

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TÜRKİYE’DE DEPO GAZINDAN ENERJİ YÖNETİMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ayşegül AYDIN

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2013

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TÜRKİYE’DE DEPO GAZINDAN ENERJİ YÖNETİMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Ayşegül AYDIN
(501051725)**

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Osman A. ARIKAN

HAZİRAN 2013

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501051725 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Ayşegül AYDIN**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**TÜRKİYE’DE DEPO GAZINDAN ENERJİ YÖNETİMİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Osman A. ARIKAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. İbrahim DEMİR**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Bestamin ÖZKAYA
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **25 Nisan 2013**
Savunma Tarihi : **10 Haziran 2013**

ÖNSÖZ

Bu çalışmada bilgi ve deneyimleriyle bana yol gösteren ve yardımlarını esirgemeyen danışmanım Sn. Doç. Dr. Osman Atilla ARIKAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Tüm hayatım boyunca her türlü fedakarlık ve manevi destekleriyle daima benim yanımda olan aileme içten teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2013

Ayşegül Aydın
(Çevre Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xiii
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı ve Kapsamı	2
2. DEPO GAZI	3
2.1 Depo Gazı Oluşumu	3
2.2 Depo Gazı Üretiminin Zamanla Değişimi	5
2.3 Depo Gazı Bileşimi	5
2.4 Depo Gazı Üretimini Etkileyen Faktörler	8
2.5 Depo Gazı Toplanması.....	9
2.6 Depo Gazı Geri Kazanımı ve Kullanımı	15
2.6.1 Depo gazı geri kazanım teknolojileri	15
2.6.2 Depo gazı kullanım teknolojileri.....	17
2.6.2.1 Bölgesel gaz kullanım	17
2.6.2.2 Elektrik üretimi	17
2.6.2.3 Boru hattına verme	19
3. MATERYAL METOT	21
3.1 Depolama Sahasında Yüzey Metan Konsantrasyonlarının Belirlenmesi	21
3.2 Türkiye’deki Depo Gazından Enerji Yönetimi	21
4. DEPOLAMA SAHASI YÜZEY METAN KONSANTRASYONLARI VE TÜRKİYE’DE DEPO GAZINDAN ENERJİ YÖNETİMİ	25
4.1 Depolama Sahasında Yüzey Metan Konsantrasyonları	25
4.2 Türkiye’de Depo Gazından Enerji Yönetimi	27
4.2.1 İstanbul Odayeri Depo Gazından Enerji Tesisi.....	29
4.2.2 İstanbul Kömürcüoda Depo Gazından Enerji Tesisi.....	33
4.2.3 İstanbul Hasdal Depo Gazından Enerji Tesisi	37
4.2.4 Ankara Mamak Depo Gazından Enerji Tesisi	40
4.2.5 Ankara Sincan Depo Gazından Enerji Tesisi.....	41
4.2.6 Adana Depo Gazından Enerji Tesisi	43
4.2.7 Bursa Depo Gazından Enerji Tesisi	44
4.2.8 Gaziantep Depo Gazından Enerji Tesisi	46
4.2.9 Konya Depo Gazından Enerji Tesisi.....	48
4.2.10 Kayseri Depo Gazından Enerji Tesisi	49
4.2.11 Afyon Depo Gazından Enerji Tesisi	51
4.2.12 Samsun Depo Gazından Enerji Tesisi.....	52
4.2.13 Kocaeli Solaklar Depo Gazından Enerji Tesisi.....	54

4.2.14 Bolu Depo Gazından Enerji Tesisi	58
4.2.15 Kırıkkale Depo Gazından Enerji Tesisi.....	59
4.2.16 Denizli Depo Gazından Enerji Tesisi	60
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	63
KAYNAKLAR	65
ÖZGEÇMİŞ	67

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2. 1 : Depo gazlarının dağılımı (Tchobanoglous ve diğ.,1993).....	7
Çizelge 2. 2 : Depolama sahasındaki eser elementlerin konsantrasyonları (Tchobanoglous ve diğ.,1993).....	7
Çizelge 2. 3 : Düşey gaz toplama sistemi inşası için tavsiye edilen kriterler (Vesilind ve diğ., 2002).....	14
Çizelge 2. 4 : Gaz türbinleri ile içten yanmalı motorların mukayesesi (Mc Bean ve diğ., 1995)	18
Çizelge 2. 5 : Depo gazı kullanımı seçeneklerinin teknik fizibilitesi özeti (Gendebien ve diğ., 1991).....	20
Çizelge 4. 1 : Türkiye’deki depo gazından enerji tesislerinin lokasyonları ve kapasiteleri	27
Çizelge 4. 2 : İstanbul Odayeri Düzenli Depolama Sahası depo gazı kuyuları altındaki atık kütlelerinin yıllara göre değişimi	30
Çizelge 4. 3 : İstanbul Kömürcüoda Düzenli Depolama Sahası depo gazı kuyuları altındaki atık kütlelerinin yıllara göre değişimi	34
Çizelge 4. 4 : İstanbul Hasdal Depolama Sahası atık kütlelerinin yıllara göre değişimi	37
Çizelge 4. 5 : Ankara Mamak Depolama Sahası atık kütlelerinin yıllara göre değişimi	40
Çizelge 4. 6 : Ankara Sincan Depolama Sahası atık kütlelerinin yıllara göre değişimi	42
Çizelge 4. 7 : Bursa Düzenli Depolama Sahası atık kütlelerinin yıllara göre değişimi	44
Çizelge 4. 8 : Konya Depolama Sahası atık kütlelerinin yıllara göre değişimi.....	48
Çizelge 4. 9 : Afyon Düzenli Depolama Sahası atık kütlelerinin yıllara göre değişimi	51
Çizelge 4. 10 : Samsun Düzenli Depolama Sahası atık kütlelerinin yıllara göre değişimi	53
Çizelge 4. 11 : Kocaeli Düzenli Depolama Sahası atık kütlelerinin yıllara göre değişimi	54
Çizelge 4. 12 : Bolu Düzenli Depolama Sahası atık kütlelerinin yıllara göre değişimi	58
Çizelge 4. 13 : Kırıkkale Düzenli Depolama Sahası atık kütlelerinin yıllara göre değişimi	59
Çizelge 4. 14 : Samsun Düzenli Depolama Sahası atık kütlelerinin yıllara göre değişimi	60

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Depo gazlarının zamanla değişimi ve gaz oluşumu esnasında görülen fazlar (Tchobanoglous ve diğ., 1993) (I: İlk uyum fazı; II:Geçiş fazı; III:Asit fazı; IV: Metan fazı; V: Olgunlaşma fazı)	3
Şekil 2.2 : Gaz miktarının zamanla değişimi (Tchobanoglous ve diğ., 1993).....	6
Şekil 2.3 : Depo gazı için tipik pasif gaz toplama sistemi (Öztürk, 2010).....	10
Şekil 2.4 : Gaz tahliye bacası (Öztürk, 2010).....	10
Şekil 2.5 : Dikey kuyularla gaz toplama ve geri kazanma sistemi (Öztürk, 2010)	11
Şekil 2.6 : Dikey gaz toplama sisteminin üstten görünümü ve etki çapları (Öztürk, 2010)	11
Şekil 2.7 : Yatay gaz toplama sistemi planı (Öztürk, 2010).....	12
Şekil 2.8 : Yatay gaz toplama sistemi kesiti (Öztürk, 2010)	12
Şekil 2.9 : Düşey gaz toplama kuyusu ve başlığı detayı (Öztürk, 2010).....	13
Şekil 2.10 : Yatay gaz toplama borusu detayı (a) enkesit, (b) yan görünüş (Öztürk, 2010)	14
Şekil 2.11 : Gaz geri kazanım sistemi şematik gösterimi (Mc Bean ve diğ. 1995)	15
Şekil 3.1 : Yüzey metan konsantrasyonu belirlemede kullanılan mobil ölçüm cihazının görünümü.....	22
Şekil 3.2 : Yüzey metan konsantrasyonu belirleme çalışmasından bir görünüm .	22
Şekil 3.3 : Yüzey metan konsantrasyonu belirleme çalışmasından bir görünüm .	23
Şekil 3.4 : Yüzey metan konsantrasyonu belirleme çalışmasından bir görünüm .	23
Şekil 4.1 : Yüzey metan konsantrasyonu ölçümü yapılan bir noktadaki çatlakların görünümü	25
Şekil 4.2 : Depolama sahası yüzey metan konsantrasyonları	26
Şekil 4.3 : Türkiye'deki depo gazından enerji tesislerinin lokasyonları	28
Şekil 4.4 : Depo gazından enerji tesisi sayılarına göre depolama sahası tipi	29
Şekil 4.5 : Depo gazından enerji tesisi kapasitelerine göre depolama sahası tipi.	29
Şekil 4.6 : Odayeri Düzenli Depolama Tesisi'nin görünümü	30
Şekil 4.7 : Odayeri Depo Gazından Enerji Tesisi'nin görünümü	31
Şekil 4.8 : Odayeri Düzenli Depolama Tesisi gaz kuyularının yerleşimi.....	32
Şekil 4.9 : Odayeri Düzenli Depolama Tesisi tipik gaz kuyusu kesiti	33
Şekil 4.10 : Kömürcüoda Düzenli Depolama Tesisi'nin görünümü	34
Şekil 4.11 : Kömürcüoda Depo Gazından Enerji Tesisi'nin görünümü.....	35
Şekil 4.12 : Kömürcüoda Düzenli Depolama Tesisi gaz kuyularının yerleşimi ..	36
Şekil 4.13 : İstanbul Hasdal Depo Gazından Enerji Tesisi P&I diyagramı.....	38
Şekil 4.14 : İstanbul Hasdal Depo Gazından Enerji Tesisi'nin görünümü.....	38
Şekil 4.15 : İstanbul Hasdal Depo Gazından Enerji Tesisi gaz kuyularının yerleşimi.....	39
Şekil 4.16 : Ankara Mamak Depolama Sahası ve Entegre Atık Tesisi'nin uydu fotoğrafı.....	41

Şekil 4.17 : Ankara Mamak Entegre Atık Tesisi'nin görünümü	41
Şekil 4.18 : Ankara Sincan Depolama Sahası ve Entegre Atık Tesisi'nin uydu fotoğrafi	42
Şekil 4.19 : Ankara Sincan Entegre Atık Tesisi'nin görünümü.....	43
Şekil 4.20 : Adana Depolama Sahası ve Entegre Atık Tesisi'nin uydu fotoğrafı.....	43
Şekil 4.21 : Adana Entegre Atık Tesisi'nin görünümü	44
Şekil 4.22 : Bursa Düzenli Depolama Tesisi'nin uydu fotoğrafı	45
Şekil 4.23 : Bursa Düzenli Depolama Tesisi'nin genel görünümü	45
Şekil 4.24 : Bursa Depo Gazından Enerji Tesisi'nin görünümü	46
Şekil 4.25 : Gaziantep Düzenli Depolama Tesisi'nin genel görünümü	46
Şekil 4.26 : Gaziantep Düzenli Depolama Tesisi'nin genel görünümü	47
Şekil 4.27 : Gaziantep Depo Gazından Enerji Tesisi'nin görünümü	47
Şekil 4.28 : Konya Depolama Tesisi'nin genel görünümü	48
Şekil 4.29 : Konya Depo Gazından Enerji Tesisi'nin görünümü.....	49
Şekil 4.30 : Kayseri Depolama Sahasının uydu fotoğrafı	50
Şekil 4.31 : Kayseri Depo Gazından Enerji Tesisi'nin görünümü.....	50
Şekil 4.32 : Kayseri Depo Gazından Enerji Tesisi'nin görünümü.....	51
Şekil 4.33 : Afyon Düzenli Depolama Tesisi'nin genel görünümü	52
Şekil 4.34 : Afyon Depo Gazından Enerji Tesisi'nin görünümü	52
Şekil 4.35 : Samsun Düzenli Depolama Tesisi'nin genel görünümü.....	53
Şekil 4.36 : Samsun Depo Gazından Enerji Tesisi'nin görünümü.....	53
Şekil 4.37 : Kocaeli Solaklar Düzenli Depolama Sahası'nın uydu fotoğrafı.....	55
Şekil 4.38 : Kocaeli Solaklar Düzenli Depolama Tesisi'nin genel görünümü	55
Şekil 4.39 : Kocaeli Depo Gazından Enerji Tesisi'nin görünümü.....	55
Şekil 4.40 : Kocaeli Solaklar Depo Gazından Enerji Tesisi akım diyagramı	56
Şekil 4.41 : Kocaeli Solaklar Düzenli Depolama Tesisi gaz kuyularının yerleşimi	57
Şekil 4.42 : Bolu Düzenli Depolama Tesisi'nin genel görünümü	58
Şekil 4.43 : Bolu Depo Gazından Enerji Tesisi'nin görünümü	59
Şekil 4.44 : Kırıkkale Düzenli Depolama Tesisi uydu fotoğrafı.....	60
Şekil 4.45 : Denizli Düzenli Depolama Tesisi uydu fotoğrafı	61
Şekil 4.46 : Denizli Düzenli Depolama Tesisi'nin genel görünümü	62
Şekil 4.47 : Denizli Depo Gazından Enerji Tesisi'nin görünümü	62

TÜRKİYE’DE DEPO GAZINDAN ENERJİ YÖNETİMİ

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, Türkiye’deki depo gazı yönetiminin ortaya konmasıdır. Bu kapsamda öncelikle mevcut bir düzenli depolama sahasında yüzey metan konsantrasyonları belirlenmiş, daha sonra ülkemizde halihazırda faaliyette olan depo gazından enerji tesisleri incelenmiştir.

Depo gazı, katı atıklar bünyesinde gerçekleşen fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik prosesler sonucu oluşur. Depo gazı %45-50 metan, %45-50 karbondioksit ve az miktarda uçucu organik bileşiklerden oluşmaktadır. Katı atıklar içerisindeki organik bileşenlerden dolayı, gaz üretimi prosesi mikrobiyolojik proseslerle kontrol edilir. Mikrobiyolojik prosesler çevresel koşullara hassas olduğundan, doğal ve insan kaynaklı birçok faktör mikroorganizma sayısı ve türünü ve dolayısıyla depo gazı üretim hızını etkiler. Düzenli depolama alanlarında gerçekleştirilen kısa süreli depo gazı ekstraksiyon testleri, depolama sahasına yerleştirilen bir kg atık başına 0,05 ila 0,40 m³ depo gazı üretimi olduğunu göstermiştir.

Bir depolama sahasının depo gazı üretimini değerlendirmede en önemli faktör atık miktarı ve kompozisyonudur. Oluşabilecek maksimum potansiyel depo gazı miktarı atık kütlesi içerisindeki organik madde miktarı ve tipine bağlıdır, çünkü organik maddenin ayrışması depo gazı üretiminin kaynağını oluşturmaktadır. Depo gazı üretim potansiyelini etkileyen diğer faktörler ise nem, nütrient, bakteri içeriği; pH, sıcaklık, depolama sahasının dizayn ve işletim yöntemidir.

Türkiye’deki düzenli depolama sahalarının sayısı son on yılda hızlı bir şekilde artmıştır. Yıllar içinde, vahşi depolama sahalarının yerini, sızıntı suyu ve gaz toplama sistemleriyle donatılmış mühendislik tesisleri almıştır. Depolama alanında depo gazının sürekli olarak üretilmesi depolama sahası içinde aşırı basınç oluşturmakta ve gaz emisyonunun atmosfere çıkışına neden olmaktadır. Bu emisyonlar depolama sahalarında çevre, güvenlik ve hijyen ile ilgili önemli sorunlarına yol açmaktadır. Metan gazı karbondioksitten sonra ikinci en önemli sera gazı olup, depolama sahalarından çıkan metan emisyonlarının azaltılması depo gazının çevresel etkilerini azaltmak için oldukça önemlidir. Önemli miktarda metanın atmosfere kaçması, küresel iklim değişikliğine doğrudan katkıda bulunur. Metan nispeten kısa bir atmosferik ömre (10 yıl) sahiptir. Bu nedenle metan emisyonların azaltılmasının yakın vadede çevresel açıdan önemli olumlu etkisi olacaktır. Depo gazından enerji tesisleri ekipmanlarının kapasitelerinin belirlenmesi için, depo gazı miktarı mümkün olduğunca yaklaşık olarak tahmin edilmelidir. Bu önemli verinin bilinmesi, metan emisyonlarının azaltılması ve enerji üretimi için gazın kullanılmasındaki ilk adım olan depo gazı toplama sistemlerinin tasarım ve teçhizine de yardımcı olacaktır.

Toplanan depo gazı içindeki metan, bazen alevli bir sistemde (flare) yakılarak yokedilmektedir. Buna karşın, depo gazı alternatif bir yenilenebilir enerji kaynağı olarak kullanılabilir. Depo gazının alternatif bir enerji kaynağı olarak kullanımı depolama sahası sahiplerine ekonomik fayda sağlamanın yanısıra, fosil yakıtların kullanımının dengelenmesinde de yardımcı olacaktır.

Çalışma sonuçlarına göre, düzenli depolama sahasında ölçülen yüzey metan konsantrasyonları 3-317.000 ppm arasında değişmiş olup, ortalama konsantrasyon 9.168 ppm elde edilmiştir. Bu değer ABD Kaliforniya eyaletinde depolama sahaları yüzey metan konsantrasyonları için limit olan 500 ppm'in yaklaşık 20 katıdır. Metanın başlıca çıkış noktaları depolama sahası örtüsündeki kurumalar, çökmeler vb. nedenlerle oluşan çatlaklardır.

Türkiye'de İstanbul'da 3, Ankara'da 2, Adana, Bursa, Konya, Gaziantep, Kayseri, Afyon, Samsun, Kocaeli, Bolu, Kırıkkale ve Denizli'de ise birer olmak üzere toplam 16 adet depo gazından enerji tesisi bulunmaktadır. Tesislerin toplam kapasitesi 129,4 MW olup, potansiyelin yaklaşık %50'si kullanılmaktadır. Depo gazından enerji tesislerinin kapasitesi 0,5 MW ile 27,8 MW arasında değişmektedir. Bunlardan tesis sayısına göre %31,2'si vahşi depolama (5 tesis), %68,8'i düzenli depolama (11 tesis) sahalarından elektrik üretimi yapmaktadır. Tesis kapasitelerinin ise %37,3'ü vahşi depolama (48,3 MW) sahalarında kurulu iken, %62,7'si düzenli depolama (81,1 MW) sahalarındadır. Depo gazı depolama sahalarından hem yatay hem de düşey gaz toplama sistemleriyle toplanmaktadır. Toplanan depo gazının tamamı içten yanmalı motorlarda yakılarak elektrik üretilmektedir.

Ülkemizde halihazırda düzenli depolama sayısı 69 olup, yeni depolama sahaları büyük ölçekli bölgesel tesisler olarak planlanmıştır. Bu nedenle yeni sahalardan toplanacak depo gazlarından enerji eldesi fizibil olmaktadır. Bununla birlikte, kentsel katı atıkların büyük kısmının organik atıklardan oluşması nedeniyle sözkonusu depo gazından enerji tesislerinin en kısa zamanda kurulması yüzey metan emisyonlarının ve sera gazı miktarının azaltılması açısından önemlidir. Bu tesisler ülkemizin dış ticaret açığının önemli kısmını oluşturan enerji açığını kapatmada az da olsa katkı sağlayacaktır.

LANDFILL GAS MANAGEMENT IN TURKEY

SUMMARY

The aim of this study was to evaluate landfill gas to energy facilities in Turkey. In this regard, first surface methane emissions were determined from a sanitary landfill then landfill gas to energy facilities in Turkey were assessed.

Landfill gas is generated as a result of physical, chemical, and microbial processes occurring within the refuse. It consists of roughly a combination of methane (45-50%), carbon dioxide (45-50%), and small amounts of volatile organic compounds. Due to the organic nature of most waste, it is the microbial processes that govern the gas generation process. These processes are sensitive to their environment and therefore, there are a number of natural and man-made conditions which will affect the microbial population and thus, the landfill gas production rate. Short-term studies done on full-size landfills, using data from landfill gas extraction tests, indicate a range of landfill gas production between 0.05 and 0.40 m³ of landfill gas per kilogram of waste placed into a landfill.

Waste quantity and composition are the most important factors in assessing the landfill gas generation potential of a site. The maximum potential volume of landfill gas is dependent on the quantity and type of organic content within the waste mass since the decomposing organic wastes are the source for all landfill gas produced. Other factors that influence the rate of landfill gas production include moisture content, nutrient content, bacterial content, pH level, temperature, and the site-specific design and operations plans.

The number of landfills in Turkey has increased dramatically over the last decade. Open dump sites have been replaced by engineered facilities with leachate and gas collection systems. The constant generation of landfill gas creates excess pressure within the landfills that provokes its exit into the atmosphere. These emissions lead to important environmental, security and hygiene problems in the landfill. While methane is the second most important greenhouse gas after carbon dioxide, mitigating methane emissions from landfills is important to decrease the environmental impacts of landfill gas. High levels of methane escaping into the atmosphere contribute to global climate change. Methane has a relatively short atmospheric life span (10 years) so reducing methane emissions can have a significant positive effect in the near term. To determine the capacity of the instruments for a landfill gas to energy facilities, landfill gas production rates should be properly estimated. Knowing this significant data will also help to design and install a landfill gas collection system which is the first step in reducing methane emissions and potentially utilizing this methane for energy generation.

The landfill gas collected is sometimes simply flared to destroy its methane. However, landfill gas can be used as an alternative renewable energy source. In consequence, using landfill gas as an alternative energy source offsets the use of

non-renewable fossil fuels in addition to providing economic benefits to landfill owners.

According to the results of the study, the measured surface methane concentrations varied between 3-317,000 ppm in the landfill and 9,168 ppm average concentration was obtained. This value is nearly 20 times more than the limit (500 ppm) for surface methane concentrations in landfills in the state of California, USA. The main exit points of methane are cracks on landfill final cover caused by drought and settlement.

There are 16 landfill gas to energy facilities in Turkey having three in Istanbul, two in Ankara, one in Adana, Bursa, Konya, Gaziantep, Kayseri, İzmir, Kocaeli, Bolu, Kırıkkale and Denizli (Table 1). The total capacity of these facilities is 129.4 MW and approximately 50 percent of the potential is used. Capacities of landfill gas to energy facilities change between 0.5 and 27.8 MW. While five landfill gas to energy facilities (31,2 %) are built at open dumping sites eleven facilities (68,8 %) are constructed at landfills. 48,3 MW (37,3 %) and 82,1 MW (62,7 %) capacities were installed at open dumping sites and landfills, respectively. Landfill gas is collected with both horizontal and vertical gas collection systems. All collected gas is used to produce electricity by burning it in internal combustion engines.

Table 1. : Location and capacities of landfill gas to energy facilities in Turkey

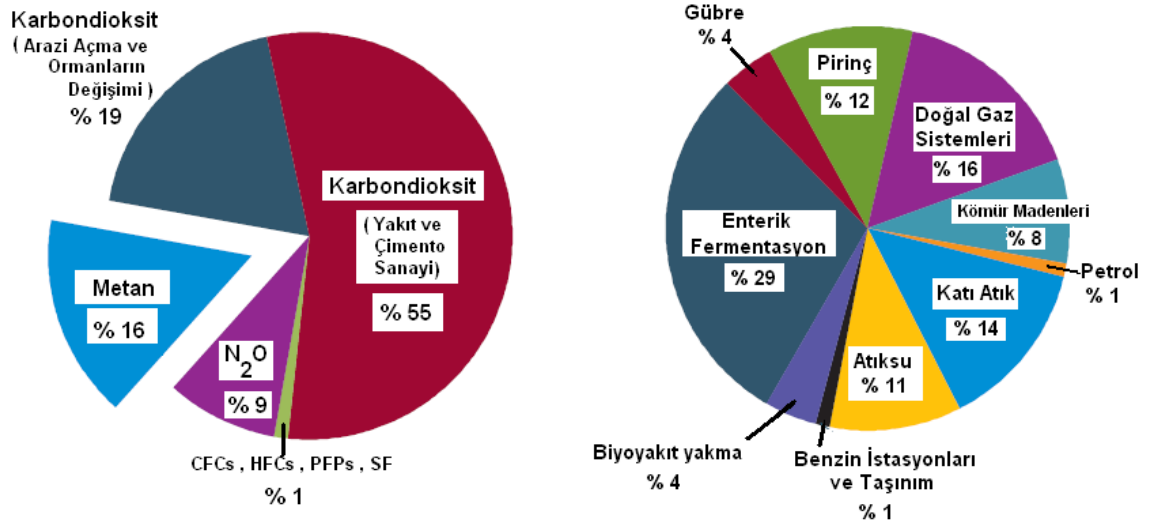
Location	Capacity (MW)
Istanbul, Odayeri	27.8
Ankara, Mamak	25.4
Istanbul, Sile	14.1
Ankara, Sincan	14.0
Adana	11.3
Bursa	9.8
Gaziantep	5.7
Konya	5.6
Kayseri	4.0
Afyon	2.4
Samsun	2.4
Kocaeli	2.3
Istanbul, Hasdal	2.0
Bolu	1.1
Kırıkkale	1.0
Denizli	0.5
Total	129.4

There are 69 landfills in Turkey. New landfills are planned as a large regional sites. Therefore, the amount of landfill gas collected from these new landfills will be feasible for landfill gas to energy facilities. However, due to large organic fraction in municipal solid waste, the fast establishment of landfill gas to energy facilities is important in reducing the amount of methane emissions and greenhouse gases. In addition, these facilities will contribute in reducing energy deficit, which is the main part of trade deficit of Turkey.

1. GİRİŞ

Son yıllarda özellikle fosil yakıtların kullanılması sonucu oluşan insan kaynaklı sera gazları sebebiyle global iklim değişiklikleri meydana gelmekte ve bu gazlar çevre için önemli bir tehdit oluşturmaktadır. Düzenli depolama sahalarında meydana gelen metan emisyonu da antropojenik kaynaklı önemli atmosferik kirleticiler arasındadır (USEPA, 2002).

Global ölçekte metan gazının diğer sera gazları ile oransal karşılaştırması Şekil 1.1'de verilmektedir. Yüksek sera gazı potansiyeli ve kısa atmosferik ömrü (metanın atmosferdeki ömrü yaklaşık 10 yıl, CO₂'in 100 yıl civarındadır) nedeniyle, metanın iklim değişikliklerine etkisi önemlidir. Metan, hem antropojenik hem de doğal kaynaklı olduğundan dünyadaki sera gazı emisyonunun % 16'sını oluşturmaktadır (IEA, 2009).



Şekil 1.1 : Dünyada sera gazı ve antropojenik metan gazı emisyonlarının dağılım oranları (EIA, 2009).

Metan emisyonunun azaltılmasına yönelik planlamalar, bu gazın sera gazı etkisinin de azaltılması anlamına gelmektedir. Metan gazının CO₂'den 25 defa daha etkili olmasından dolayı atmosferdeki metan miktarının azaltılması sera gazlarını

azaltmada doğrudan etkili olmaktadır. Metanın enerji amaçlı kullanılması ise diğer enerji kaynaklarının tüketilmesini azaltmakta veya engel olmaktadır.

Atmosferdeki sera gazlarının temel kaynaklarından biri katı atık depolama sahalarıdır. Depolama sahalarında gaz oluşumu 30-50 senelik bir süreçte katı atıkların ayrışması sonucu meydana gelmekte ve sahanın kapatılmasından sonra da bu üretim devam etmektedir. Depo gazının elektrik üretiminde kullanılması çevreye dost yenilenebilir bir enerji kaynağı oluşturmakta, dolayısıyla atmosfere doğrudan salınacak sera gazı miktarının azaltılması sağlanmaktadır. Bu nedenle atmosfere verilen metan gazının azaltılarak enerjiye dönüştürülmesi uygulanabilir alternatif bir teknolojidir (Tanapat, 2004). Metandan enerji elde edilmesinin, sera gazlarının azaltımının yanı sıra, aynı zamanda koku probleminin giderilmesi, depolama alanından çıkan gazın bitkilere zarar vermesinin önlenmesi, patlama riskinin azaltılması gibi faydaları da vardır.

Gerek AB Düzenli Depolama Direktifi'ne (ABK, 1999) göre, gerekse Türkiye'deki "Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik" (ÇŞB, 2010) hükümlerine göre depo gazının mutlaka toplanması ve yakılması gerekmekte, fizibil olması halinde ise elektrik üretiminde kullanılması tavsiye edilmektedir. Bununla birlikte belediyeler depo gazından enerji tesislerini faaliyete geçirmede oldukça geç kalmakta ve potansiyelin önemli bir kısmı kullanılamamaktadır.

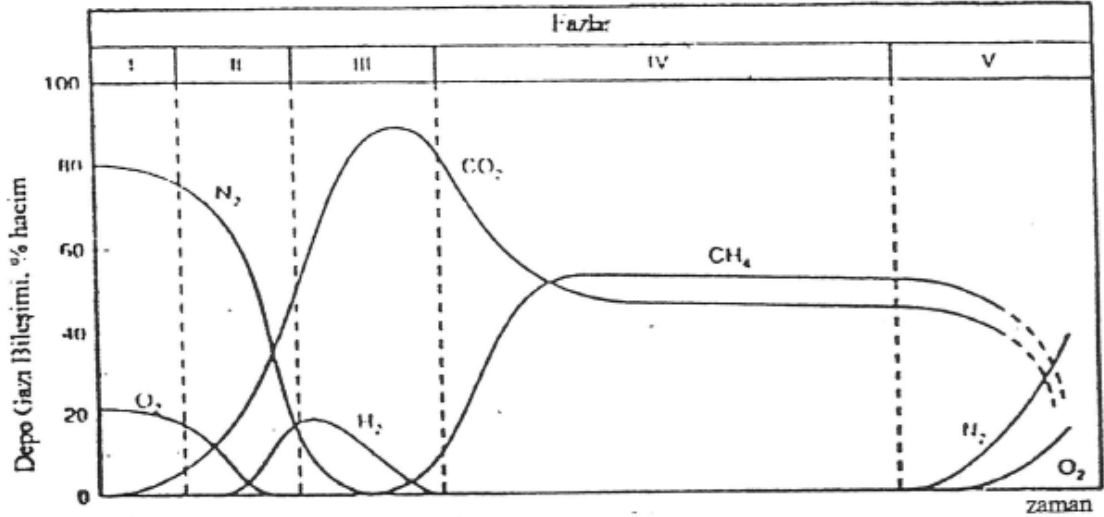
1.1 Tezin Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmanın amacı, Türkiye'deki depo gazı yönetiminin ortaya konmasıdır. Bu kapsamda öncelikle mevcut bir düzenli depolama sahasında yüzey metan konsantrasyonları belirlenmiş, daha sonra ülkemizde halihazırda faaliyette olan depo gazından enerji tesisleri incelenmiştir. Bu çalışma, elde edilen tecrübeleri ortaya koyarak yeni planlanan depo gazından enerji tesislerinin daha iyi bir şekilde kurulmasına ve işletilmesine katkı sağlayacaktır.

2. DEPO GAZI

2.1 Depo Gazı Oluşumu

Katı atıkların düzenli depolama sahasına yerleştirilmesi ve örtü tabakası ile kapatılmasının ardından depo bünyesinde meydana gelen anaerobik bozunma süreci dolayısıyla çeşitli gazlar oluşmaktadır. Depo gazındaki ana gazların oluşumu birbirini izleyen beş faz şeklinde gelişir (Tchobanoglous ve diğ., 1993). Bu fazlar Şekil 2.1’de gösterilmiş olup, aşağıda ayrıntılı olarak ele alınmıştır.



Şekil 2.1 : Depo gazlarının zamanla değişimi ve gaz oluşumu esnasında görülen fazlar (Tchobanoglous ve diğ., 1993) (I: İlk uyum fazı; II:Geçiş fazı; III:Asit fazı; IV: Metan fazı; V: Olgunlaşma fazı)

I-İlk Uyum Fazı

Katı atık sahasında depolama işlemi bittikten hemen sonra biyobozunur organik maddeler aerobik koşullar altında mikrobiyolojik ayrışmaya maruz kalırlar.

II-Geçiş Fazı

Bu fazda oksijen tükenip anaerobik koşullar gelişmeye başlar. Depo alanında anaerobik şartların oluşması ile birlikte biyolojik reaksiyonlarda elektron alıcısı olan nitrat ve sülfat, N₂ gazına ve H₂S 'e dönüşürler. Anaerobik koşulların oluşumu atığın oksidasyon/redüksiyon potansiyelinin ölçümü ile kontrol edilir. Nitrat ve sülfatın

redüksiyonu için redüksiyon potansiyelinin 50-100 mV civarında olması yeterlidir. Oksidasyon/redüksiyon potansiyeli 150- 300 mV arasında değer aldığı zaman metan üretimi görülür. Oksidasyon/redüksiyon potansiyeli kompleks organik maddelerin organik asitlere ve diğer ara ürünlere dönüşmesi sırasında azalmaya devam eder. Bu fazda sızıntı suyunun pH'sı, organik asitlerin oluşumu ve CO₂'nin artan konsantrasyonları nedeniyle düşmeye başlar.

III-Asit Fazı

İlk olarak geçiş fazında beliren mikrobiyal aktiviteler bu fazda önemli miktarda oluşan organik asitler ve daha az miktardaki H₂ gazının etkisiyle hız kazanırlar. Bu faz üç aşamadan meydana gelir. İlk aşamada yüksek moleküllü bileşikler (yağlar, polisakkaritler, proteinler ve nükleikasitler) hidroliz edilerek mikroorganizmaların enerji ve karbon kaynağı olarak kullanabilecekleri basit elementlere dönüştürülürler. İkinci aşamada ise oluşan bu basit elementlerden mikrobiyal aktiviteler sonucu büyük miktarda asetik asit ve daha az miktarlarda fülvik ve kompleks organik asitler oluşur. Karbondioksit bu faz boyunca oluşan temel gazdır. Daha az miktarda hidrojen gazı üretilir. Bu reaksiyonlarda görev alan mikroorganizmalar fakültatif ve zorunlu anaerobik bakterilerdir. Bunlar genelde asit üreten bakteriler olarak tanımlanır. Oluşan bu organik asitler ve yüksek konsantrasyondaki CO₂ depo alanında sızıntı suyunun pH'sını 5 ve altına düşürürler. Sızıntı suyunun pH'sının düşmesi asit fazı boyunca başta ağır metaller olmak üzere inorganik bileşiklerin sızıntı suyu içinde çözünür forma geçmesine neden olur.

IV-Metan Fazı

Bu fazda III. fazda oluşan asetik asit ile hidrojen gazını CH₄ ve CO₂'ye dönüştüren mikroorganizmalar hakim duruma geçerler. Bu mikroorganizmalar III. fazın sonunda gelişmeye başlarlar ve IV. fazda etkin hale geçerler. Anaerobik olan bu mikroorganizmalar metan üreten mikroorganizmalar olarak adlandırılırlar. Bu fazda metan oluşumu hız kazanırken asit oluşum hızı gittikçe azalır. Organik asitler ve H₂ gazından CH₄ ve CO₂ oluşumu sonucunda depo alanındaki pH 6,8-8,0 civarına gelir. Yükselen pH ile birlikte bazı inorganik bileşikler daha fazla çözünemezler ve çözültide kalırlar. Bunun sonucunda sızıntı suyundaki ağır metal konsantrasyonu zamanla düşer.

V-Olgunlaşma Fazı

Depo gazı oluşum hızı bu fazda düşer. Zira çoğu nütrient daha önceki fazlarda sızıntı suyu ile uzaklaştırılmıştır ve depo alanında kalan substratlar biyolojik olarak yavaş ayrışan yapıdadırlar. Başlıca depo gazı bileşenleri olan CH₄ ve CO₂ bu fazda tam olarak gelişir. Az miktarlarda N₂ ve O₂ gazı da görülür.

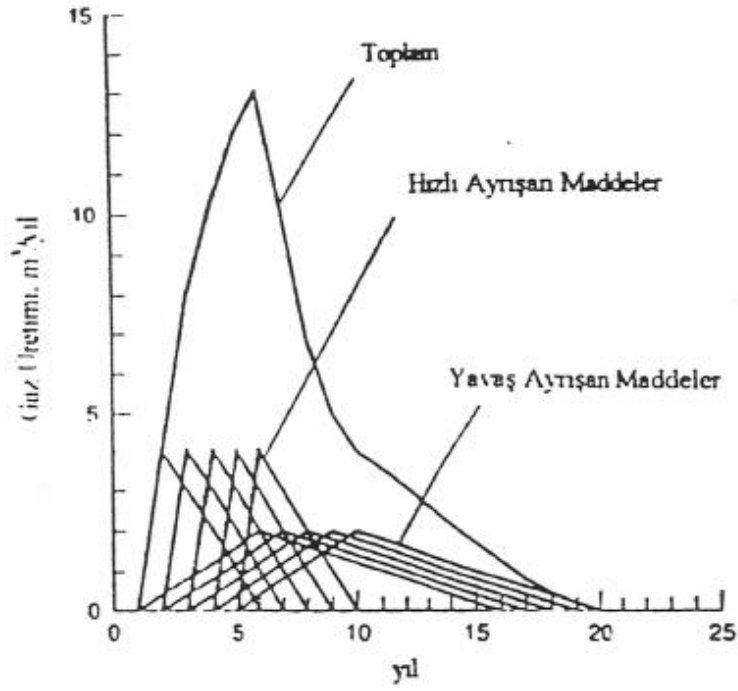
2.2 Depo Gazı Üretiminin Zamanla Değişimi

Depo gazı, katı atıklar bünyesinde gerçekleşen fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik prosesler sonucu oluşur. Katı atıklar içerisindeki organik bileşenlerden dolayı, gaz üretimi prosesi mikrobiyolojik proseslerle kontrol edilir (Christensen ve Kjeldsen, 1989). Mikrobiyolojik prosesler çevresel koşullara hassas olduğundan, doğal ve insan kaynaklı birçok faktör mikroorganizma sayısını, türünü ve dolayısıyla depo gazı üretim hızını etkiler. Düzenli depolama alanlarında gerçekleştirilen kısa süreli depo gazı ekstraksiyon testleri, depolama sahasına yerleştirilen bir kg atık başına 0,05 ila 0,40 m³ depo gazı üretimi olduğunu göstermiştir (Ham ve Barlaz, 1989).

Normal koşullarda gaz üretim hızı ilk 5 yılda pik bir değere ulaşır (Tchobanoglous ve diğ., 1993). Daha sonra azalmaya başlar, 25 yıl veya daha fazla bir süre zarfında azalmaya devam eder. Hızlı ve yavaş ayrışan organik maddelerin anaerobik olarak bozunmaları sonucu oluşan gazın zamanla tipik değişimi Şekil 2.2'de verilmiştir. Bu grafikten de görüldüğü gibi organik maddelerin ayrışma hızı zamanla üçgen şeklinde bir gaz üretim modeli meydana getirir. Bu modele göre pik değer gaz oluşmaya başladıktan sonraki ilk 5 yıl içinde görülmektedir. Üretilen toplam gaz miktarı bu üçgenin alanına eşittir.

2.3 Depo Gazı Bileşimi

Depo gazı, büyük miktarlarda bulunan ana gazlar ve daha az miktarlardaki eser gazlardan oluşur. Ana gazlar, katı atıklar içerisindeki organik maddelerin biyolojik olarak ayrışması sonucu oluşurlar. Eser haldeki gazlar çok düşük miktarlarda bile toksik olup halk sağlığı açısından tehlike arz ederler.



Şekil 2.2 : Gaz miktarının zamanla değişimi (Tchobanoglous ve diğ., 1993)

Ana Gazlar

Depo sahasındaki başlıca gaz bileşenleri metan (CH_4), karbondioksit (CO_2), amonyak (NH_3), karbonmonoksit (CO), hidrojen (H_2), hidrojen sülfür (H_2S), azot (N_2) ve oksijen (O_2)'dir. Depo sahasında oluşan bu gazların hacimsel dağılımları Çizelge 2.1'de verilmiştir. Metan ve karbondioksit biyobozunabilir katı atıkların anaerobik olarak ayrışması sonucu açığa çıkan ana gazlardır. Havadaki metan oranı %5-15 civarına ulaştığında patlayıcı özellik gösterir.

Eser Gazlar

Depo sahalarından alınan gaz örnekleri ile yapılan çalışmalarda depo gazı bileşiminde 154 ayrı kimyasal bileşik bulunmuştur. Bunların içinden 116 tanesi organik bileşik olarak belirlenmiş ve uçucu organik maddeler (UOM) olarak sınıflandırılmıştır. Katı atık depolama alanlarında bulunan eser haldeki bileşiklerin başlıcaları ve konsantrasyonları Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2. 1 : Depo gazlarının dağılımı (Tchobanoglous ve diğ.,1993)

Bileşik	Konsantrasyon, %
Metan	45-60
Karbondioksit	40-60
Azot	2-5
Oksijen	0,1-1,0
Sülfidler, disülfidler,merkaptanlar	0-1,0
Amonyak	0,1-1,0
Hidrojen	0-0,2
Karbonmonoksit	0-0,2
Eser elementler	0,01-0,6

Çizelge 2. 2 : Depolama sahasındaki eser elementlerin konsantrasyonları (Tchobanoglous ve diğ.,1993)

Bileşik	Ortalama Konsantrasyon, ppb _v *
Aseton	6.838
Benzen	2057
Klorobenzen	82
Kloroforin	245
Diklorometan	25.694
Etilen bromid	0
Etilenoksit	0
Etilbenzen	7.334
Metil etil keton	3.092
Trikloroetilen	2.079
Toluen	34.907
Tetrakloroetilen	5.244
Vinil asetat	5.663
Kslen	2.651

*ppb_v: Hacimsel olarak milyardaki kısım

2.4 Depo Gazı Üretimini Etkileyen Faktörler

Bir depolama sahasının depo gazı üretimini değerlendirmede en önemli faktörler atık miktarı ve kompozisyonudur. Oluşabilecek maksimum potansiyel depo gazı miktarı, atık kütlesi içerisindeki organik madde miktarı ve tipine bağlıdır (World Bank, 2004). Depo gazı üretim potansiyelini etkileyen diğer faktörler ise nem, nütrientler, atıktaki bakteri toplulukları, pH, sıcaklık ile depolama sahasının dizayn ve işletim yöntemidir.

Nem

Nem, atığın ayrışmasında ve gaz oluşumunda oldukça etkili bir parametre olup, gazın oluşumu için gerekli optimum ortam ile bakteri ve nütrientlerin depo alanı içinde taşınımını sağlar. Gazın oluşumu nem içeriğinin depo alanının su tutma kapasitesine ulaşması ile artar. Eğer atığın nem içeriği depo alanının su tutma kapasitesini aşarsa akışkan hale geçen sıvı, nütrient, bakteri ve alkaliniteyi depo alanının farklı bölgelerine taşıyabilir. Sonuçta gaz oluşumunun artmasını sağlayan optimum ortam sağlanmış olur.

Yüzeysel suların üst örtüden depo alanına sızması sonucu depo alanında nem oranı artar. Ayrıca çamur gibi sulu atıkların depolama sahasına getirilmesi ve sızıntı suyunun geri devrettirilmesi de nem oranını arttırmaktadır.

Nütrient İçeriği

Bakterilerin gelişebilmeleri için nütrientlere ihtiyaçları vardır. Bu nütrientlerin en önemlileri C,H,O,N ve P olup, bakteriler daha az oranlarda da Na, K, S ve Ca'a ihtiyaç gösterirler. Kolay ayrışabilen nütrientler gaz oluşumunu hızlandırır. Bunların haricinde atık kapsamındaki toksik maddeler (ağır metaller gibi) mikroorganizmaların gelişimini engelleyerek gaz oluşumunu geciktirir.

pH

Anaerobik ayrışma için optimum pH değeri 6,7-7,5 civarında olmalıdır. Optimum pH değerinde metan arkelerinin faaliyetleri, dolayısıyla metan oluşumu maksimuma ulaşır.

Depo alanındaki pH seviyeleri endüstriyel atıklardan ve organik asit üretiminden etkilenir. Düşük pH değerlerinde pek çok maddenin çözünürlüğü, sızıntı suyu ile organik maddeler arasındaki iyon değişimi artar. Ayrıca düşük pH değerleri metan

arkelerini inhibe eder.

Sıcaklık

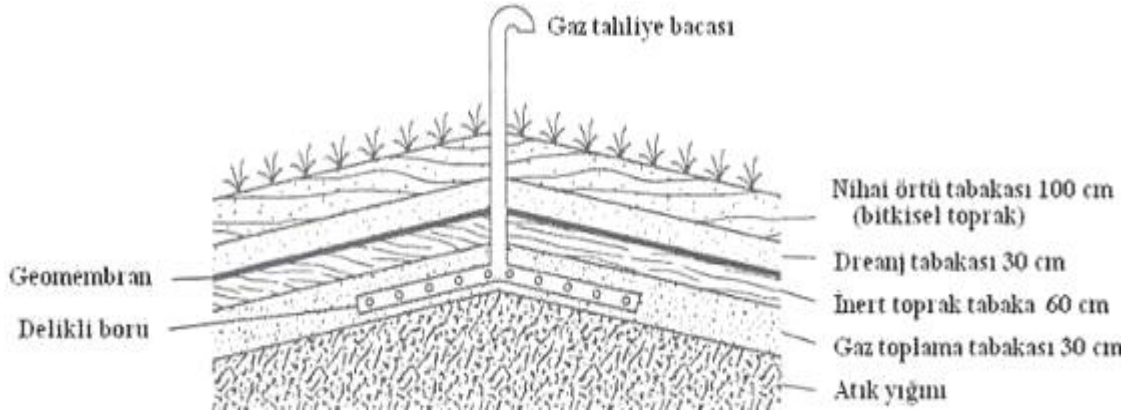
Sıcaklık, depo alanındaki bakteri türlerini, aktivitelerini ve dolayısıyla gazın oluşumunu önemli ölçüde etkiler. Depo alanında iki tip ısı kademesine rastlanabilir: Mezofilik şartlar (30-35 °C) ve termofilik şartlar (50-60 °C). Depo alanının sıcaklığı atığın yerleştirilmesinden sonraki 45 gün içinde aerobik aktiviteler sonucu maksimum değerine ulaşır. Anaerobik şartların gelişmesiyle sıcaklık düşmeye başlar. Depo alanının sıcaklığı genelde 30-60 °C arasında değişim gösterir. Artan sıcaklık değerleri ile kimyasal çözünürlük artar. Ayrıca sıcaklık, reaksiyon hız sabitini de etkiler.

Atığın Dane Boyutu

Parçalama işleminden geçen atığın küçülen dane boyutunun gazın üretimi üzerindeki etkisi oldukça önemlidir. Dane boyutunun küçülmesi sonucu atığın yüzey alanı artar. Yüzey alanının artması ise gazın oluşumunda etkili olan parametrelerin (nem, nütrient, bakteri vb.) etkilerinin artmasına neden olur. İyi sıkıştırılmış bir depo alanında mikrobiyal aktiviteler, nem oranı vb. etkisiyle gaz üretimi artar.

2.5 Depo Gazı Toplanması

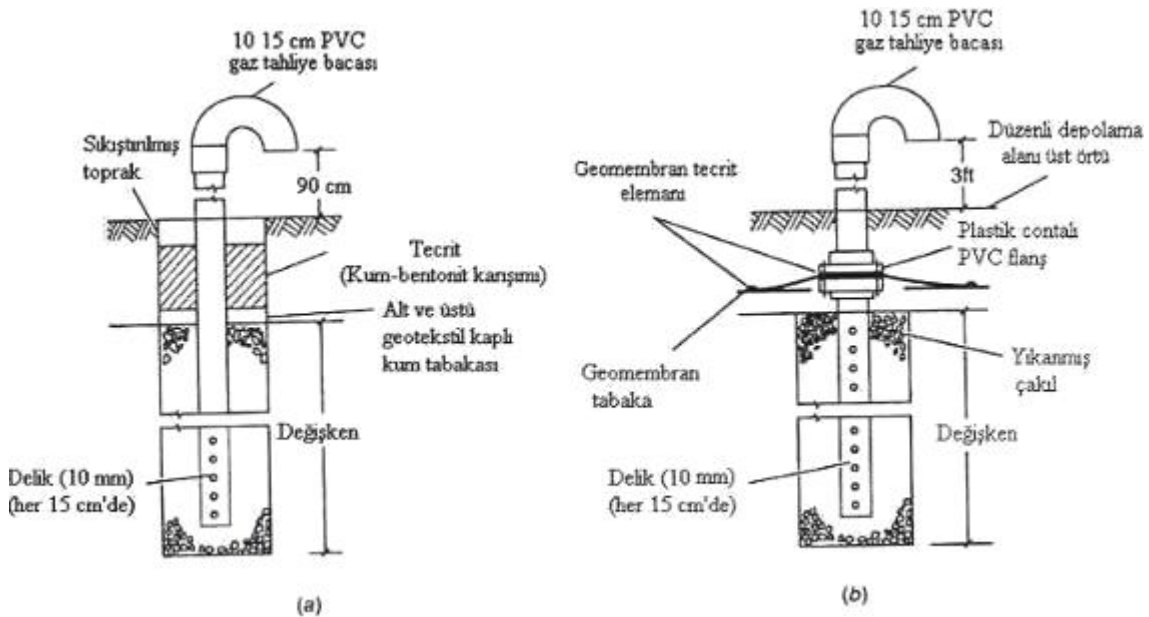
Depo gazı emisyonları, başlıca iki sistemle kontrol edilir: pasif toplama/tahliye ve aktif gaz çekme. Pasif sistemde depo gazı, tahliye kanalları (hendekleri) ile toplanır ve herhangi bir işleme tabi tutulmadan uygun noktalardaki gaz tahliye bacaları veya borularından atmosfere verilir. Pasif gaz tahliye bacaları nihai örtü tabakasının 1~1,5 m altına kadar indirilir ya da düşey gaz toplama kuyularına benzer tarzda, dolgu yüksekliğinin üst %75'lik kısmında gaz toplama/tahliye kuyusu tarzında teşkil edilir. Pasif gaz tahliye bacaları/kuyuları için tipik aralık veya sayı 7500 m³ atık depolama alanı hacmi başına 1 adet tahliye yapısı inşasıdır (Öztürk, 2010). Pasif gaz toplama bacaları Şekil 2.3'de belirtildiği üzere basitçe teşkil edilebilir.



Şekil 2.3 : Depo gazı için tipik pasif gaz toplama sistemi (Öztürk, 2010)

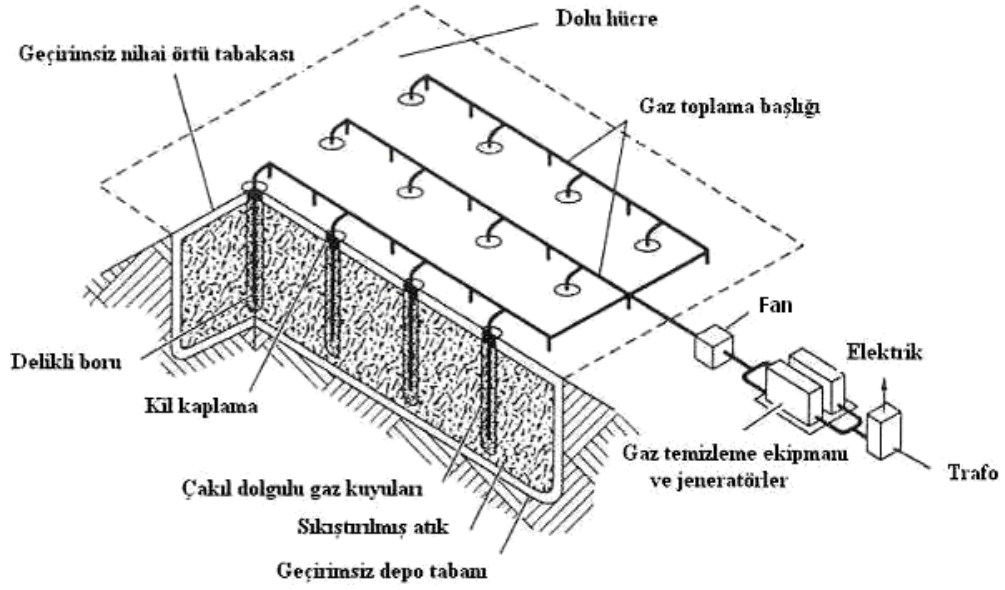
Aktif gaz toplama/çekme sisteminde, gaz toplama kuyuları bir boru şebekesi ile birbirine bağlanarak, depo gazı merkezi bir fan vasıtasıyla kısmi vakum altında çekilir. Aktif gaz çekme kuyuları, düşey veya yatay kuyular halinde teşkil edilebilir (Şekil 2.4-2.8). Düşey kuyular, burğu veya döner sondaj yöntemi ile açılırlar. Tipik bir düşey gaz çekme kuyusu Şekil 2.9’da, yatay gaz toplama hendeği Şekil 2.10’da gösterilmiştir. Kuyu başlıkları, uygulanan vakumun kontrolü ile gaz debisi, sıcaklık ve bileşiminin izlenmesine imkan veren ölçü ve kontrol düzenekleri ile donatılır.

Kuyular arası mesafe, üretilen gaz debisine bağlıdır. Düşey gaz çekme kuyularının genel tasarım ve yapım kriterleri Çizelge 2.3’de özetlenmiştir (Vesilind ve diğ., 2002).

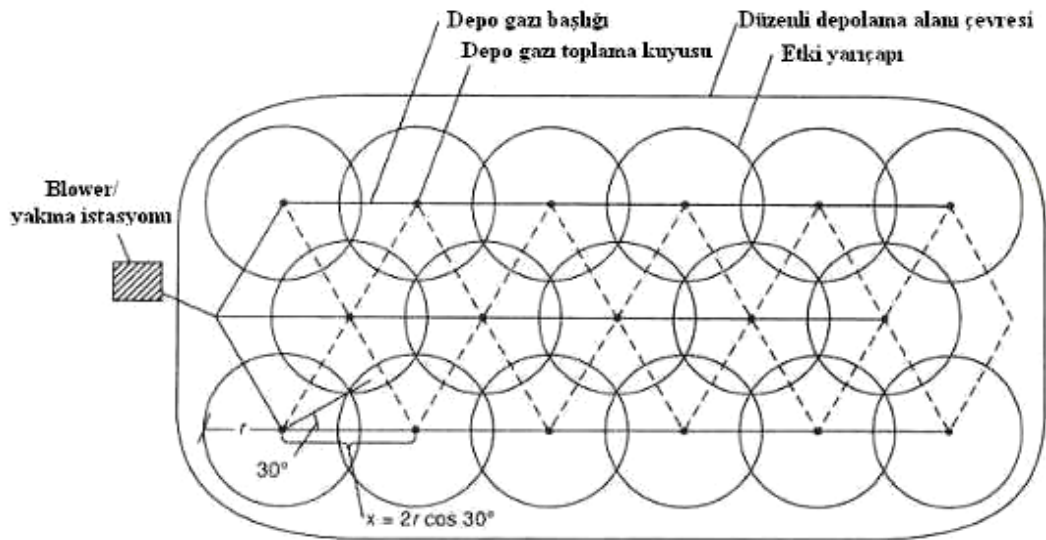


Şekil 2.4 : Gaz tahliye bacası (Öztürk, 2010)

Depo gazı, merkezi bir blower (gaz emme körükleri) sistemi ile gaz toplama şebekesine uygulanacak vakum altında emilir. Blower sistemi kapasitesi, çekilecek gaz debisine göre belirlenir. Gaz toplama sistemi, hidrolik kayıpları en aza indirmek üzere, uygun çap ve uzunlukta teşkil edilir. Maliyet optimizasyonu için, boru hattı maliyeti ile gaz çekme için sarf edilen enerji maliyeti toplamının en düşük kaldığı durum tespit edilerek ekonomik boru çapları bulunur.



Şekil 2.5 : Dikey kuyularla gaz toplama ve geri kazanma sistemi (Öztürk, 2010)

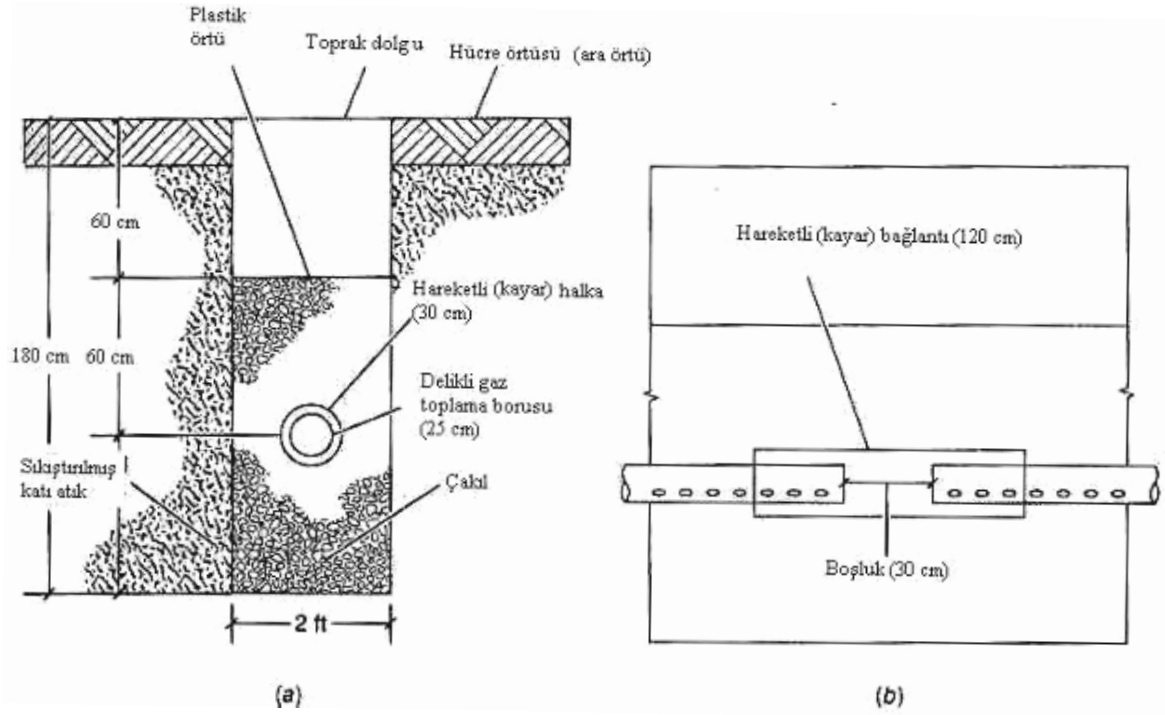


Şekil 2.6 : Dikey gaz toplama sisteminin üstten görünümü ve etki çapları (Öztürk, 2010)

Map of the Kızılkaya gas storage facility showing the layout of the storage area, including the entrance (Giriş), weighing station (Kantar), generator (Jeneratör), gas processing unit (Gaz yakma ünitesi), and the locations of horizontal gas collection wells (Yatay gaz toplama kuyuları) and gas control wells (Koku kontrol kuyusu). The map includes a legend and a scale bar (0 to 300 Metre).

Legend:

- • • • • Koku kontrol kuyuları
- Yatay gaz toplama kuyuları
- Düzenli depolama alanı sınırı
- Aktif depolama limiti



Şekil 2.10 : Yatay gaz toplama borusu detayı (a) enkesit, (b) yan görünüş (Öztürk, 2010)

Çizelge 2.3 : Düşey gaz toplama sistemi inşası için tavsiye edilen kriterler (Vesilind ve diğ., 2002)

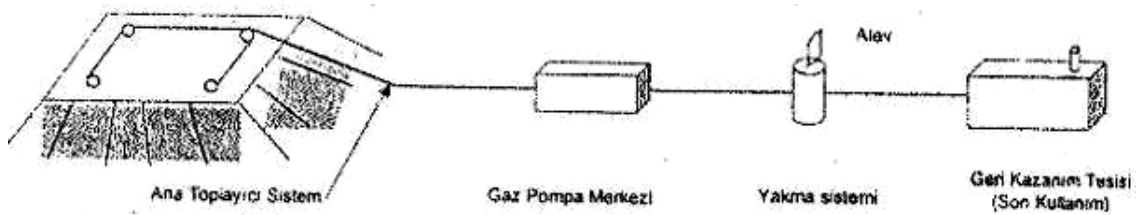
Parametre	Önerilen Kriterler
Kuyu derinliği	Dolgu yüksekliğinin %75'i veya sızıntı suyu seviyesi derinliği
Delikli kısım	Tabandaki 1/3~2/3'lük kısım yüzeyden itibaren asgari 7,5 m veya sonradan başlamalı
Gaz borusu	Ø7,5-10 cm, PVC veya HDPE, teleskopik bağlantılı
Kuyular arası mesafe (merkezden itibaren)	Ana toplama sistemi: 60-150 m, Çevresel toplama sistemi: 30-75 m
Kuyu yoğunluğu	~2.000~8.000 m ² 'de bir adet
Minimum gaz toplama borusu eğimi	%3
Kuyu (sondaj) çapı	30~90 cm standart (en sık uygulanan: Ø60, 75 ve 90 cm)

2.6 Depo Gazı Geri Kazanımı ve Kullanımı

2.6.1 Depo gazı geri kazanım teknolojileri

Gazın geri kazanımının sağlanması için depolama sahalarında düşey veya yatay kuyular açılmaktadır. Kuyular, yatay borular vasıtasıyla, blowerin negatif basınçla gazı topladığı merkezi bölgeye bağlanır. Tipik bir geri kazanım sistemi, genellikle yardımcı bir yakma (flare) sistemini de ihtiva etmelidir. Gaz geri kazanım sistemi Şekil 2.11’de görüldüğü üzere aşağıdaki bileşenlerden oluşur (Mc Bean ve diğ. 1995).

- Atık içerisinde yerleştirilmiş gaz kuyuları
- Kuyular ile emmeyi sağlayacak, pompa merkezini birleştirecek ana toplayıcı sistem
- Gaza ihtiyaç olmadığı durumlarda kullanılmak üzere, gazın yakılmasına imkan verecek yakma sistemi (gaz üretiminin gaz kullanımını aştığı durumlar için)



Şekil 2.11 : Gaz geri kazanım sistemi şematik gösterimi (Mc Bean ve diğ. 1995)

Gaz Toplama Kuyuları

Gaz toplama, depolama sahasının belli bir bölümü kapatıldıktan sonra başlamaktadır. Başlıca iki tip gaz toplama sistemi mevcuttur. Bu sistemler, düşey ve yatay gaz toplama sistemleridir. Düşey sistemler, günümüzde en yaygın kullanım alanı bulan sistemlerdir. Yatay sistemler ise, gazın hemen geri kazanılmasının gerektiği depolama sahaları için uygundur (örneğin, gaz yayılım problemlerine sahip depolama sahalarında). Hem yatay hem de düşey sistem kullanımında, her bir kuyu, gazı ana toplayıcıya götüren yatay borulara bağlanmıştır. İdeal olarak toplama sistemi, işletmecinin gaz akışını izlemesine ve müdahale etmesine olanak verecek şekilde tasarlanmalıdır (Gendebien ve diğ., 1991).

Gaz Körüğü (Blower)

Blower, gazı toplama kuyularından ana toplayıcıya götürecektir negatif basıncı oluşturmaktadır. Gazı depolama sahasından çekecek blower'in boyutları, tipi ve sayıları gaz debisine bağlıdır. Gazın kullanım şekline bağlı olarak, ilave bir gaz sıkıştırmasının yapılması gerekebilmektedir. Bununla birlikte, sadece gazın çekilmesi için gerekli sıkıştırma miktarı genellikle çok küçüktür. Bunun sebebi de, sadece çok düşük miktarda negatif basınca ihtiyaç duyulmasıdır. Örnek olarak, 2 milyon ton atık içeren bir tesis dakikada 28,5 m³ veya yılda ortalama 15 milyon m³ gaz üretebilmektedir. Buna göre 1 m³/dk. gaz debisi için yaklaşık 0,3-0,8 BG'lik bir güç gerekmekte, bu da 36-95 BG gücünde bir blowere ihtiyaç göstermektedir (Gendebien ve diğ., 1991).

Yakma Sistemi (Flare)

Yakma sistemi, gazın kullanılmadığı durumlarda doğrudan atmosfere verilmesini önlemek içindir. Gaz, hava ile yanabilir bir karışım oluşturmakta ve yanmanın gerçekleşmesi için bir ateşlemeye ihtiyaç göstermektedir. Yakma sistemi, açık ya da kapalı olarak çalışmaktadır.

Enerji kazanım sistemlerinin çoğu, gerekli olduğu durumlarda fazla gazı uzaklaştırmak için yakma sistemine sahiptirler (sistemi işletmeye alma ve kapatma, sistem iyileştirmeleri v.b). Yakma, gaz kullanımının uygun olmadığı durumlarda başlıca emisyon kontrol teknolojisi olarak ortaya çıkmaktadır. Yakma sisteminin çevresel açıdan önemli boyutu, hidrokarbon bileşiklerin yok edilmesi ve yanmamış ürünlerin oluşmamasıdır. Yakma sistemleri yaklaşık %98-99,5 oranında giderme verimine sahiptirler.

Gaz kazanımının teknik açıdan uygulanabilir olması, tesisin kuyu açılmasına uygun olup olmadığına bağlıdır. Tesiste kuyu açılabilmesi için, kuyuların açıldığı atık kütleleri stabil olmalı ve suya doymun olmamalıdır. Örneğin, bazı tesislerde tabanda suyu tutan geçirimsiz tabakalar bulunmaktadır (kil örtüler gibi). Bu sular, sızıntı suyu toplama boruları ile uzaklaştırılmaz ise atıklar suya doymun hale gelir ve gaz geri kazanım kuyularının devamlılığına izin vermez. Bu sebeple, depolama alanına gaz kuyularının yapılıp yapılamayacağını belirleyebilmek için öncelikle test kuyularının açılması önerilmektedir (Gendebien ve diğ., 1991).

2.6.2 Depo gazı kullanım teknolojileri

Depolama sahası gazları değişik şekillerde kullanılabilirler. Hangi seçeneğin tercih edileceğinde saha ve civar bölgenin enerji ihtiyaçları rol oynamaktadır. İhtiyaçlar belirlendikten sonra, en cazip seçenek, tesiste üretilecek gazın miktar ve kalitesiyle uyumlu olan alternatiftir.

2.6.2.1 Bölgesel gaz kullanım

Geri kazanılan gazın en kolay kullanımı bölgesel kullanımdır. Bu seçenek, gazın peşpeşe filtreler ve/veya kurutucular içeren bir boru hattı ile taşınmasını gerektirir. Mümkün olduğu durumlarda, boru hattı ve işletme maliyetlerini azaltmak için tek noktada kullanım tercih edilmelidir (Gendebien ve diğ., 1991).

Gazı kullanıcıya iletmeden önce, bir dereceye kadar temizlemek gerekmektedir. Kondensatın ve partiküllerin filtreler ve/veya kurutucular vasıtasıyla tutulması sağlanır. Bu minimum gaz arıtımından sonra gaz kalitesinde tipik olarak CH_4 , %35-55'ye ulaşmaktadır. Metan konsantrasyonundaki bu seviye ise, kazan ve motorlar gibi birçok ekipmanda kullanmak için yeterli bulunmaktadır. Gaz kullanım ekipmanı, genellikle %100 metan içeren doğal gaz için tasarlanmış olmasına rağmen, ekipman daha düşük içerikli metan kullanımı için kolaylıkla ayarlanabilmektedir (Gendebien ve diğ., 1991). Bu seçeneğin fizibilitesini değerlendirmek için, gazı potansiyel kullanıcılara taşıyacak boru hattının uzunluğu tahmin edilmelidir. 3 km. üzerindeki mesafeler maliyet-etkin bulunmamaktadır. Ayrıca, boru hattının inşa edilebileceği bir güzergah da hazırlanmalıdır. Nehirler veya dağlık bölgeler gibi doğal engeller, gaz iletim boru hattı inşaatını oldukça yüksek maliyetlere çıkarabilmektedir (Gendebien ve diğ., 1991).

2.6.2.2 Elektrik üretimi

Elektrik sahada kullanılmak veya bölgesel elektrik şebekesine verilmek üzere üretilmektedir. Elektrik üretimi için çeşitli teknolojiler mevcuttur. Bunlardan en yaygın olanları, içten yanmalı motorlar (İY motorlar) ve gaz türbinlerdir (Gendebien ve diğ., 1991). Elektrik üretimindeki yöntemin seçilmesinde, beklenen gaz debisi önem taşımaktadır. Gaz türbinleri, İY motorlara göre daha yüksek gaz debilerine ihtiyaç göstermektedirler. Dolayısıyla, gaz türbinleri sadece büyük depolama sahalarında uygun görülmektedir. Ayrıca, gaz türbinleri nispeten daha sürekli çalışma ihtiyacı göstermekte ve dolayısıyla gün içindeki değişen elektrik yüklerini

karşılama için kapatılıp açılması uygun olmamaktadır. Sonuç olarak, gaz türbinleri elektrik şebekesini sürekli olarak besleyecek şekilde elektrik üretiminde kullanılmaktadır. İY motorlar, kolaylıkla açılıp kapatılabilmekte ve dolayısıyla kesikli güç ihtiyaçları için uygun görülmektedir (Mc Bean ve diğ., 1995). İçten yanmalı motorlarla gaz türbinlerin mukayesesi Çizelge 2.4’de verilmektedir.

Çizelge 2.4 : Gaz türbinleri ile içten yanmalı motorların mukayesesi (Mc Bean ve diğ., 1995)

Parametre	Avantajlı Sistem	
	Gaz Türbinleri	İçten Yanmalı Motorlar
İstenen Boyutta Bulunabilirlik		X
Yatırım Maliyeti		X
İşletme&Bakım Maliyeti	X	
Enerji Etkinliği ve Gelir		X
Toplam Maliyet		X
Korozyona Dayanıklılık	X	
Hava Emisyonları	X	
Uzmanlık Bakım İhtiyacı		X
İşletmede Özel Dikkat İhtiyacı	X	

İçten Yanmalı Motorlar

İçten yanmalı motorlar depo gazı uygulamalarında, kullanımı en yaygın dönüşüm teknolojileridir. Otomobil motorlarına benzeyen sabit motorlar, orta kalitede gazı kullanarak elektrik üretmektedirler. Kapasiteleri 30-2000 kilowat arasında değişen İY motorlar, depolama sahalarında tipik olarak 700 kW-1,4 MW kapasitesindedirler (Gendebien ve diğ., 1991).

İY motorlar kanıtlanmış ve maliyet-etkin teknolojilerdir. Özellikle düşük üretim kapasitelerine karşı esneklikleri, küçük depolama sahaları için bu motorları tek elektrik üretim seçeneği haline getirmiştir. Geri kazanım projesinin başlangıcında, birçok İY motor tedarik edilip gaz üretimi düştükçe devre dışı bırakılır veya alternatif kullanım alanlarına gönderilirler. İY motorlar, güvenilir ve etkin üretim cihazlarıdır. Fakat, depolama sahası gazlarının İY motorlarda kullanımı, gazın

bünyesindeki kirliliklerden dolayı korozyon problemine sebep olabilmektedir. Bu kirlilikler arasında, İY motorun yüksek sıcaklık ve basınç altında kimyasal olarak reaksiyona girebileceği klorlu hidrokarbonlar bulunabilmektedir. Ayrıca İY motorlar, depo gazında değişen hava:yakıt oranındaki salınımlara karşı daha az esnektirler. Bazı İY motorlar, önemli miktarlarda NO_x emisyonuna sebep olabilmekte, bununla birlikte NO_x emisyonlarını azaltıcı tasarımlar da bulunmaktadır (Mc Bean ve diğ., 1995).

Gaz Türbinleri

Gaz türbinleri çevredeki kullanıcılara veya elektrik şirketlerine satmak veya sahada kullanmak için orta kalitede gazdan elektrik üretebilmektedirler. Gaz türbinlerinin ekonomik açıdan cazip olmaları için İY motorlara göre daha yüksek miktarlarda gaz debilerine ihtiyaç vardır ve dolayısıyla büyük depolama sahalarında kullanım alanı bulabilmektedirler. 500 kW ile 10 MW arasında değişen kapasitelere sahiptirler, fakat depolama sahaları için uygun kapasite 2-4 MW arasında değişir. Ayrıca, gaz türbinleri çalışmadıkları durumda bile elektrik üretimiyle neredeyse aynı miktarda yakıt kullanmaktadırlar. Buna ilaveten, gazın türbine verilmeden önce sıkıştırılması gerekmektedir (Gendebien ve diğ., 1991).

2.6.2.3 Boru hattına verme

Depo gazını boru hattına vermek, bölgesel kullanıcının bulunmaması durumunda uygun bir seçenek olabilmektedir. Yakında orta kalitede gaz taşıyan bir boru hattı bulunuyorsa, gazı vermeden önce sadece düşük bir gaz işleme gerekmektedir (Gendebien ve diğ., 1991). Boru hattına verme, gazın boru hattı basıncına kadar sıkıştırılmasını da gerekli kılmaktadır.

Orta Kalite Gaz: Orta kalite gaz, depo gazının %50 metan içeriğine sahip olmasıyla eşdeğerdir. Gaz verilmeden önce işlenmekte, böylece kuru hale gelmekte ve koroziif bileşenlerden arındırılmaktadır. Bu seçeneğin cazipliğini etkileyen başlıca faktörler, gaz sıkıştırmanın derecesi ve boru hattına olan mesafedir.

Yüksek Kalite Gaz: Yüksek kalite gaz için, geri kazanılan gazdaki karbondioksitin büyük kısmının ve eser elementlerin uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu da diğer kirlleticilerin uzaklaştırılmasından daha zor ve dolayısıyla daha pahalı bir prosestir.

Depo gazı kullanım seçeneklerinin teknik fizibilitelerinin özeti Çizelge 2.5’de verilmektedir

Çizelge 2. 5 : Depo gazı kullanımı seçeneklerinin teknik fizibilitesi özeti (Gendebien ve diğ., 1991)

Seçenekler	Depolanmış min. atık miktarı	Gaz kalitesi (min.CH ₄ kons.)	Uygulanabilirlik
Bölgesel Gaz Kullanımı			
Sahada veya endüstri, yerleşim yerleri veya ticari tesislerde doğrudan kullanım	1 milyon ton	%35	Saha dışında kullanım tesisi, sahadan en fazla 3-4 km uzakta olmalıdır. Sahada kullanım yüksek enerji gereksinimi olan tesisler için uygundur. Özellikle halihazırda doğal gaz kullanan tesisler.
Elektrik Üretimi			
İY Motorlar	1,5 milyon ton	%40	Elektrik şebekesi gereklidir. Satılan elektrik kullanıcının ekipmanı ile uyumlu olmalıdır. Sahada kullanım, elektrik kullanan yardımcı ekipmanlara sahip sahalar için uygundur.
Gaz Türbinleri	2 milyon ton	%40	Elektrik şebekesi gerekli, satılan elektrik kullanıcının ekipmanı ile uyumlu olmalıdır. Sahada kullanım, elektrik kullanan yardımcı ekipmanlara sahip sahalar için uygundur.
Boru Hattına Verme			
Orta Kalite Gaz Boru Hatları	1 milyon ton	%30-50	Orta kalite gaz boru hattı şebekesi bulunmalı ve ilave gazı taşıyacak kapasitede olmalıdır.
Yüksek Kalite Gaz Boru Hatları	1 milyon ton	%95	Özel gaz arıtma gerekmektedir. Yüksek kalitede gaz boru hattı şebekesi bulunmalı ve ilave gaz taşıyacak kapasitede olmalıdır.

3. MATERYAL METOT

3.1 Depolama Sahasında Yüzey Metan Konsantrasyonlarının Belirlenmesi

Depolama sahalarında oluşan depo gazı aktif veya pasif sistemlerle toplanabilmektedir. Aktif sistemlerde toplama verimi çeşitli faktörlere bağlı olarak %10-90 arasında değişebilmektedir. Bu nedenle ABD gibi bazı ülkelerde aktif toplama sistemleri kullanılmakla birlikte, depolama sahaları yüzeyindeki metan konsantrasyonları ile ilgili yasal sınırlamalar getirilmiştir. Aktif toplama sisteminin ne kadar verimli çalıştığını belirlemek için depo gazından enerji üretimi yapan bir depolama sahasındaki yüzey metan konsantrasyonları yaklaşık 500 noktada mobil bir cihaz ile ölçülmüştür (Şekil 3.1-3.4). Daha sonra metan konsantrasyonları dağılımı depolama sahası üzerinde gösterilmiştir.

3.2 Türkiye’deki Depo Gazından Enerji Yönetimi

Ülkemizde mevcut depo gazından enerji tesisleri yönetimini ortaya koymak amacıyla bir anket hazırlanmıştır. Anket başlıca aşağıdaki ana bölümleri içermektedir:

Bölüm 1: Genel Bilgiler

Bölüm 2: Depolama Tesis Bilgileri

Bölüm 3: Atık Miktarı

Bölüm 4: Atık Karakterizasyonu

Bölüm 5: Depo Gazından Enerji Tesis

Bölüm 6: Depo Gazı Miktarı

Bölüm 7: Elektrik Üretim Miktarı

Hazırlanan anket ülkemizdeki tüm depo gazından enerji tesisi yetkililerine gönderilmiştir. Tesisler tarafından doldurulan anketler toplanarak değerlendirilmiştir.



Şekil 3.1 : Yüzey metan konsantrasyonu belirlemede kullanılan mobil ölçüm cihazının görünümü



Şekil 3.2 : Yüzey metan konsantrasyonu belirleme çalışmasından bir görünüm



Şekil 3.3 : Yüzey metan konsantrasyonu belirleme çalışmasından bir görünüm



Şekil 3.4 : Yüzey metan konsantrasyonu belirleme çalışmasından bir görünüm

4. DEPOLAMA SAHASI YÜZEY METAN KONSANTRASYONLARI VE TÜRKİYE’DE DEPO GAZINDAN ENERJİ YÖNETİMİ

4.1 Depolama Sahasında Yüzey Metan Konsantrasyonları

Depolama sahaları örtüsündeki kurumalar, çökmeler vb. nedenlerle oluşan çatlaklar, sahada oluşan gazların atmosfere başlıca çıkış noktalarıdır (Şekil 4.1). Çalışma kapsamında aktif bir depolama sahasında yaklaşık 530 noktada ölçülen yüzey metan konsantrasyonları Şekil 4.2’de verilmiştir. Buna göre yüzey metan konsantrasyonları 3-317.000 ppm arasında değişmekte olup, ortalama konsantrasyon 9.168 ppm’dir. Ölçüm yapılan sahada aktif gaz depolama sistemi mevcut olmakla birlikte, nihai örtü olarak sadece ~ 50 cm toprak kullanılmıştır. Ölçümler esnasında sahada toprak tabakasındaki çatlaklardan ciddi oranda metan kaçakları gözlenmiştir (Şekil 4.1). ABD Kaliforniya eyaletinde depolama sahaları yüzey metan konsantrasyonları için limit 500 ppm (RRME, 2010) olup, bu çalışma kapsamında depolama sahasında 530 noktada ölçülen ortalama yüzey metan konsantrasyonu olan 9.168 ppm, söz konusu limitin yaklaşık 20 katıdır.



Şekil 4.1 : Yüzey metan konsantrasyonu ölçümü yapılan bir noktadaki çatlakların görünümü



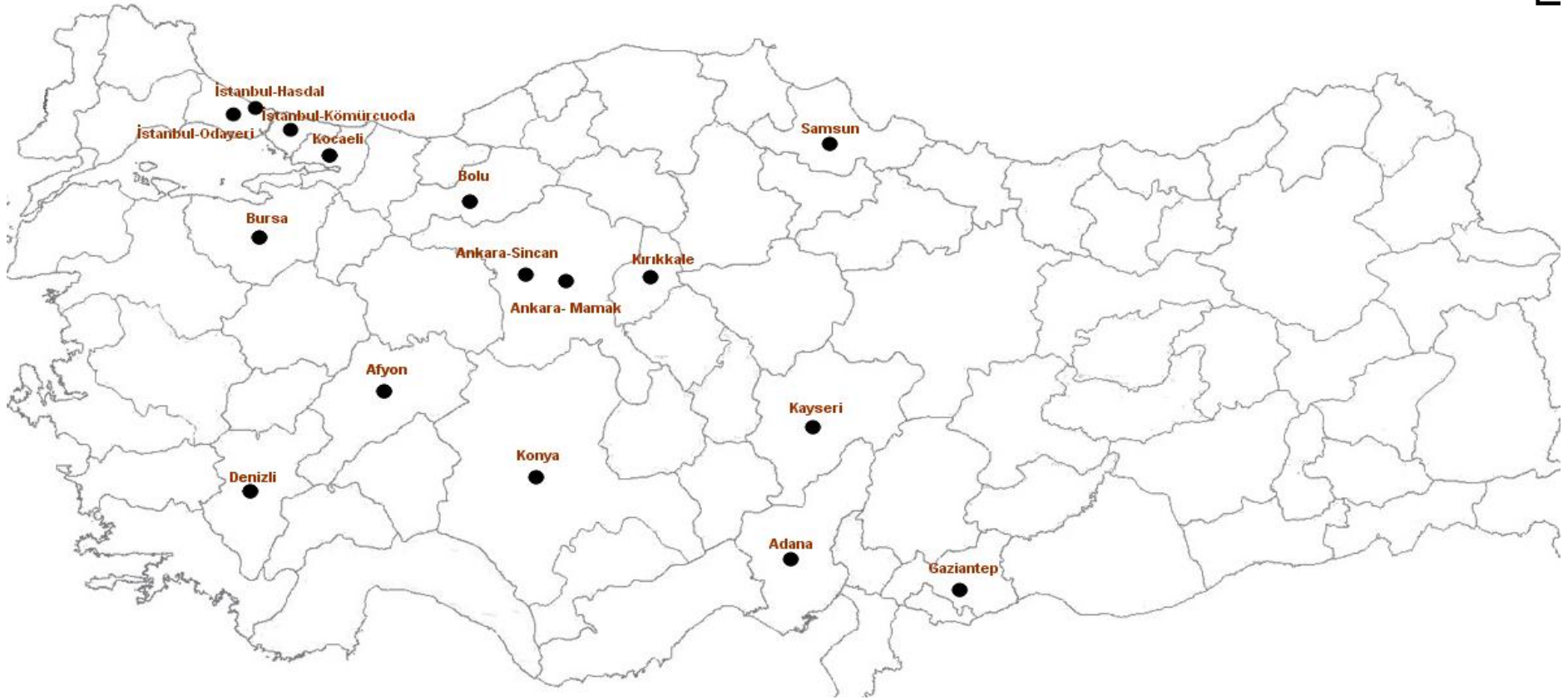
Şekil 4.2 : Depolama sahası yüzey metan konsantrasyonları

4.2 Türkiye’de Depo Gazından Enerji Yönetimi

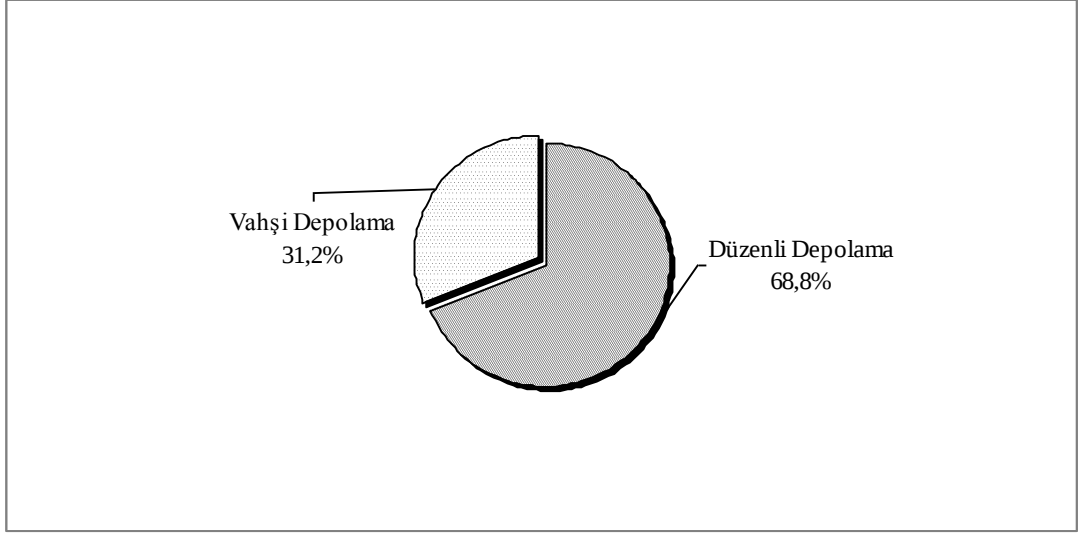
Türkiye’deki mevcut depo gazından enerji tesisi sayısı 16 adet olup, bu tesislerin lokasyonları ve kapasiteleri Çizelge 4.1’de verilmiştir. Harita üzerindeki konumları ise Şekil 4.3’de gösterilmiştir. Halihazırda 16 adet tesisin toplam kapasitesi 129,4 MW’dır. İstanbul’da 3, Ankara’da 2, Adana, Bursa, Konya, Gaziantep, Kayseri, Afyon, Samsun, Kocaeli, Bolu, Kırıkkale ve Denizli’de ise birer tesis bulunmaktadır. Bunlardan tesis sayısına göre %31,2’si vahşi depolama (5 tesis), %68,8’i düzenli depolama (11 tesis) sahalarından elektrik üretimi yapmaktadır (Şekil 4.4). Tesis kapasitelerinin ise %37,3’ü vahşi depolama (48,3 MW) sahalarında kurulu iken, %62,7’si düzenli depolama (81,1 MW) sahalarındadır (Şekil 4.5). Aşağıdaki bölümlerde incelenen tesislere ait bilgiler verilmiştir.

Çizelge 4.1 : Türkiye’deki depo gazından enerji tesislerinin lokasyonları ve kapasiteleri

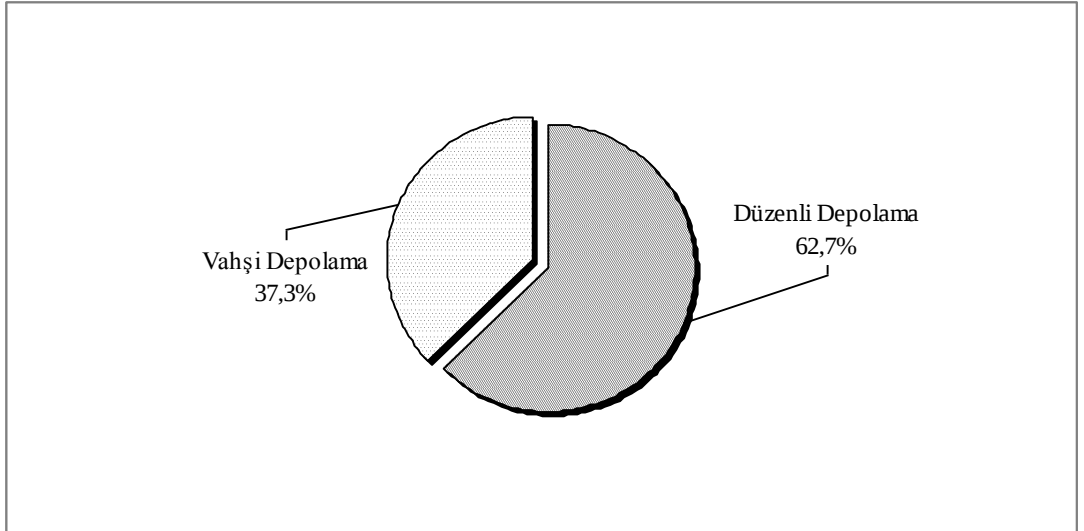
Tesis Yeri	Kapasite (MW _{elektrik})
Istanbul, Odayeri	27,8
Ankara, Mamak	25,4
Istanbul, Sile	14,1
Ankara, Sincan	14,0
Adana	11,3
Bursa	9,8
Gaziantep	5,7
Konya	5,6
Kayseri	4,0
Afyon	2,4
Samsun	2,4
Kocaeli	2,3
Istanbul, Hasdal	2,0
Bolu	1,1
Kırıkkale	1,0
Denizli	0,5
Toplam	129,4



Şekil 4.3 : Türkiye’deki depo gazından enerji tesislerinin lokasyonları



Şekil 4.4 : Depo gazından enerji tesisi sayılarına göre depolama sahası tipi



Şekil 4.5 : Depo gazından enerji tesisi kapasitelerine göre depolama sahası tipi

4.2.1 İstanbul Odayeri Depo Gazından Enerji Tesisi

Odayeri Depo Gazından Enerji Tesisi, İstanbul Avrupa yakasında yer almakta olup şehir merkezine yaklaşık 25 km mesafededir. Düzenli Depolama tesisi 1995 yılında işletmeye başlamış olup, ~40 ha alanda 1995-2012 yılları arasında yaklaşık 40,8 milyon ton atık depolanmıştır (Çizelge 4.2).

Odayeri Düzenli Depolama Tesisi'nin görünümü Şekil 4.6'da, depo gazından enerji tesisinin görünümü Şekil 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4. 2 : İstanbul Odayeri Düzenli Depolama Sahası depo gazı kuyuları altındaki atık kütlelerinin yıllara göre değişimi

Yıllar	Atık Miktarı, ton
1995	524.013
1996	1.112.443
1997	1.521.541
1998	1.775.983
1999	2.220.225
2000	2.282.265
2001	2.205.211
2002	2.281.219
2003	2.452.350
2004	2.848.277
2005	3.215.211
2006	3.469.871
2007	3.182.820
2008	3.345.988
2009	3.336.014
2010	3.426.405
2011	3.491.683
2012	1.314.621
Toplam	40.848.143



Şekil 4.6 : Odayeri Düzenli Depolama Tesisi'nin görünümü

Depolama tesisi tabanında kil ve geomembran kullanılarak geçirimsizlik sağlanmaktadır. Sızıntı suları ise HDPE borularla toplanarak uzaklaştırılmakta ve

arıtılmaktadır. Sahada iki büyük hücre (Hücre 1 ve 2) ve iki daha küçük hücre (Hücre 3 ve 4) bulunmaktadır. Üst örtüde yaklaşık 1 m kil kullanılarak geçirimsizlik sağlanmıştır (Arıkan ve diğ., 2011).

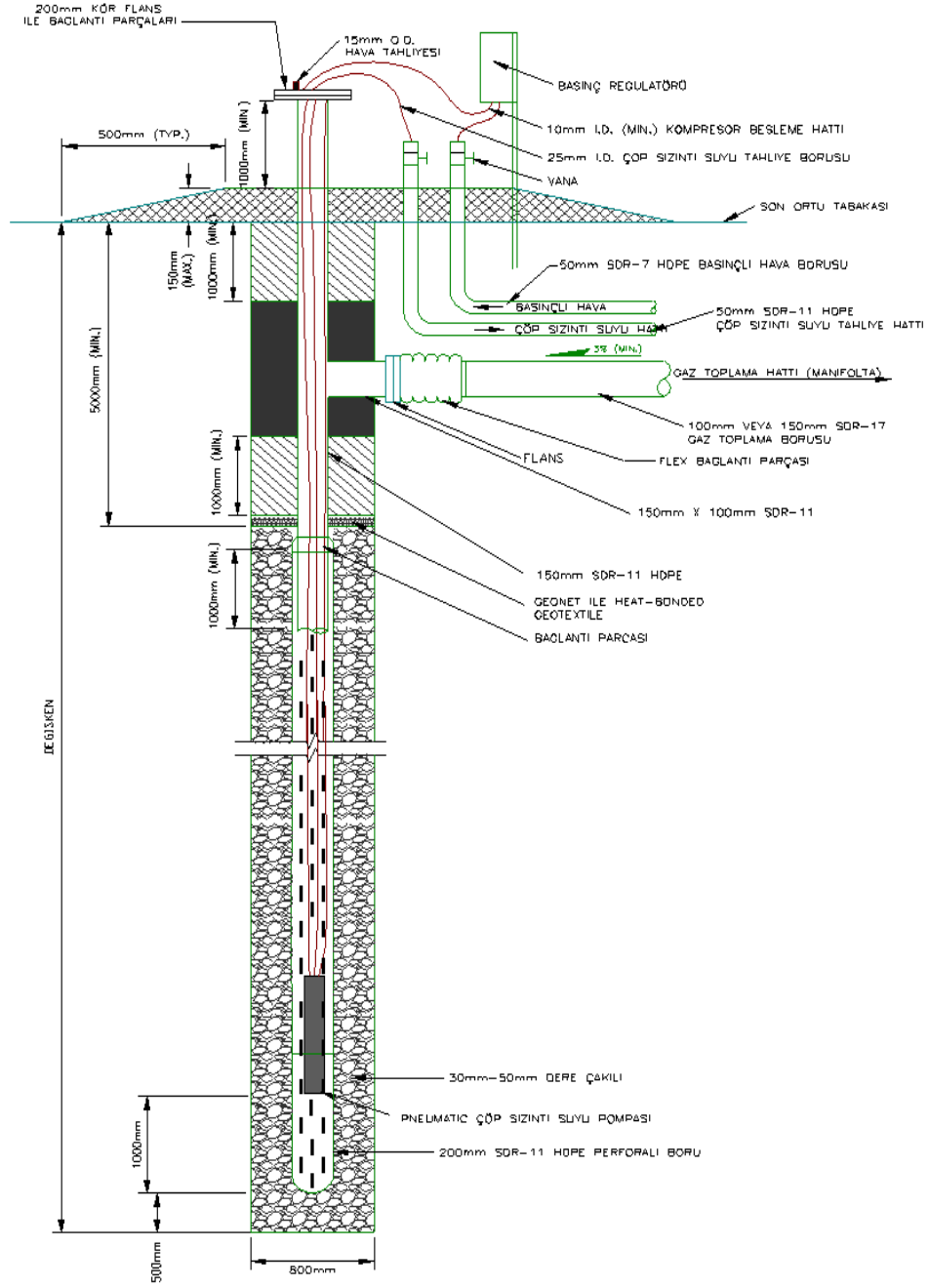
Odayeri’nde depo gazından enerji tesisi 2009’da işletmeye başlamıştır. Ortalama atık yüksekliği yaklaşık 40 m civarında olmakla birlikte, atık yüksekliği belli noktalarda 80 m’ye kadar ulaşabilmektedir. Sahada düşey ve yatay gaz toplama kuyuları bulunmaktadır (Şekil 4.8). Tipik kuyu kesiti Şekil 4.9’da verilmiştir.



Şekil 4.7 : Odayeri Depo Gazından Enerji Tesisi’nin görünümü



Şekil 4.8 : Odayeri Düzenli Depolama Tesisi gaz kuyularının yerleşimi



Şekil 4.9 : Odayeri Düzenli Depolama Tesisi tipik gaz kuyusu kesiti

4.2.2 İstanbul Kömürcüoda Depo Gazından Enerji Tesisi

Kömürcüoda Depo Gazından Enerji Tesisi, İstanbul Asya yakasında yer almakta olup şehir merkezine yaklaşık 50 km mesafededir. Düzenli Depolama tesisi 1995 yılında işletmeye başlamış olup, ~44 ha alanda 1995-2011 yılları arasında yaklaşık 21 milyon ton atık depolanmıştır (Çizelge 4.3). Depolama tesisi tabanında kil ve geomembran kullanılarak geçirimsizlik sağlanmaktadır. Sızıntı suları ise HDPE

borularla toplanarak uzaklaştırılmakta ve arıtılmaktadır. Üst örtüde yaklaşık 0,6 m kil kullanılarak geçirimsizlik sağlanmıştır.

Kömürcüoda Düzenli Depolama Tesisi'nin görünümü Şekil 4.10'da, Depo Gazından Enerji Tesisi'nin görünümü Şekil 4.11'de verilmiştir. Kömürcüoda depo gazından enerji tesisi 2009'da işletmeye başlamıştır. Ortalama atık yüksekliği yaklaşık 20 m'dir. Sahada düşey ve yatay gaz toplama kuyuları bulunmaktadır (Şekil 4.12).

Çizelge 4. 3 : İstanbul Kömürcüoda Düzenli Depolama Sahası depo gazı kuyuları altındaki atık kütleinin yıllara göre değişimi

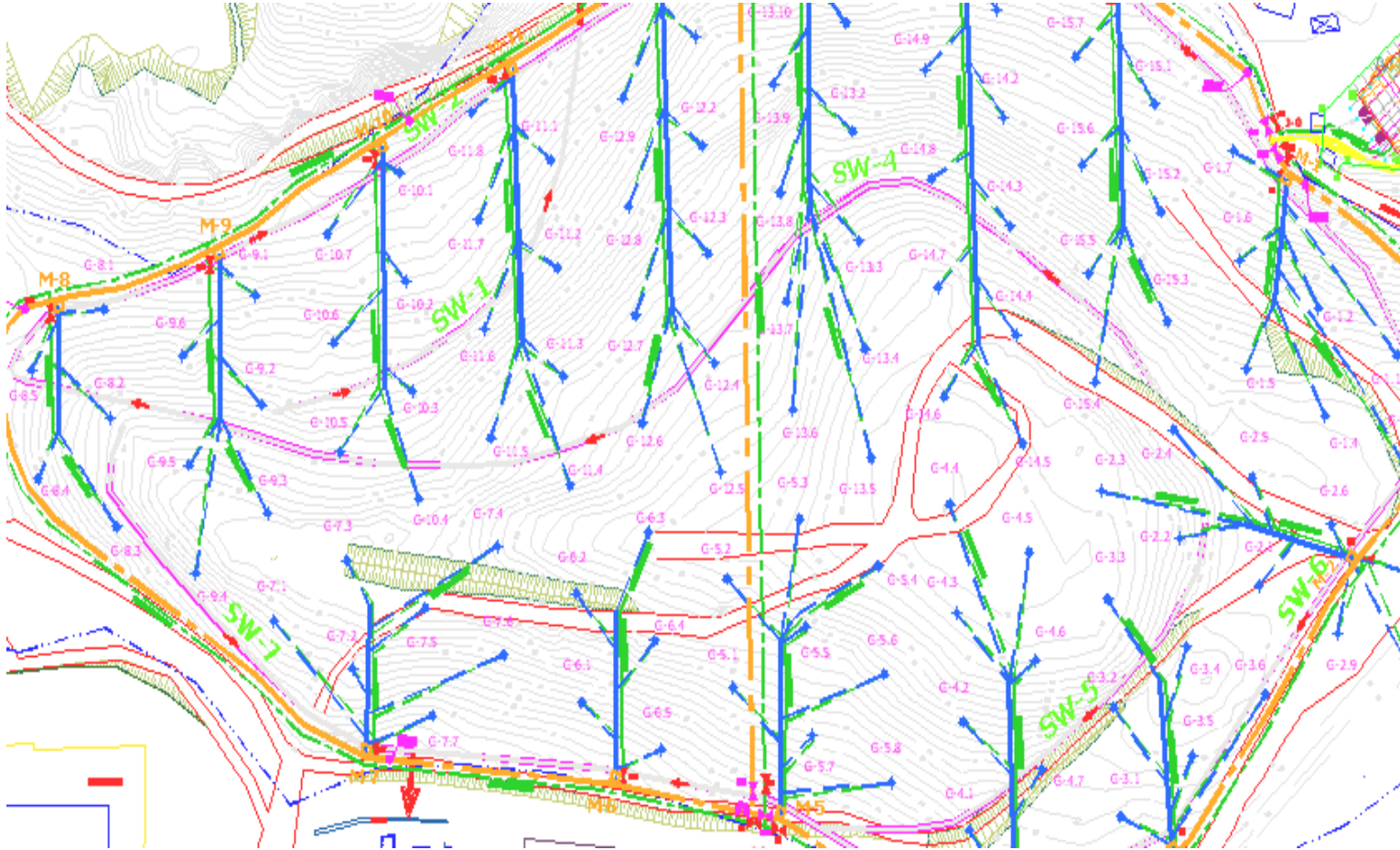
Yıllar	Atık Miktarı, ton
1995	228.546
1996	628.622
1997	779.389
1998	885.427
1999	965.168
2000	1.037.624
2001	1.013.196
2002	1.032.549
2003	1.099.973
2004	1.314.152
2005	1.459.226
2006	1.620.807
2007	1.639.338
2008	1.749.984
2009	1.771.523
2010	1.847.511
2011	1.898.249
Toplam	20.971.284



Şekil 4.10 : Kömürcüoda Düzenli Depolama Tesisi'nin görünümü



Şekil 4.11 : Kömürcüoda Depo Gazından Enerji Tesisi'nin görünümü



Şekil 4.12 : Kömürcüoda Düzenli Depolama Tesisi gaz kuyularının yerleşimi

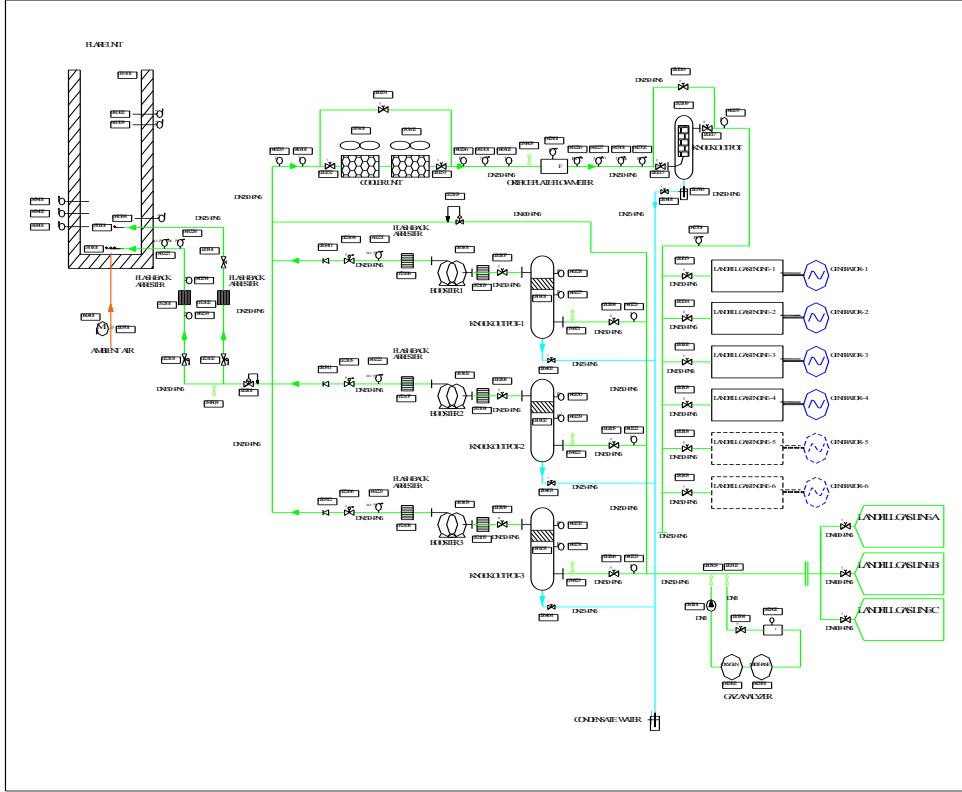
4.2.3 İstanbul Hasdal Depo Gazından Enerji Tesisi

İstanbul Hasdal Depo Gazından Enerji Tesisi, şehir merkezine yaklaşık 20 km mesafededir. Depo Gazından Enerji Tesisi vahşi depolama tesisinden toplanan gazlardan elektrik üretmektedir. Depolama sahası 1996 yılında kapatılarak rehabilite edilmiş olup, 1980-1996 yılları arasında 58 ha'lık bir alanda yaklaşık 6 milyon atık depolanmıştır (Öztürk, 2001) (Çizelge 4.4). Depolama tesisi tabanında kil vb. bir geçirimsizlik tabakası bulunmamaktadır. Sızıntı suları ise sahanın düşük kotlarında toplanmaktadır.

İstanbul Hasdal Depo Gazından Enerji Tesisi'nin P&I diyagramı Şekil 4.13'de, görünümü Şekil 4.14'de verilmiştir. İstanbul Hasdal depo gazından enerji tesisi 2001'de işletmeye başlamıştır. Sahada 180 adet düşey gaz toplama kuyusu bulunmaktadır (Şekil 4.15).

Çizelge 4.4 : İstanbul Hasdal Depolama Sahası atık kütlesinin yıllara göre değişimi

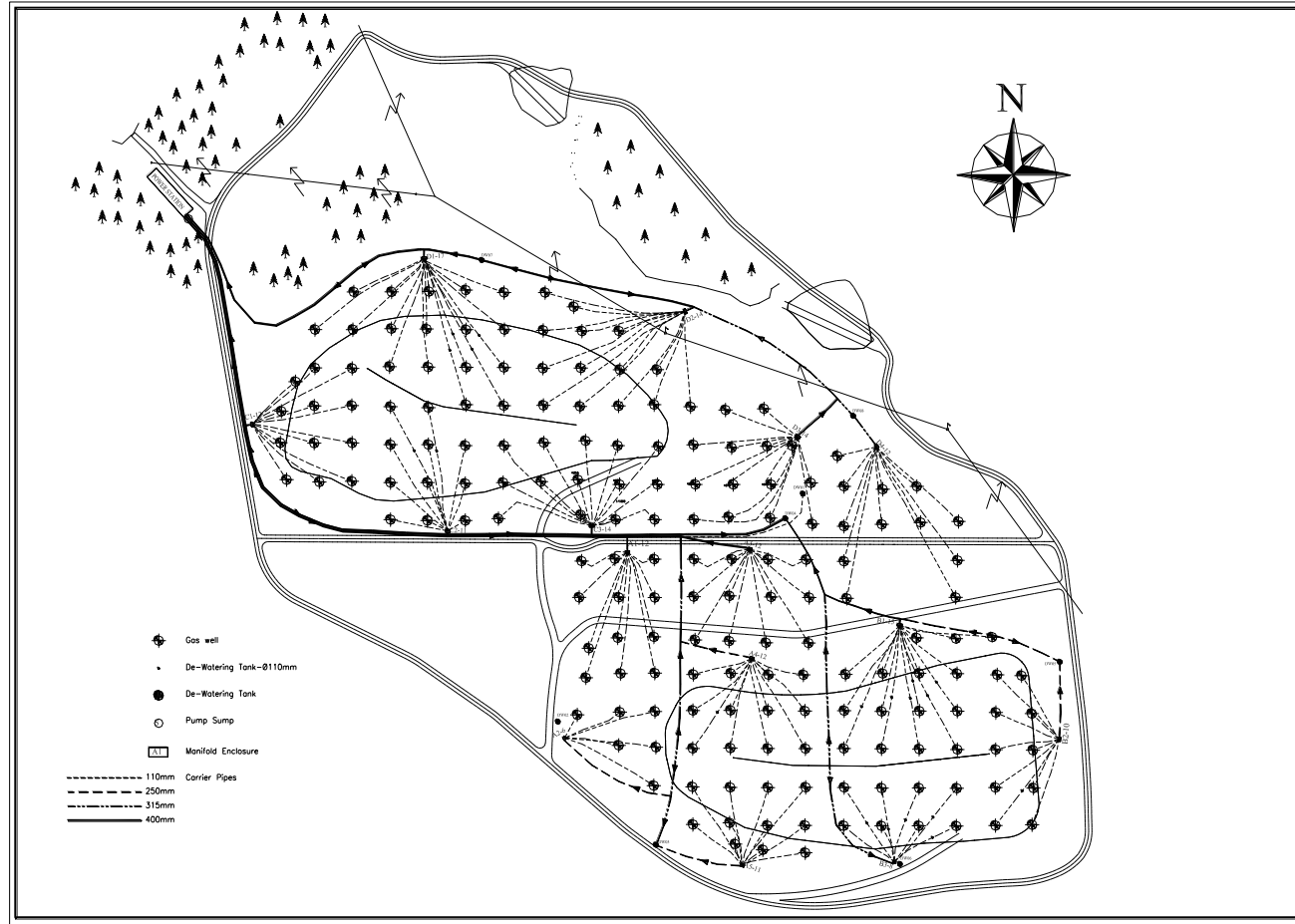
Yıllar	Atık Miktarı, ton
1980	5.000
1981	30.000
1982	50.000
1983	60.000
1984	100.000
1985	120.000
1986	140.000
1987	160.000
1988	230.000
1989	250.000
1990	300.000
1991	400.000
1992	500.000
1993	800.000
1994	1.100.000
1995	1.300.000
1996	500.000
Toplam	5.945.000



Şekil 4.13 : İstanbul Hasdal Depo Gazından Enerji Tesisi P&I diyagramı



Şekil 4.14 : İstanbul Hasdal Depo Gazından Enerji Tesisi'nin görünümü



Şekil 4.15 : İstanbul Hasdal Depo Gazından Enerji Tesisi gaz kuyularının yerleşimi

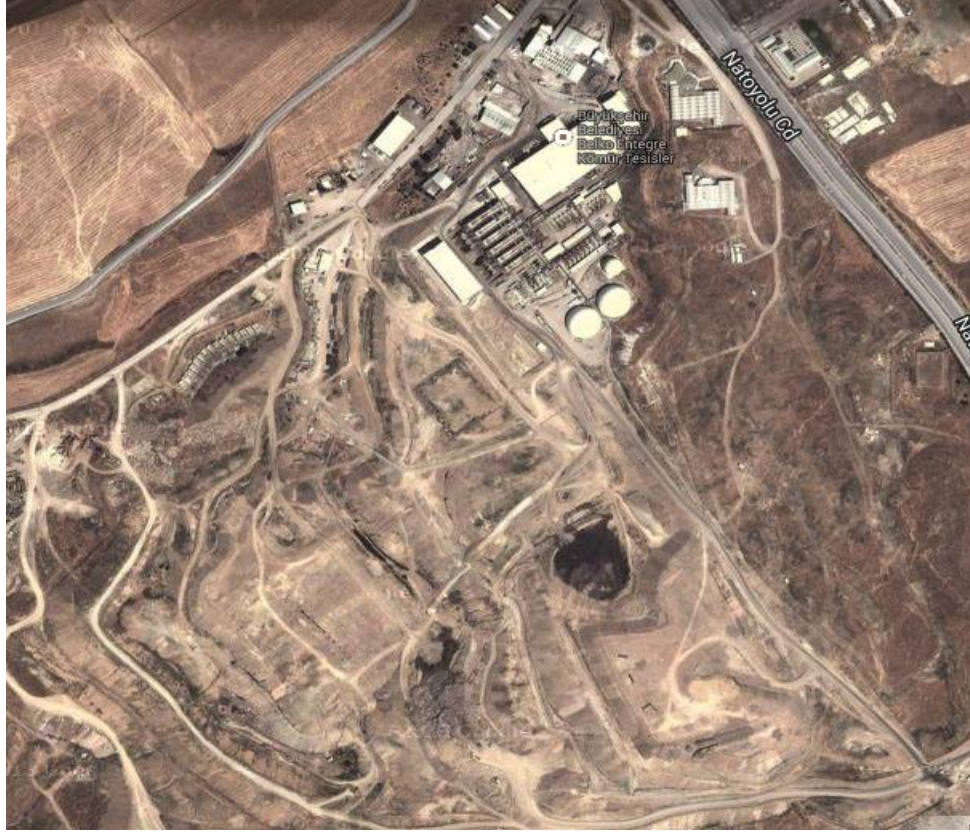
4.2.4 Ankara Mamak Depo Gazından Enerji Tesisi

Ankara Mamak'ta, Depo Gazından Enerji Tesisi'nin de içinde bulunduğu entegre bir atık tesisi bulunmaktadır. Tesis şehir merkezine yaklaşık 2 km mesafededir. Depolama sahası eski bir vahşi depolama alanıdır. Söz konusu saha rehabilite edilmiş olup, sahada kontrolü depolama yapılmaktadır. Saha 1980 yılından bu yana işletmededir. Sahaya 2006-2012 yılları arasında yaklaşık 8,8 milyon ton atık depolanmıştır (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.5 : Ankara Mamak Depolama Sahası atık kütlesinin yıllara göre değişimi

Yıllar	Atık Miktarı, ton
2006	1.460.000
2007	1.300.000
2008	1.300.000
2009	1.200.000
2010	1.200.000
2011	1.200.000
2012	1.095.000
Toplam	8.755.000

Ankara Mamak Depo Gazından Enerji Tesisi 2006'da işletmeye başlamıştır. Sahada ortalama atık yüksekliği 30 m'dir. Mamak Depolama Sahası ve Entegre Atık Tesisi'nin uydu fotoğrafı Şekil 4.16'da, Entegre Atık Tesisi'nin genel görünümü ise Şekil 4.17'de verilmiştir.



Şekil 4.16 : Ankara Mamak Depolama Sahası ve Entegre Atık Tesisi'nin uydu fotoğrafı



Şekil 4.17 : Ankara Mamak Entegre Atık Tesisi'nin görünümü

4.2.5 Ankara Sincan Depo Gazından Enerji Tesisi

Ankara Sincan'da, Depo Gazından Enerji Tesisi'nin de içinde bulunduğu entegre bir atık tesisi yer almaktadır. Tesis şehir merkezine yaklaşık 6 km mesafededir.

Depolama sahası 2006 yılından bu yana işletmededir. Sahaya 2006-2012 yılları arasında yaklaşık 2,3 milyon ton atık depolanmıştır (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.6 : Ankara Sincan Depolama Sahası atık kütlesinin yıllara göre değişimi

Yıllar	Atık Miktarı, ton
2006	100.000
2007	182.500
2008	200.000
2009	365.000
2010	430.000
2011	430.000
2012	547.500
Toplam	2.255.000

Ankara Mamak Depo Gazından Enerji Tesisi 2009’da işletmeye başlamıştır. Sahada ortalama atık yüksekliği 30 m’dir. Sincan Depolama Sahası ve Entegre Atık Tesisi’nin uydu fotoğrafı Şekil 4.18’de, Entegre Atık Tesisi’nin genel görünümü ise Şekil 4.19’da verilmiştir.



Şekil 4.18 : Ankara Sincan Depolama Sahası ve Entegre Atık Tesisi’nin uydu fotoğrafı



Şekil 4.19 : Ankara Sincan Entegre Atık Tesisi'nin görünümü

4.2.6 Adana Depo Gazından Enerji Tesisi

Adana. Depolama sahası eski bir vahşi depolama alanıdır. Söz konusu saha rehabilite edilmiş olup, sahada kontrolü depolama yapılmaktadır. Adana Depolama Sahası ve Entegre Atık Tesisi'nin uydu fotoğrafı Şekil 4.20'de, Entegre Atık Tesisi'nin genel görünümü ise Şekil 4.21'de verilmiştir.



Şekil 4.20 : Adana Depolama Sahası ve Entegre Atık Tesisi'nin uydu fotoğrafı



Şekil 4.21 : Adana Entegre Atık Tesisi'nin görünümü

4.2.7 Bursa Depo Gazından Enerji Tesisi

Bursa Depo Gazından Enerji Tesisi, şehir merkezine yaklaşık 12 km mesafede Hamitler mevkiinde yer almaktadır. Düzenli Depolama tesisi 1995 yılından itibaren faaliyette olup, ~16 ha alanda 2013 yılına kadar yaklaşık 8,4 milyon ton atık depolanmıştır (Çizelge 4.7). Depolama tesisi tabanında kil kullanılarak geçirimsizlik sağlanmaktadır. Sızıntı suları ise HDPE borularla toplanmakta ve sızıntı suyu arıtma tesisinde arıtıldıktan sonra deşarj edilmektedir.

Çizelge 4. 7 : Bursa Düzenli Depolama Sahası atık kütlesinin yıllara göre değişimi

Yıllar	Atık Miktarı, ton
1995	24.838
1996	197.624
1997	763.229
1998	288.862
1999	314.879
2000	333.485
2001	315.035
2002	337.899
2003	357.420
2004	476.219
2005	523.138
2006	558.115
2007	674.242
2008	598.570
2009	610.979
2010	631.694
2011	680.853
2012	701.699
Toplam	8.388.780

Bursa Düzenli Depolama Tesisi'nin uydu fotoğrafı Şekil 4.22'de, görünümü Şekil 4.23'de, Depo Gazından Enerji Tesisi'nin görünümü Şekil 4.24'de verilmiştir. Bursa depo gazından enerji tesisi 2012'de işletmeye başlamıştır. Sahadaki atık yüksekliği 7 ila 56 m arasında değişmektedir.



Şekil 4.22 : Bursa Düzenli Depolama Tesisi'nin uydu fotoğrafı



Şekil 4.23 : Bursa Düzenli Depolama Tesisi'nin genel görünümü



Şekil 4.24 : Bursa Depo Gazından Enerji Tesisi'nin görünümü

4.2.8 Gaziantep Depo Gazından Enerji Tesisi

Gaziantep Depo Gazından Enerji Tesisi, 2010'de işletmeye başlamıştır. Gaziantep Düzenli Depolama Tesisi'nin uydu fotoğrafı Şekil 4.25'de, genel görünümü Şekil 4.26'da, Depo Gazından Enerji Tesisi'nin görünümü ise Şekil 4.27'de verilmiştir.



Şekil 4.25 : Gaziantep Düzenli Depolama Tesisi'nin genel görünümü



Şekil 4.26 : Gaziantep Düzenli Depolama Tesisi'nin genel görünümü



Şekil 4.27 : Gaziantep Depo Gazından Enerji Tesisi'nin görünümü

4.2.9 Konya Depo Gazından Enerji Tesisi

Konya Depo Gazından Enerji Tesisi'nde vahşi depolama sahasından elektrik üretilmekte olup, tesis şehir merkezine yaklaşık 10 km mesafededir. Depolama tesisi 2004 yılında işletmeye başlamış olup, ~20 ha alanda 2006-2012 yılları arasında yaklaşık 2,7 milyon ton atık depolanmıştır (Çizelge 4.8). Kantar 2006 yılında işletmeye alındığından depolanmış atık miktarı bu değerden daha yüksektir. Nihai örtü tabakasında geçirimsizlik kil ile sağlanmıştır.

Çizelge 4. 8 : Konya Depolama Sahası atık kütlelerinin yıllara göre değişimi

Yıllar	Atık Miktarı, ton
2006	345.643
2007	353.145
2008	364.105
2009	367.893
2010	381.356
2011	409.197
2012	439.650
Toplam	2.660.989

Konya Düzenli Depolama Tesisi'nin görünümü Şekil 4.28'de, Depo Gazından Enerji Tesisi'nin görünümü Şekil 4.29'da verilmiştir. Konya depo gazından enerji tesisi 2011'de işletmeye başlamıştır. Sahadaki atık yüksekliği 17 ila 22 m arasında değişmekte olup, ortalama atık yüksekliği 20 m'dir.



Şekil 4.28 : Konya Depolama Tesisi'nin genel görünümü



Şekil 4.29 : Konya Depo Gazından Enerji Tesisi'nin görünümü

4.2.10 Kayseri Depo Gazından Enerji Tesisi

Kayseri Depo Gazından Enerji Tesisi, şehir merkezine yaklaşık 25 km mesafededir. Depo Gazından Enerji Tesisi vahşi depolama sahasından toplanan gazlardan elektrik üretmektedir. Depolama sahasına gelen atık miktarı düzenli olarak 2012 yılından itibaren tartılmaya başlanmıştır. 2012 Mart-2013 Mayıs arasında sahaya yaklaşık 3,4 milyon ton atık gelmiştir. Bununla birlikte önceki miktarlar bilinmediğinden, sahada depolanan atık miktarı tam olarak belli değildir. Depolama tesisi tabanında sonradan ilave kil vb. bir geçirimsizlik tabakası bulunmamaktadır. Sızıntı suları ise sahanın düşük kotlarında toplanmaktadır.

Kayseri Depolama Sahasının uydu fotoğrafı Şekil 4.30'da, görünümü Şekil 4.31'de, Depo Gazından Enerji Tesisi'nin görünümü ise Şekil 4.32'de verilmiştir. Kayseri depo gazından enerji tesisi 2011'de işletmeye başlamıştır. Sahadaki atık yüksekliği 15 ila 60 m arasında değişmekte olup, ortalama atık yüksekliği 30 m'dir. Sahada 35 yatay gaz toplama hattı bulunmaktadır.



Şekil 4.30 : Kayseri Depolama Sahasının uydu fotoğrafı



Şekil 4.31 : Kayseri Depo Gazından Enerji Tesisi'nin görünümü



Şekil 4.32 : Kayseri Depo Gazından Enerji Tesisi'nin görünümü

4.2.11 Afyon Depo Gazından Enerji Tesisi

Afyon Depo Gazından Enerji Tesisi, şehir merkezine yaklaşık 14 km mesafededir. Düzenli Depolama tesisi 2009 yılında işletmeye başlamış olup, ~10 ha alanda 2009-2012 yılları arasında yaklaşık 421.000 ton atık depolanmıştır (Çizelge 4.9). Depolama tesisi tabanında kil kullanılarak geçirimsizlik sağlanmaktadır. Sızıntı suları ise HDPE borularla toplanmaktadır.

Çizelge 4. 9 : Afyon Düzenli Depolama Sahası atık kütlelerinin yıllara göre değişimi

Yıllar	Atık Miktarı, ton
2009	26.193
2010	122.815
2011	134.368
2012	137.969
Toplam	421.345

Afyon Düzenli Depolama Tesisi'nin görünümü Şekil 4.33'de, Depo Gazından Enerji Tesisi'nin görünümü Şekil 4.34'de verilmiştir. Afyon depo gazından enerji tesisi 2012'de işletmeye başlamıştır. Sahadaki atık yüksekliği 3 ila 15 m arasında

değişmekte olup, ortalama atık yüksekliği 8 m'dir. Sahada 27 yatay gaz toplama hattı bulunmaktadır.



Şekil 4.33 : Afyon Düzenli Depolama Tesisi'nin genel görünümü



Şekil 4.34 : Afyon Depo Gazından Enerji Tesisi'nin görünümü

4.2.12 Samsun Depo Gazından Enerji Tesisi

Samsun Depo Gazından Enerji Tesisi, şehir merkezine yaklaşık 12 km mesafededir. Düzenli Depolama tesisi 2008 yılında işletmeye başlamış olup, ~6 ha alanda 2008-2012 yılları arasında yaklaşık 814.809 ton atık depolanmıştır (Çizelge 4.10). Depolama tesisi tabanında kil kullanılarak geçirimsizlik sağlanmaktadır. Sızıntı suları ise HDPE borularla toplanmaktadır.

Çizelge 4. 10 : Samsun Düzenli Depolama Sahası atık kütlesinin yıllara göre değişimi

Yıllar	Atık Miktarı, ton
2008	101.175
2009	180.838
2010	159.376
2011	180.676
2012	192.744
Toplam	814.809

Samsun Düzenli Depolama Tesisi'nin görünümü Şekil 4.35'de, Depo Gazından Enerji Tesisi'nin görünümü Şekil 4.36'da verilmiştir. Samsun depo gazından enerji tesisi 2012'de işletmeye başlamıştır. Sahadaki atık yüksekliği 2 ila 32 m arasında değişmekte olup, ortalama atık yüksekliği 16 m'dir. Sahada 5 adet düşey gaz toplama kuyusu, 56 yatay gaz toplama hattı bulunmaktadır.



Şekil 4.35 : Samsun Düzenli Depolama Tesisi'nin genel görünümü



Şekil 4.36 : Samsun Depo Gazından Enerji Tesisi'nin görünümü

4.2.13 Kocaeli Solaklar Depo Gazından Enerji Tesisi

Kocaeli Solaklar atık depolama sahası şehir mekezinden yaklaşık 8 km mesafededir. Katı atık depolamaya 1997 yılında başlanan sahada, 2012 yılı sonuna kadar yaklaşık 3,8 milyon ton atık depolanmış durumdadır (Çizelge 4.11) (Sel ve diğ. 2013).

Solaklar depolama sahasının yüzölçümü yaklaşık 26 hektardır (Şekil 4.37). Solaklar Düzenli Depolama Tesisi'nin genel görünümü Şekil 4.38'de verilmiştir. Sahanın tabanında kil ve geomembrandan oluşan geçirimsiz kaplama bulunmaktadır. Tabanda biriken katı atık sızıntı suyunun toplanması için bir drenaj sistemi oluşturulmuştur. Sahada toplanan sızıntı suları yaklaşık 10 km mesafedeki merkezi atıksu arıtma tesisine iletilmektedir.

Çizelge 4.11 : Kocaeli Düzenli Depolama Sahası atık kütlesinin yıllara göre değişimi

Yıllar	Atık Miktarı, ton
1997	51.064
1998	152.708
1999	163.950
2000	188.540
2001	183.840
2002	184.170
2003	180.516
2004	220.165
2005	259.914
2006	271.035
2007	274.035
2008	285.914
2009	331.298
2010	333.124
2011	340.738
2012	356.124
Toplam	3.777.135

Depolama sahası yamaçlarındaki atık yüksekliği 6-15 m arasında değişirken, merkezdeki atık yüksekliği 40 m civarındadır.

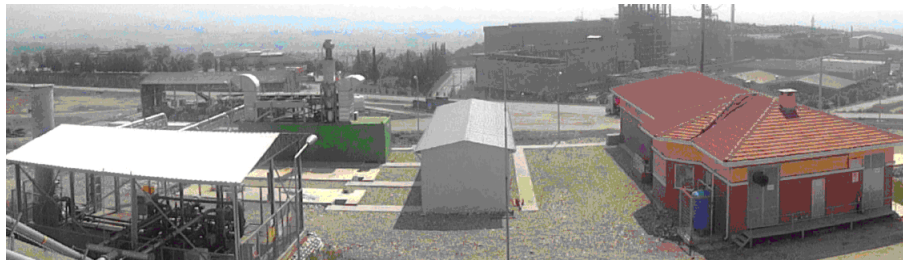


Şekil 4.37 : Kocaeli Solaklar Düzenli Depolama Sahası'nın uydu fotoğrafı

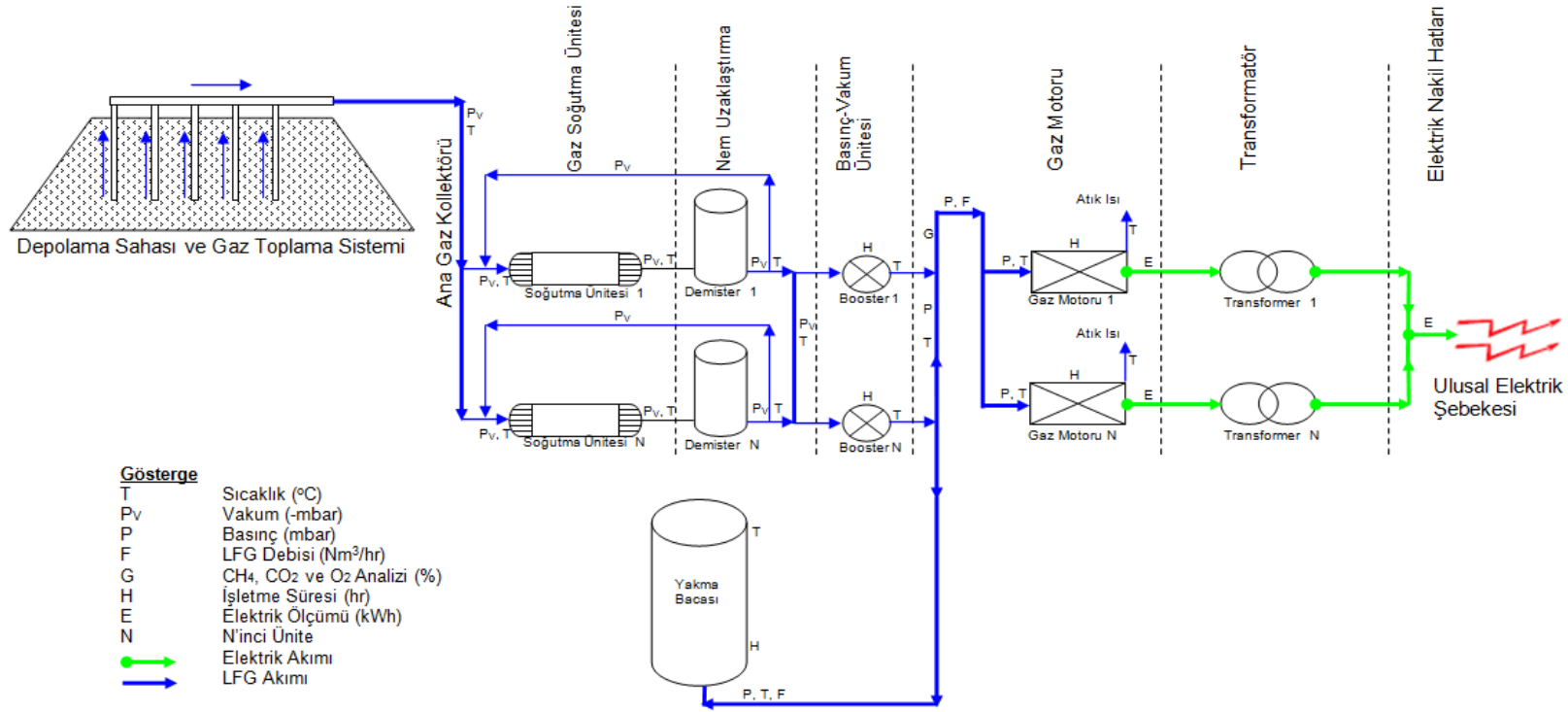


Şekil 4.38 : Kocaeli Solaklar Düzenli Depolama Tesisi'nin genel görünümü

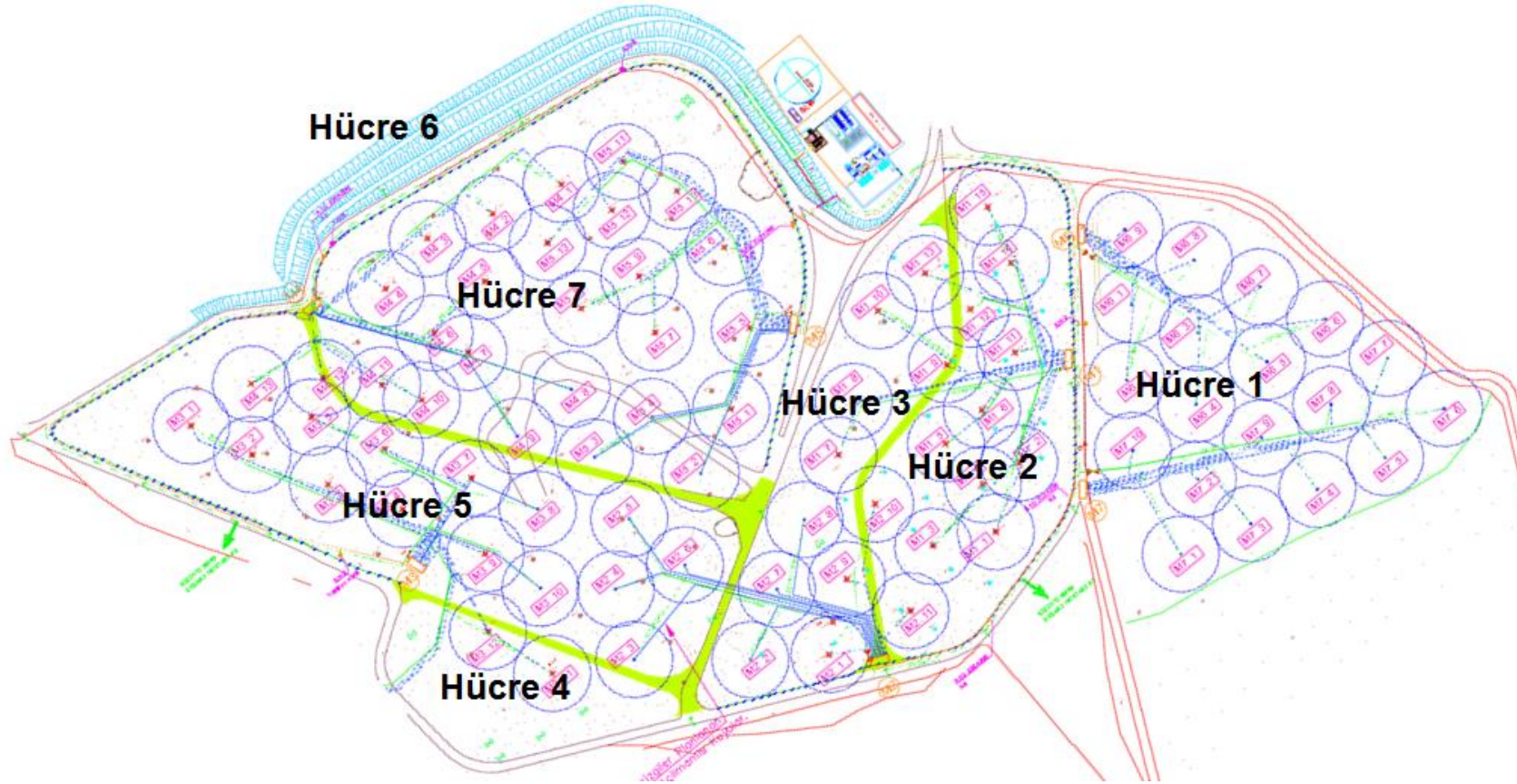
Solaklar Depo Gazından Enerji Tesisi görünümü Şekil 4.39'da, akım diyagramı Şekil 4.40'da, gaz kuyularının yerleşimi Şekil 4.41'de verilmiştir.



Şekil 4.39 : Kocaeli Depo Gazından Enerji Tesisi'nin görünümü



Şekil 4.40 : Kocaeli Solaklar Depo Gazından Enerji Tesisi akım diyagramı



Şekil 4.41 : Kocaeli Solaklar Düzenli Depolama Tesisi gaz kuyularının yerleşimi

4.2.14 Bolu Depo Gazından Enerji Tesisi

Bolu Düzenli Depolama tesisi 2007 yılında işletmeye başlamış olup, 2007-2012 yılları arasında yaklaşık 330.000 ton atık depolanmıştır (Çizelge 4.12). Depolama tesisi tabanında kil kullanılarak geçirimsizlik sağlanmaktadır. Sızıntı suları ise HDPE borularla toplanmaktadır.

Çizelge 4. 12 : Bolu Düzenli Depolama Sahası atık kütlesinin yıllara göre değişimi

Yıllar	Atık Miktarı, ton
2007	47.552
2008	63.401
2009	23.455
2010	59.544
2011	70.645
2012	68.921
Toplam	333.518

Bolu Düzenli Depolama Tesisi'nin görünümü Şekil 4.42'de ve Depo Gazından Enerji Tesisi'nin görünümü Şekil 4.43'de verilmiştir. Bolu depo gazından enerji tesisi 2010'da işletmeye başlamıştır. Sahadaki atık yüksekliği 4 ila 40 m arasında değişmekte olup, ortalama atık yüksekliği 13 m'dir. Sahada 46 adet düşey gaz toplama kuyusu bulunmaktadır.



Şekil 4.42 : Bolu Düzenli Depolama Tesisi'nin genel görünümü



Şekil 4.43 : Bolu Depo Gazından Enerji Tesisi'nin görünümü

4.2.15 Kırıkkale Depo Gazından Enerji Tesisi

Kırıkkale Depo Gazından Enerji Tesisi, şehir merkezine yaklaşık 13 km mesafededir. Düzenli Depolama tesisi 2011 yılında işletmeye başlamış olup, ~4 ha alanda 2011-2012 yılları arasında yaklaşık 86.000 ton atık depolanmıştır (Çizelge 4.13). Depolama tesisi tabanında kil kullanılarak geçirimsizlik sağlanmaktadır. Sızıntı suları ise HDPE borularla toplanmaktadır.

Çizelge 4. 13 : Kırıkkale Düzenli Depolama Sahası atık kütlelerinin yıllara göre değişimi

Yıllar	Atık Miktarı, ton
2011	28.910
2012	57.078
Toplam	85.988

Kırıkkale Düzenli Depolama Tesisi'nin uydu fotoğrafı Şekil 4.44'de verilmiştir. Kırıkkale depo gazından enerji tesisi 2013'de işletmeye başlamıştır. Sahadaki atık yüksekliği 8 ila 12 m arasında değişmekte olup, ortalama atık yüksekliği 10 m'dir. Sahada 12 adet yatay gaz toplama hattı bulunmaktadır.



Şekil 4.44 : Kırıkkale Düzenli Depolama Tesisi uydu fotoğrafı

4.2.16 Denizli Depo Gazından Enerji Tesisi

Denizli Depo Gazından Enerji Tesisi, şehir merkezine yaklaşık 2 km mesafededir. Düzenli Depolama tesisi 2003 yılında işletmeye başlamış olup, ~7 ha alanda 2003-2012 yılları arasında yaklaşık 1,8 milyon ton atık depolanmıştır (Çizelge 4.14). Depolama tesisi tabanında kil ve geomembran kullanılarak geçirimsizlik sağlanmaktadır. Sızıntı suları ise HDPE borularla toplanmaktadır.

Çizelge 4. 14 : Samsun Düzenli Depolama Sahası atık kütlelerinin yıllara göre değişimi

Yıllar	Atık Miktarı, ton
2003	42.000
2004	170.000
2005	177.500
2006	186.500
2007	190.000
2008	198.000
2009	204.000
2010	212.000
2011	220.000
2012	228.000
Toplam	1.828.000

Denizli Düzenli Depolama Tesisi'nin uydu fotoğrafı Şekil 4.45'de, görünümü Şekil 4.46'da, Depo Gazından Enerji Tesisi'nin görünümü ise Şekil 4.47'de verilmiştir. Depo gazından enerji tesisi 2010'da işletmeye başlamıştır. Sahadaki atık yüksekliği 17 ila 67 m arasında değişmekte olup, ortalama atık yüksekliği 36 m'dir. Sahada 7 adet aktif düşey gaz toplama kuyusu bulunmaktadır.



Şekil 4.45 : Denizli Düzenli Depolama Tesisi uydu fotoğrafı



Şekil 4.46 : Denizli Düzenli Depolama Tesisi'nin genel görünümü



Şekil 4.47 : Denizli Depo Gazından Enerji Tesisi'nin görünümü

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Türkiye’deki depo gazı yönetimi uygulamalarının ortaya konduğu bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Nihai örtü olarak ~ 50 cm toprak kullanılan aktif gaz depolama sistemi mevcut bir düzenli depolama sahasında 530 noktada ölçülen yüzey metan konsantrasyonları 3-317.000 ppm arasında değişmiş olup, ortalama konsantrasyon 9.168 ppm elde edilmiştir. Bu değer ABD Kaliforniya eyaletinde depolama sahaları yüzey metan konsantrasyonları için limit olan 500 ppm’in yaklaşık 20 katıdır. Metanın başlıca çıkış noktaları depolama sahası örtüsündeki kurumalar, çökmeler vb. nedenlerle oluşan çatlaklardır. Dolayısıyla depolama sahalarındaki yüzey metan konsantrasyonlarının ve sera gazı emisyonlarının azaltılması için geçirimsiz bir nihai örtü sağlanması önemlidir. Daha sık kuyuların açılması da diğer bir çözüm olarak uygulanabilir. Ayrıca nihai örtüde çökme, çatlama vb. bozulmaların düzenli kontrolü ve tamirati yapılmalıdır.

Türkiye’de İstanbul’da 3, Ankara’da 2, Adana, Bursa, Konya, Gaziantep, Kayseri, Afyon, Samsun, Kocaeli, Bolu, Kırıkkale ve Denizli’de ise birer olmak üzere toplam 16 adet depo gazından enerji tesisi bulunmaktadır. Tesislerin toplam kapasitesi 129,4 MW olup, potansiyelin yaklaşık %50’si kullanılmaktadır. Bunlardan tesis sayısına göre %31,2’si vahşi depolama (5 tesis), %68,8’i düzenli depolama (11 tesis) sahalarından elektrik üretimi yapmaktadır. Tesis kapasitelerinin ise %37,3’ü vahşi depolama (48,3 MW) sahalarında kurulu iken, %62,7’si düzenli depolama (81,1 MW) sahalarında kurulu. Depo gazından enerji tesislerinin kapasitesi 0,5 MW ile 27,8 MW arasında değişmektedir. Depo gazı depolama sahalarından hem yatay hem de düşey gaz toplama sistemleriyle toplanmaktadır. Toplanan depo gazının tamamı içten yanmalı motorlarda yakılarak elektrik üretilmektedir.

Ülkemizde halihazırda düzenli depolama sayısı 69 olup, yeni depolama sahaları büyük ölçekli bölgesel tesisler olarak planlanmıştır. Bu nedenle yeni sahalardan toplanacak depo gazlarından enerji eldesi fizibil olmaktadır. Bununla birlikte, kentsel katı atıkların büyük kısmının organik atıklardan oluşması nedeniyle sözkonusu depo

gazından enerji tesislerinin en kısa zamanda kurulması yüzey metan emisyonlarının ve sera gazı miktarının azaltılması açısından önemlidir. Bu tesisler ülkemizin dış ticaret açığının önemli kısmını oluşturan enerji açığını kapatmada az da olsa katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- ABK** (1999). Avrupa Birliği Komisyonu, Düzenli Depolama Direktifi, 99/31/EC.
- Arikan, O. A., Altınbaş, M., Sevimoglu, O., Sel, İ. and Ozturk, I.** (2011). Estimation of Landfill Biogas Generation at Sanitary Landfills in İstanbul, Eurasia Waste Management Symposium, 14-16 Kasım, İstanbul.
- ÇŞB** (2010). Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik, T.C. Resmi Gazete No: 27533, Tarih: 26.03.2010.
- Christensen, T.H. and Kjeldsen, P.** (1989). Basic Biochemical Processes in Landfills, in Sanitary Landfilling: Process, Technology and Environmental Impact, ed. T. H. Chistensen, R. Cossu, and R. Stegmann, Academic Press, New York.
- Gendebien, A., Pauwels, M., Constant, M., Willumsen, H.C., Butson, J., Fabry, R., Ferrero, G.L. and Nyns, E.J.** (1991). Landfill Gas: from Environment to Energy: State of the Art and Implementation in the European Community, 69-76.
- Ham, R.K. and Barlaz, M.A.** (1989). Measurement and Prediction of Landfill Gas Quality and Quantity, in Sanitary Landfilling: Process, Technology and Environmental Impact, ed. T. H. Chistensen, R. Cossu, and R. Stegmann, Academic Press, New York.
- International Energy Agency (IEA)** (2009). Energy Technology Transitions For Industry – Strategies for the Next Industrial Revolution.
- Mc Bean, E.A., Rovers, F.A and Farquhar, G.J.** (1995). Solid Waste Landfill Engineering and Design. Prentice Hall. New Jersey, USA.
- Öztürk, I., Scott, T. N., Demir, I., Arikan, O. A., Altinbas, M., Basturk, A. and Salman, K.** (2001). Landfill Rehabilitation and Gas To Energy Applications in İstanbul, Proceedings Sardinia 2001, Eighth International Waste Management and Landfill Symposium, 1-5 October, Cagliari, Italy, Vol. II, 655-662.
- Öztürk, İ.** (2010). Katı Atık Yönetimi ve AB Uyumlu Uygulamaları, İSTAÇ A.Ş. Teknik Kitaplar Serisi, İstanbul.
- Regulation to Reduce Methane Emissions from Municipal Solid Waste Landfills (RRME)** (2010). California Code of Regulations, Subchapter 10. Climate Change, Article 4. Regulations to Achieve Greenhouse Gas Emission Reductions, Subarticle 6. Methane Emissions from Municipal Solid Waste Landfills.

- Sel, İ., Çetindemir, M., Arikan, O. A., Demir, İ. and Özkaya, B.** (2013). Landfill Gas to Electricity Production at Sanitary Landfills in Kocaeli, International Conference on Environmental Science and Technology, ICOEST'2013, 18-21 Haziran, Nevsehir.
- Vesilind, P.A., Worrell, W.A. and Reinhart, D.R.** (2002). Solid Waste Engineering, Brooks/Cole, Pacific Grove, USA.
- Tanapat** (2004). *A Feasibility Study of Municipal Waste-To-Energy Management: Measurement of Landfill Gas Quality at Brad Road Landfill in Canada* (master tezi). Adres: <http://umanitoba.ca/>
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., Vigil, S.** (1993). Integrated Solid Waste Management Engineering Principles and Management Issues, McGraw-Hill, New York.
- U.S. Environmental Protection Agency (USEPA)** (2002). Solid Waste Management and Greenhouse Gases: A Life-Cycle Assessment of Emissions and Sinks. Retrieved June 5, 2004 from the World Wide Web: <http://epa.gov/globalwarming/>
- World Bank** (2004). Handbook for the Preparation of Landfill Gas to Energy Projects in Latin America and the Caribbean, Conestoga-Rovers & Associates.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Ayşegül AYDIN

Doğum Yeri ve Tarihi: Almanya - 1975

Adres: Cumhuriyet Caddesi Güngör Sk. No:2 D:5
Ambarlı Avcılar / ISTANBUL

E-Posta: aysegulmine@gmail.com

Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi
Çevre Mühendisliği Bölümü