

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DEPO GAZINDAN ENERJİ ÜRETİMİ VE SERA GAZI SALIMINA ETKİSİ:
ZONGULDAK İLİ ÖRNEĞİ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MEHMET FATİH KOÇ

TEMMUZ 2019

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DEPO GAZINDAN ENERJİ ÜRETİMİ VE SERA GAZI SALIMINA ETKİSİ:
ZONGULDAK İLİ ÖRNEĞİ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Fatih KOÇ

DANIŞMAN

: Dr. Öğr. Üyesi Sefa KOCABAŞ

ZONGULDAK

Temmuz 2019

KABUL:

Mehmet Fatih KOÇ tarafından hazırlanan “Depo Gazından Enerji Üretimi ve Sera Gazı Salınımına Etkisi: Zonguldak İli Örneği” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir.
16/07/2019

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Sefa KOCABAŞ

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü

Üye: Prof. Dr. Beyhan PEKEY

Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü

Üye: Doç. Dr. Kadir ÖZDEMİR

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü

ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

..../..../20....

Prof. Dr. Ahmet ÖZARSLAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”


Mehmet Fatih KOÇ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DEPO GAZINDAN ENERJİ ÜRETİMİ VE SERA GAZI SALINIMINA ETKİSİ: ZONGULDAK İLİ ÖRNEĞİ

Mehmet Fatih KOÇ

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Sefa KOCABAŞ

Temmuz 2019, 127 sayfa

Bu çalışmada, Zonguldak'ın ilk depolama alanına dökülen yaklaşık 1320000 ton katı atıktan kaynaklanabilecek metan ve elektrik enerjisi potansiyeli ve sera gazı etkisinin belirlenmesi için bir matematiksel model çalışması yapılmıştır. Çalışmada LandGEM ve Tabasaran & Rettenberger matematiksel hesaplama yöntemleri kullanılmıştır. Model sabitleri, karakterizasyon ve yıllık ortalama yağış bilgileri kullanılarak belirlenmiştir.

LandGEM modelinin CAA sabiti ile $340 \text{ m}^3 \text{ gaz/ton}$, AP-42 sabiti ile $199 \text{ m}^3 \text{ gaz/ton}$ ve saha sabiti ile $195 \text{ m}^3 \text{ gaz/ton}$ üretebildiği bulunmuştur. Tabasaran & Rettenberger model sabiti ile $245 \text{ m}^3 \text{ gaz/ton}$, saha sabiti ise $164 \text{ m}^3 \text{ gaz/ton}$ olarak bulunmuştur. Literatürde, 1 ton evsel atık başına oluşabilecek atık gaz, $120\text{-}300 \text{ m}^3 \text{ gaz/ton}$ aralığında verilmektedir. Tabasaran & Rettenberger modelleri ve LandGEM AP-42 ile saha sabiti modeli gaz potansiyeli açısından anlamlı bulunmuştur.

ÖZET (devam ediyor)

Net enerji potansiyeli, anlamlı modeller kullanılarak hesaplanmıştır. LandGEM modelinin 2015-2018 yıllarında faaliyet gösteren santralin ortalama saatlik üretim miktarları ile karşılaştırılması sonucunda modelin anlamsız olduğu bulunmuştur.

Tabasaran ve Rettenberger modeliyle yapılan hesaplamaların anlamlı olduğu tespit edildi ve tesisin 2029 yılına kadar 225298293 m³ gaz ve 197743 MW elektrik enerjisi potansiyeline sahip olduğu tespit edilmiştir.

Elektrik üretim tesisi faaliyeti sonucunda 2029 yılına kadar alanda oluşabilecek 1653782 ton CO₂ (eq) miktarında% 21,3 azalma potansiyeli olduğu hesaplanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Katı atık, Biyogaz, Enerji, sera Gazı, Metan, LandGEM.

Bilim Kodu: 615.01.00

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

ENERGY PRODUCTION FROM LANDFILL GAS AND ITS EFFECT ON GREENHOUSE GAS EMISSIONS: A CASE STUDY OF ZONGULDAK

Mehmet Fatih KOÇ

**Zonguldak Bülent Ecevit University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Environmental Engineering**

Thesis Advisor: Assist. Prof. Dr. Sefa KOCABAŞ

July 2019, 127 pages

In this study, a mathematical model study was carried out to determine the methane and electric energy potential and greenhouse gas effect that can be generated by approximately 1320000 tons of solid waste disposed in the 1st landfill area of Zonguldak. LandGEM and Tabasaran & Rettenberger mathematical calculation methods were used. Model constants were determined using characterization and annual average precipitation information.

It was found that the LandGEM model can produce 340 m³ gas/ton with CAA constant, 199 m³ gas/ton with AP-42 constant and 195 m³ gas / ton with field constants. With Tabasaran & Rettenberger model constant, it was found to be 245 m³ gas/ton and with field constants as 164 m³ gas/ton. In the literature, the landfill gas that may occur per 1 ton of domestic waste is given in the range of 120-300 m³ gas/ton and the Tabasaran & Rettenberger models and LandGEM AP-42 and field data model are significant.

ABSTRACT (continued)

Net energy potential was calculated using significant models. As a result of the comparison of the LandGEM model with the average hourly production quantities of the power plant operating in 2015-2018, the model was found to be meaningless.

The calculations made with Tabasaran & Rettenberger model were found to be significant and it was determined that the plant has 225708293 m³ gas and 197743 MW electric energy potential until 2029 during productive period.

It is calculated that there is a potential of 21.3% reduction in the amount of 1653782 tons of CO₂ (eq) that may occur in the field as a result of the electricity generation facility activity by 2029.

Keywords: Solid waste, Biogas, Energy, Green House Gas, Methane.

Science Code: 615.01.00

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezinin hazırlanması aşamasında, tezin yönlendirilmesi ve oluşumunda bilgi ve tecrübesi paylaşmaktan çekinmeyen değerli danışman hocam Dr. Öğretim Üyesi Sefa Kocabaş'a şükranlarımı sunarım.

Tezin hazırlanması süresince ihtiyaç duyduğum vakitler için bana destek veren iş yeri müdürüm Erdal Varol'a,

Gerekli materyalleri hazırlamamda kaynak sunan ZONÇEB çalışanlarına,

Enerji hesaplamalarında yardımcı olan Gökhan Arı'ya

Tez yazım aşamasında yardımını esirgemeyen biricik kız kardeşim Funda Koç'a,

Hiçbir zaman desteklerini esirgemeyen sevgili aileme,

Tüm destekleri ve yardımları için teşekkürü bir borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL:.....	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
EK AÇIKLAMALAR DİZİNİ.....	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xix
BÖLÜM 1 GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2 KATI ATIK	5
2.1 KATI ATIKLARIN SINIFLANDIRILMASI	5
2.1.1 Evsel Katı Atıklar	6
2.1.2 Endüstriyel Katı Atıklar.....	7
2.1.3 Tehlikeli Katı Atıklar.....	7
2.1.4 Tıbbi Atıklar.....	7
2.1.5 İnşaat Atıklar.....	8
2.1.6 Tarımsal ve Hayvansal Atıklar	8
2.1.7 Arıtma Tesisi Atıkları	8
2.2 KATI ATIKLARIN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ.....	8
2.2.1 Katı Atıkların Miktarı	9
2.2.2 Katı Atıkların Nem İçeriği.....	9
2.2.3 Katı Atıkların Parçacık Boyutu.....	9
2.2.4 Katı Atıkların Kompozisyonu.....	9
BÖLÜM 3 KATI ATIK BERTARAFI	13
3.1 GERİ KAZANIM.....	13
3.2 YAKMA	14

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
3.3 KOMPOSTLAŞTIRMA.....	14
3.4 DÜZENLİ DEPOLAMA.....	14
3.4.1 Düzenli Depolama Sahası Tasarımı ve İşletilmesi	16
3.4.2 Yer Seçimi	18
3.4.3 Depolama Sahası Taban Teşkili.....	18
3.4.4 Depolama Sahası Üst Örtü Teşkili.....	20
3.4.5 Atıkların Doldurulması	22
3.4.6 Sızıntı Suyunun Toplanması	23
BÖLÜM 4 BİYOGAZ	25
4.1 DEPO GAZININ BİLEŞENLERİ VE ÖZELLİKLERİ.....	26
4.2 KATI ATIK SAHALARINDA ATIKLARIN AYRIŞMASI VE OLUŞUM SÜRECİ. 28	
4.2.1 Aerobik Safha	30
4.2.2 Anaerobik Metanojenik Olmayan Faz (Geçiş)	30
4.2.3 Anaerobik Metanojenik Kararsız Faz (Asit Oluşma)	30
4.2.4 Metanojenik kararlı faz (Metan Oluşumu)	31
4.2.5 Aerobik şartlara geçiş fazı (Olgunluk).....	31
4.3 DEPO GAZININ ZAMANLA DEĞİŞİMİ	33
4.4 DEPO GAZINA ETKİ EDEN FAKTÖRLER	34
4.4.1 Nem İçeriği	34
4.4.2 Nutrient İçeriği.....	35
4.4.3 Alkalinite ve pH.....	35
4.4.4 Atık Bileşimi.....	36
4.4.5 Sıcaklık	36
4.4.6 Atık Yoğunluğu	37
4.4.7 Partikül Boyutu	37
4.4.8 Oksijen	37
4.5 DEPO GAZININ ÇEVRESEL ETKİLERİ	38
4.5.1 Yangın ve Patlama Tehlikesi	38
4.5.2 Depo Gazlarının Bitki Örtüsüne Zararları	39
4.5.3 İstenmeyen Kokular	39
4.5.4 Yeraltı Suyu Kirliliği	39
4.5.5 Hava Kirliliği	40
4.5.6 Sera Gazı Salınımı ve Küresel Isınma	40
4.5.6.1 Karbondioksit (CO ₂)	43
4.5.6.2 Metan (CH ₄).....	43
4.5.6.3 Azot Oksitler (NO _x)	44

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
5.6.1.4 Halokarbonlar, Perflorokarbonlar ve Sülfür Heksafluorür (SF ₆).....	44
4.6.1.5 Karbon Monoksit (CO).....	44
4.6.1.6 Metan dışı uçucu organik bileşikler (NMVOCs).....	44
4.6.1.7 Yapılan Çalışmalar.....	45
BÖLÜM 5 DEPO GAZINDAN ENERJİ ELDESİ.....	49
5.1 DEPO GAZININ TOPLANMASI	50
5.2 DEPO GAZI UYGULAMALARI.....	52
5.2.1 Elektrik Üretim Uygulamaları	52
5.2.1.1 Pistonlu gaz motorunda yakıt olarak kullanımı	52
5.2.1.2 Depo gazının gaz türbinlerinde yakıt olarak kullanımı.....	53
5.2.1.3 Depo gazının buhar türbinlerinde yakıt olarak kullanımı	53
5.2.1.4 Kojenerasyon	53
5.2.1.5 Yakıt hücresi	53
5.2.2 Direkt Isıtma Uygulamaları	54
5.2.3 Boru Hattı Kalitesinde Gaz Saflaştırma.....	54
5.2.3.1 Depo gazının doğalgaz şebekesinde kullanılması.....	54
5.2.3.2 Depo gazının taşıt yakıtı olarak kullanımı	54
BÖLÜM 6 MATERYAL ve METOT.....	55
6.1 PROJE BÖLGESİ TANITIMI	55
6.1.1 Coğrafi Konum	55
6.1.2 Topoğrafya.....	55
6.1.3 İklim ve Bitki Örtüsü	56
6.1.4 Nüfus.....	58
6.2 ZONGULDAK KATI ATIK DÜZENLİ DEPOLAMA TESİSİ	60
6.3 DÜZENLİ DEPOLAMA SAHASI DEPO GAZINDAN ENERJİ ÜRETİMİ.....	62
6.4 DEPO GAZI MODELLERİ	65
6.4.1 Tabasaran–Rettenberger Modeli.....	66
6.4.2 TNO modeli	67
6.4.3 LandGEM Modeli.....	67
BÖLÜM 7 MODEL DEĞERLENDİRMESİ.....	73
7.1 MEVCUT TESİS DEĞERLENDİRMESİ	73
7.2 MODEL SONUÇLARI	76

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
7.2.1 EPA Landgem Modeli Sonuçları ile Elektrik Enerji Potansiyelinin Hesaplanması	76
7.2.2 Tabasaran–Rettenberger Modeli ile Elektrik Enerji Potansiyelinin Hesaplanması.	81
7.2.3 Birinci Lot Alanı Sera Gazı Salınımına Etkisi.....	87
7.3 İKİNCİ LOT ALANI DEPO GAZI VE ELEKTRİK ENERJİSİ POTANSİYELİ.....	94
7.3.1 Gelecek Nüfus Hesabı.....	94
7.3.2 Katı Atık Miktarı Hesabı	94
7.3.3 Depo Gazı Potansiyeli Hesabı	96
7.3.4 İkinci Lot Tabasaran–Rettenberger Modeli ile Elektrik Üretim Potansiyelinin Hesaplanması	97
7.3.5 İkinci Lot Alanı Sera Gazı Salınımına Etkisi	99
BÖLÜM 8 SONUÇ VE DEĞERLENDİRME.....	105
KAYNAKLAR.....	109
EK AÇIKLAMALAR.....	115
ÖZGEÇMİŞ	127

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1 Düzenli depolama sahası [7].	16
Şekil 3.2 Evsel katı atık tesisi saha taban sızdırmazlık teşkili [11].	19
Şekil 3.3 Düzenli depolama tesisinde taban geçirimsizliği [54].	19
Şekil 3.4 a) Tek bileşenli, b) iki bileşenli, c) kompozit taban sistemleri genel yapıları	20
Şekil 3.5 Tipik saha üst örtü teşkili [17].	21
Şekil 3.6 Düzenli depolama tesisinde hendek metodu [54].	22
Şekil 3.7 Düzenli depolama tesisinde alan metodu [54].	23
Şekil 4.1 Anaerobik ayrışma basamaklarının genel gösterimi [26].	28
Şekil 4.2 Anaerobik ayrışma süreci [2].	32
Şekil 4.3 Depo gazı oluşum eğrileri [31].	33
Şekil 4.4 Depo gazı üretim hızı ile nem muhtevası arasındaki ilişki [12].	35
Şekil 4.5 pH'ın rölatif CH ₄ oluşum hızı (R) üzerine etkisi [12].	36
Şekil 4.6 Depolama alanlarında yangın [58].	38
Şekil 5.1 Depolama sahası organik atıklarından kaynaklanan emisyonlar [34].	49
Şekil 5.2 Yatay kuyularla gaz toplama sistemi [35].	50
Şekil 5.3 Dikey kuyularla gaz toplama ve geri kazanma sistemi [35].	51
Şekil 6.1 Zonguldak ili coğrafi konumu [56].	55
Şekil 6.2 Zonguldak ili toplam nüfus grafiği [60].	59
Şekil 6.3 Zonguldak katı atık düzenli depolama tesisi (anonim).	60
Şekil 6.4 Atık döküm alanı (anonim).	60
Şekil 6.5 HDPE boru ile gaz toplama sistemi (Anonim).	62
Şekil 6.6 Gaz toplama kollektörü (Anonim).	62
Şekil 6.7 Enerji tesisi genel görünümü (Anonim).	63
Şekil 6.8 Blower sisteminin genel görünümü (Anonim).	63
Şekil 6.9 Gaz arıtma sistemi genel görünümü (Anonim).	64
Şekil 6.10 Gaz motoru genel görünümü (Anonim).	64
Şekil 7.1 İşletme dönemi elektrik enerjisi üretimi (Arel Enerji).	75
Şekil 7.2 LandGEM veri giriş sayfası.	76
Şekil 7.3 LandGEM modeli toplam depo gazı üretim potansiyeli.	77
Şekil 7.4 Ap-42 ve saha verisi sabitleri ile tesisin elektrik üretimi miktarı karşılaştırması.	82
Şekil 7.5 Tabasaran & Rettenberger modeli depo gazı üretim potansiyeli.	83
Şekil 7.6 Tabasaran & Rettenberger ile tesis elektrik üretimi karşılaştırması.	86
Şekil 7.7 Toplam Salınım potansiyeli.	92
Şekil 7.8 Yıllara göre sera gazı % azalımı	93
Şekil 7.9 İkinci lot depo gazı potansiyeli.	96

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

No

Sayfa

Şekil 7.10 Yıllara göre sera gazı % azalımı 104



ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 Katı atık bileşenleri [1].	10
Çizelge 2.2 Bazı ülkelerde evsel katı atık karakterizasyonu [1].	10
Çizelge 2.3 Zonguldak ili genel belediye atığı karakterizasyonu sonuçları [10].	11
Çizelge 4.1 Tipik depo gazı bileşenleri [16].	26
Çizelge 4.2 Depo gazlarının özellikleri [1].	28
Çizelge 4.3 Düzenli depolama sahalarında gazların aylara göre % oluşum miktarı [29].	32
Çizelge 4.4 Metan oluşum evrelerinin yıllara göre dağılımı [31].	34
Çizelge 4.5 Sektörlerden Kaynaklı Sera Gazı Salınımları [65].	40
Çizelge 5.1 Düşey gaz toplama sistemi inşası için tavsiye edilen kriterler [35].	52
Çizelge 6.1 Zonguldak ili meteorolojik verileri [60].	57
Çizelge 6.2 Zonguldak ili toplam nüfus bilgisi [60].	58
Çizelge 6.3 Depolanan atık miktarı (anonim).	61
Çizelge 6.4 Gaz motoru verisi (anonim).	65
Çizelge 6.5 Atık kategorisine karşılık L_0 değerleri [40].	69
Çizelge 6.6 Bölgesel yağış miktarına karşılık k değerleri [40].	69
Çizelge 6.7 Zonguldak ili depolama sahası için k değerleri aralığı [40].	70
Çizelge 6.8 Zonguldak ili depolama sahası için L_0 değeri [40].	70
Çizelge 6.9 Model parametreleri.	71
Çizelge 7.1 2015 yılı üretimi (Arel Enerji).	73
Çizelge 7.2 2016 yılı üretimi (Arel Enerji).	74
Çizelge 7.3 2017 yılı üretimi (Arel Enerji).	74
Çizelge 7.4 2018 yılı üretimi (Arel Enerji).	75
Çizelge 7.5 LandGEM model sabitleri.	76
Çizelge 7.6 LandGEM model sonuçları karşılaştırılması.	77
Çizelge 7.7 LandGEM model özeti.	78
Çizelge 7.8 LandGEM model hesabıyla net enerji potansiyelleri.	80
Çizelge 7.9 LandGEM ile tesisin elektrik üretim karşılaştırması.	81
Çizelge 7.10 Tabasaran & Rettenberger model sonucu.	82
Çizelge 7.11 Tabasaran & Rettenberger model özeti.	83
Çizelge 7.12 Tabasaran & Rettenberger net elektrik üretim potansiyeli.	84
Çizelge 7.13 Tabasaran & Rettenberger ile tesis elektrik üretimi karşılaştırması.	85
Çizelge 7.14 Model ile elde edilen toplam elektrik üretim potansiyeli.	86
Çizelge 7.15 Eş değer CO_2 etkisi [59].	87
Çizelge 7.16 CH_4 ve CO_2 potansiyeli (m^3).	88
Çizelge 7.17 Elektrik üretim tesisi olmadığı durumda sera gazı salınımı potansiyeli hesabı.	89

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 7.18 Elektrik üretim tesisi olduğu durumda sera gazı salınımı potansiyeli hesabı.	91
Çizelge 7.19 Yıllara göre sera gazı % azalımı.	92
Çizelge 7.20 Zonguldak ili kişi başına düşen günlük katı atık miktarı.	95
Çizelge 7.21 Gelecek nüfus ve atık miktarı.	95
Çizelge 7.22 Tabasaran & Rettenberger model sonucu.	96
Çizelge 7.23 İkinci lot için Tabasaran & Rettenberger model özeti.	97
Çizelge 7.24 2.lot Tabasaran & Rettenberger net elektrik enerji potansiyeli.	98
Çizelge 7.25 2.lot model ile elde edilen toplam elektrik üretim potansiyeli.	99
Çizelge 7.26 CH ₄ ve CO ₂ potansiyeli (m ³).	100
Çizelge 7.27 İkinci lotta elektrik üretim tesisi olmadığı durumda sera gazı salınımı potansiyeli.	101
Çizelge 7.28 İkinci lotta Elektrik üretim tesisi olması durumunda salınan tCO ₂ (eşd) potansiyeli.	102
Çizelge 7.29 İkinci lot alanı için yıllara göre sera gazı % azalımı.	103
Çizelge A.1 LandGEM modeli depo gazı ve metan sonuçları 1. lot.	115
Çizelge B.1 Tasaran–Rettenberger modeli depo gazı ve metan sonuçları 1. lot.	119
Çizelge C.1 Tabasaran–Rettenberger modeli depo gazı ve metan sonuçları (2.lot)	123

EK AÇIKLAMALAR DİZİNİ

Sayfa

EK A LandGEM Modeli Depo Gazı ve Metan Sonuçları.....	115
EK B Tabasaran–Rettenberger Modeli Depo Gazı ve Metan Sonuçları.....	119
EK C Tabasaran–Rettenberger Modeli Depo Gazı ve Metan Sonuçları (2.lot).....	123





SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

MJ	: Megajoul
Nm ³	: Normal metreküp
m ³	: Metreküp
K	: Drenaj Geçirgenlik Katsayısı
ATÜ	: İç Ortam Basıncı
kJ	: Kilojoul
BTU	: İngiliz Isı Birimi
Kg	: Kilogram (10 ³ gram)
Ø	: Çap
Gg	: Gigagram (10 ³ ton)
kW	: Kilowaat
MW	: Megawaat
ha	: Alan (10 ⁴ metrekare)
mbar	: milibar
kWh	: kilowaat/saat

KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ATP	: Yüksek Enerjili Fosfat Bağı
ÇED	: Çevresel Etki Değerlendirme
EPA	: Çevre Koruma Kurumu
HDPE	: Yüksek Yoğunluklu Polietilen
KKA	: Kentsel Katı Atık
LandGEM	: Depolama Gazı Emisyon Modeli

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

LFG	: Depo Gazı
MSW	: Belediye Katı Atığı
NMOC	: Metan Dışı Organik Bileşik
OC	: Organik Karbon
PE	: Polietilen
PVC	: Polivinilklorür
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
WEEE	: Elektrikli ve Elektronik Ekipman Atığı
ZONÇEB	: Zonguldak Özel İdare ve Belediyeler Çevre Altyapı Hizmet Birliği



BÖLÜM 1

GİRİŞ

Nüfus artışı, hızlı kentleşme, yükselen ekonomi ve gelişmekte olan ülkelerde yaşam standardındaki artış, belediye katı atık üretiminin oranını, miktarını ve kalitesini büyük ölçüde artırmıştır [4].

Katı atıklar, teknik ve sağlık yönüyle koşullara uygun bir şekilde bertaraf edilmedikleri zaman hava, su ve toprak kirliliğine neden olmaktadır. Bu nedenlerden dolayı katı atıkların çevreye en az zarar verecek şekilde bertarafını sağlayacak yöntemlerin kullanılması gerekmektedir [43].

İnsan yaşamı bizim için ne kadar önemli ise yaşadığımız ortam da bir o kadar önemlidir. Depo gazı (LFG) içerisindeki metan gazının atmosfere olan sera etkisi CO₂ gazının yaklaşık olarak 21 katıdır [32].

Organik içerikli atıkların (evsel atık vs.) anaerobik ortamda çürümesiyle oluşan metan gazının (CH₄), hem patlama riski hem de atmosfere sera etkisi vardır [32].

Yenilenebilir enerji kaynaklarının bulunması ve sürekliliğinin sağlanması günümüzde ihtiyaç olmaktan çıkıp bir zorunluluk haline gelmiştir. Bunun en önemli sebeplerinden biri de fosil kökenli yakıtların yoğun bir şekilde tüketimi ile sera gazı oluşumuna neden olmasıdır. Fosil yakıtlar küresel ısınmaya kaynak teşkil ederek, küresel iklim sorunlarına ve birçok çevre kirliliğine sebep olmaktadır [22].

Yenilenebilir enerji kaynaklarının ekonomik, çevre dostu ve sürdürülebilir olması enerji üretimi için önemli bir potansiyeldir. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer alan biyokütle; petrole, doğalgaza ve kömüre olan bağımlılığımızı azaltarak alternatif bir yakıt olmasıyla karşımıza çıkmaktadır [20].

Çevreye ve insan sağlığına zarar vermesini önlemek için katı atıkların düzenli bir şekilde geri dönüştürülmesi veya değerlendirilmesi gerekir. Ülkelerin enerji ihtiyaçları arttıkça bu ihtiyaçlar doğrultusunda kentsel katı atık (KKA)'ların geri kazanımıyla elektrik enerjisine dönüştürülmesi imkânı doğmuştur [42].

Türkiye'de ekonomik faaliyetlerin gelişmesinden dolayı enerji tüketimi sürekli ve hızla artmaktadır. Türkiye'nin 2000-2015 yılları arasındaki tükettiği enerji 2000-2010 yılları arasındaki tükettiği enerjiden 5 kat fazla olması enerji tüketiminin arttığını ispatlamaktadır. Enerji ihtiyacının karşılanması ve Kyoto protokolüne üye olmamız nedeniyle ülkemizin yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmesi gerekmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan biyogazın ülkemizde oldukça elverişli bir kaynaktır.

Bir belediye katı atık (MSW) depolama sahasında, biyokimyasal dönüşüm süreci sırasında ayrışma veya biyolojik bozunma ile depo gazı üretilir. Süreç hem aerobik hem de anaerobik koşulları içeren beş sürekli aşamadan oluşmaktadır [9].

Metan (CH_4) önemli bir enerji değerine sahiptir. Kuru hacim bazında CH_4 'ün alt ısıl değeri 37.784 MJ / Nm³'tür. Depo gazı ısıl değeri, yanma işlemlerinde yakıt olarak kullanmak için yeterince yüksektir. Bu nedenle, bir enerji kaynağı olarak depo gazının geri kazanılması için çalışmalar yapılmaktadır. Ayrıca CH_4 ve CO_2 , sera gazlarındandır. Bu gazların atmosfere geçişinin engellenmesi küresel iklim değişikliğinin önüne geçilmesine fayda sağlayacaktır [23].

Katı atıkların depolandığı sahalarda mikroorganizmaların faaliyetleri sonucunda oksijensiz ortamda oluşan depo ve metan gazı emisyonlarının hacminin belirlenmesi, depo gazı toplama sistemlerinin tasarımı ve planlanması, depo gazının değerlendirilmesi ve projelendirilmesi sera gazı miktarını azaltmak ve yasal gereklilikleri yerine getirmek için önemli bir konu haline gelmiştir [37].

Depo gazı emisyonu ya arazi ölçümleri ile ya da matematiksel modelleme hesaplamaları ile belirlenebilir [37].

Üretilen depo gazı hacmi depolanan atığın miktarına, yaşına, sıcaklık, nemlilik gibi saha koşullarına ve depo gazı toplama sisteminin verimine göre değişir. Bu nedenle, farklı iklim bölgeleri ve farklı yaklaşımlar için depo gazı üretim potansiyelinin belirlenmesinde çok sayıda model geliştirme çalışma gerçekleştirilmiştir [37].

Bu çalışmada, 2008 yılından itibaren faaliyete başlayan Zonguldak İli Katı Atık Düzenli Depolama Sahası 1.Lotunda (atık alanı) 2018 yılı sonuna kadar depolanan 1320000 ton evsel katı atık miktarını ve mevcut depolama sahasında 2015 yılı son üç ayında faaliyete başlayan elektrik enerji tesisinin elektrik üretim miktarını kullanarak,

- 2029 yılına kadar oluşabilecek gaz potansiyeli ile üretilebilecek elektrik miktarlarını matematiksel model (Tabasaran-Rettenbergen ve LandGEM) yardımı ile hesaplaması
- Mevcut sahada elde edilen bu verilerle kurulumu sürmekte olan 2. Lotta enerji üretiminin erken safhada planlanması ve verimin artırılmasına yönelik önerilerin sunulabilmesi
- 1. ve 2. Lot alanlarının sera gazı salınımına olan etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır.





BÖLÜM 2

KATI ATIK

Katı atık genel olarak, bir değer karşılığında alınan varlıkların kullanıldıktan sonra geri kalan kısmının maddi değerini ve işlevini kaybederek işe yaramaz olarak düşünülerek atılan organik, plastik, cam, metal, kumaş vs. gibi türlere denilmektedir.

Ayrıca kişinin istemediği fakat ekonomik değerini yitirmeyen, ekonomiye fayda sağlaması amacıyla toplanarak bilimsel ve mühendislik esaslarına göre bertaraf edilmesi gereken maddeler, cisimlerde katı atık olarak nitelendirilmektedir.

Başka bir tabirle, yaşadığımız ortamdan uzaklaştırılması gereken, kullanma süresi dolan ve ömrünü yitirmiş her türlü katı maddelere katı atık denir [1].

Atık, ülkemiz mevzuatında ilk olarak 1983 tarihli ve 2872 sayılı Çevre Kanunu'nda "Herhangi bir faaliyet sonucunda çevreye atılan veya bırakılan zararlı maddeler" olarak tanımlanmıştır [60]

14 Mart 1991 tarihinde Resmî Gazete 'de yayınlanan "Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'nde ise katı atığın tanımı "üreticisi tarafından atılmak istenen ve toplumun huzuru ve özellikle çevrenin korunması bakımından düzenli bir şekilde bertaraf edilmesi gereken katı maddeler" şeklinde yapılmıştır [2].

2.1 KATI ATIKLARIN SINIFLANDIRILMASI

İnsanların faaliyetlerinin neticesinde oluşan çöp diye tabir edilen katı atıkların miktarı ve çeşidi, insan nüfusuyla beraber artan ihtiyaçlar ile gelişen sanayi ile gün geçtikçe artmaktadır. Bu atıklar belli aralıklarla yerleştirilen biriktirme yapıları ile geçici olarak biriktirildikten sonra taşıma araçları ile taşınarak madde ve enerji kazanmak üzere geri kazanma, kompostlama, yakma ve düzenli depolama gibi işlemlere tabi tutarak çevre ve insan sağlığına zarar vermeden ekonomik olarak değerlendirilerek bertaraf edilmesi gerekmektedir [3].

Katı atıkların çeşitli şekillerde sınıflandırılması yapılmaktadır. Katı atık oluşum noktalarına göre evsel, endüstriyel ve ticari olarak belirlenebilir. Katı atıklar kaynaklarına göre;

- Evsel katı atıklar
- Endüstriyel katı atıklar
- Tehlikeli katı atıklar
- Tıbbi katı atıklar
- İnşaat katı atıklar
- Tarımsal ve hayvansal katı atıklar
- Arıtma tesisi katı atıklar olarak sınıflandırılabilir.

2.1.1 Evsel Katı Atıklar

Evsel atıklar hanelerde oluşan mutfak atıkları ile park, bahçe ve piknik alanları gibi alanlarda oluşan, kanunen tehlikeli görülmeyip, normal belediye hizmeti toplaması ve taşınması yapıldıktan sonra katı atık bertaraf tesislerinde bertaraf edilebilen, ayırma yolu ile geri kazanılabilen, kompost yapılabilen veya yakılabilen evsel veya endüstri kökenli atıklarıdır [51].

Mutfak atıkları, çöpün içinde bulunan yiyecek artıkları ve organik içeriklerden oluşan atıklar ile açıklanmaktadır. Bu tür atıklar, işlendikten, pişirildikten ve gıda tüketiminden sonra oluşan atıklardır. Ayrıca, evsel atıklar pişmemiş ham maddeleri, israf edilen gıda maddelerini, market ve halk pazarında yenilebilir maddeleri içermektedir [4].

Bununla birlikte, evsel atıkların tanımları ülkeden ülkeye ve şehirden şehire değişmektedir. Evsel atıklar; Avrupa'da, "atılmış veya atılması istenen veya atılması gereken gıda maddelerinin ham veya pişirilmiş" olarak ifade edilmiştir. ABD Çevre Koruma Ajansı, gıda atıklarını "Yemekten geriye kalan gıdalar ve restoranlardan, marketlerden, kafeteryalardan, mutfaklardan, endüstriyel ürünlerden oluşan ticari kuruluşlardan ve endüstriyel gıdalardan elde edilen atıklar olarak ifade edilmektedir [4].

Ev, iş yerleri ve kamu kuruluşlarından gelen katı atıklar Kentsel Katı Atık (KKA) olarak tanımlanmıştır. Kentsel katı atıkların içeriği aşağıda belirtilmiştir.

- Karışık evsel katı atıklar
- Geri Kazanılabılır atıklar

- Evlerden çıkan tehlikeli atıklar
- Ticari ve kurumsal atıklar
- Evsel nitelikli endüstriyel atıklar
- Atık elektrikli ve elektronik atıklar
- Bahçe, hal ve Pazar yeri atıkları
- Cadde, kaldırım ve meydan süprüntüleri [5].

2.1.2 Endüstriyel Katı Atıklar

Her tür fabrika ile çeşitli imalathanelerde oluşan sahibi tarafında değersiz olarak görülen ve değersiz olarak ifade edilen katı madde ve çamurlar endüstriyel katı atık olarak ifade edilmektedir. Endüstriyel katı atıklar çeşitli ambalaj atıklarıyla beraber olsun gerek atıldıkları anda ve gerekse zamanla insan ve diğer canlılar için tehlikeli olabilecek özellikler taşıyan biyolojik, kimyasal, toksik, yanıcı, patlayıcı, radyoaktif katı atıklar ile mezbahalar, et kombinelemleri ve diğer yiyecek endüstrilerinde üretilen kokuşabilir nitelikteki atıkları içermektedir [6].

2.1.3 Tehlikeli Katı Atıklar

Kesici, delici, zehirli, hastalık yapabilen, tutuşabilen, parlayıcı, patlayıcı veya yakıcı özellik gösteren katı atıklar tehlikeli katı atıklar olarak sınıflandırılır. Bu özelliklerine göre katı atıklar;

- Radyoaktif atıklar
- Kimyasallar
- Biyolojik atıklar
- Tutuşabilir atıklar
- Patlayıcı atıklar olmak üzere 5 kategoride incelenebilmektedir [6].

2.1.4 Tıbbi Atıklar

Tıbbi Atık Yönetmeliği'ne göre tıbbi atık, evsel nitelikli atıklar, enfekte atık, patojen atık ve patolojik atık tanımları da şu şekilde yapılmaktadır. Ünitelerden kaynaklanan patolojik ve

patolojik olmayan enfekte, kimyasal ve farmasötik atıklar ile kesici-delici malzemeler ve sıkıştırılmış kaplar tıbbi atıklardır [52].

Sağlık kuruluşlarından oluşan atıklar, evsel katı atıkların dışında havada, suda ve toprakta kalıcı özellik gösteren ve çevre dengesini bozan atıklar olduğundan tehlikeli ve zararlı sınıfına girmekte ve bu tür atıkların üretim, taşıma, depolama ve bertarafına ilişkin özel önlemler alınması gerekmektedir [5].

2.1.5 İnşaat Atıklar

Yeni yapılan binalardan, eski binaların yıkılması, bakım ve yenileme işlemleri, yeni yol ve sokak yapımı veya eski caddelerin genişletilmesi gibi yapılan işler sonrasında oluşan atıklar olarak ifade edilmektedir [6].

2.1.6 Tarımsal ve Hayvansal Atıklar

Bitki yetiştirme ve hasat işlemi gibi çeşitli tarımsal faaliyetler ile hayvansal ürün elde edilmesi ile kesim hayvanı yetiştirilmesi yapan yerler ve çiftliklerin işletimi sonucunda oluşan atıklar tarımsal ve hayvansal atıklar olarak ifade edilmektedir [6].

2.1.7 Arıtma Tesisi Atıkları

Su, atık su ve endüstriyel atık arıtma tesislerinden ortaya çıkan katı ve yarı katı atıklardır. Bu atıkların özellikleri her bir arıtma sürecinin türüne bağlı olarak değişiklik gösterir [6].

2.2 KATI ATIKLARIN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

Katı atıkların özelliklerinin belirlenmesi; sistemlerin değerlendirilmesi, programların ve planların yönetilmesi ve özellikle uzaklaştırılmasının ve kaynak – enerji geri kazanımının sağlanması açısından önemlidir [51]. Bunun için bilinmesi gerekenler,

- Atık miktarı
- Nem içeriği
- Parçacık boyutu
- Kompozisyonu olarak sıralanmaktadır.

2.2.1 Katı Atıkların Miktarı

Katı atık miktarı sosyal yaşam biçimi, hayat standardı, ekonomik yapı, yemek yeme alışkanlıkları gibi çeşitli etkenlere bağlı olarak farklılık gösterir. Yapılan çalışmalar, yemek yeme alışkanlıklarında meydana gelen farklılaşmalar atık miktar ve kompozisyonunda değişimlere sebep olduğunu ortaya koymuştur. Genel bir ifade ile gelişmekte olan ülkelerde kişi başına düşen atık miktarı, gelişmemiş ülkelere oranla daha fazladır [6].

Her bölgede farklılık gösteren katı atık üretim miktarı, evsel katı atıkların nüfus miktarına bağlı olarak kişi başına üretimi 0.5 – 2.0 kg/kişi. gün olarak ifade edilmiştir [8].

2.2.2 Katı Atıkların Nem İçeriği

Endüstriyel katı atıklarda nem içeriği %10-35 arasında değişmektedir. Kentsel katı atıklar için bu değer %15-40 arasındadır [6].

2.2.3 Katı Atıkların Parçacık Boyutu

Katı atık kompozisyonundaki materyallerin boyutu, atıktaki bazı materyallerin geri kazanımı açısından önem taşımaktadır. Özellikle silindir şeklinde dönen kalbur ve manyetik ayırıcılar gibi atıkların mekanik ayırma metotlarında parçacık boyutları gerekli olmaktadır [12].

2.2.4 Katı Atıkların Kompozisyonu

Belediye atığının içeriğinde, bir belediyeden diğerine ve ülkeden ülkeye önemli ölçüde farklılık göstermektedir. Bu farklılık esas olarak yaşam tarzı, ekonomik durum, atık yönetimi uygulamaları ve endüstriyel yapıya bağlıdır. Belediye atıklarının miktarı ve bileşimi, bu atıkların uygun şekilde ele alınması ve yönetilmesi için kritik öneme sahiptir. Bu bilgiler, katı atığın belediyedeki enerji dönüşüm tesisinin geliştirilmesi için gerekli ve faydalıdır. Belediye atığının kalorifik değerine ve kompozisyonuna dayanarak, mühendisler ve bilim adamları, yakıt olarak faydalanmasına karar verebilirler. Bu bağlamda, atığın bileşimi ya kompostlaştırma ya da biyolojik dönüşüm yoluyla yakıt olarak biyogaz üretimi için atık malzemenin kullanımı hakkında değerli bilgiler sağlayacaktır [4].

Evsel atıkların miktar ve karakteristiği, yaşanılan bölgede sosyal-ekonomik duruma, beslenme şekline, kullanılan yakıt cinsine vb. etkenlere bağlı olarak Çizelge 2.2’de gösterildiği gibi değişim göstermektedir. Evsel atık kompozisyonunda bulunan yiyecek atıkları organik yapıda olduklarından kolayca parçalanabilir özelliğe sahiptir. Bu özellikleri ve koku oluşturmaları katı atık toplama sisteminin tasarımı ve işletimini önemli ölçüde etkiler [1].

Çizelge 2.1 Katı atık bileşenleri [1].

Bileşen	Büyük kent	Orta kent	Küçük kent	Kırsal belde
Mutfak atıkları	21,5	18,6	16,7	12,8
Kâğıt – karton	11,0	10,0	5,2	2,3
Plastik	4,3	3,5	2,2	2,1
Metal	1,7	1,5	1,0	1,7
Cam	1,7	1,0	1,0	1,7
Diğer	59,8	65,4	73,9	79,4

Katı atıkların içeriğinde organik atıkları, kâğıt – karton, plastik, metal, cam, tehlikeli, elektronik, kül gibi materyalleri içermektedir. Ülkemizde büyük, orta, küçük ölçekli kentler ile kırsal belde bazında oluşan katı atık bileşenleri % olarak Çizelge 2.2’de verilmektedir [5].

Çizelge 2.3’te Türkiye’nin de içinde bulunduğu 6 ülke için ortalama karakterizasyon değerleri % olarak verilmiştir. Organik madde miktarının gelişmiş ülkelerde %30 un altında olduğu, geri dönüşebilir maddenin %25-%75 aralığında olduğu ifade edilmektedir.

Çizelge 2.2 Bazı ülkelerde evsel katı atık karakterizasyonu [1].

Katı Atık Bileşeni	Belçika	Almanya	Fransa	Türkiye	İsveç	ABD
Kül	48	30	24	45	0	10
Kâğıt	21	19	30	10	55	42
Organik Mad.	23	21	24	36	12	23
Metal	2	5	4	1	6	8
Cam	3	10	4	1.5	15	6
Diğer	3	15	14	6.5	12	11

Belediyeler, oluşan atıklarını bertaraf etmek için en uygun teknolojileri kullanmak zorundadırlar. Belediye atık karakterizasyonunun belirlenmesi atıkların bertaraf edilme şekline önemli derecede etki etmektedir. Çalışma alanı olan Zonguldak ili ve ilçelerinde atık karakterizasyonu Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yayımlanan “Katı Atık

Karakterizasyon Kitapçığı” dikkate alınarak TÜBİTAK projesi kapsamında ölçümleri yapılmıştır [10].

Bu ölçümler Zonguldak ilinin tüm ilçeleri yaz ve kış dönemi için yapılmıştır. Çizelge 2.1’de yapılan ölçümlerin ortalaması olarak verilmiştir.

Çizelge 2.3 Zonguldak ili genel belediye atığı karakterizasyonu sonuçları [10].

Zonguldak İli Genel	Yaz Dönemi, %	Kış Dönemi, %
Mutfak Atıkları	39,94	32,15
Kâğıt	2,03	1,01
Karton	3,38	1,43
Hacimli Karton	1,82	5,69
Plastik	23,69	15,57
Cam	5,48	1,70
Metal	2,81	1,10
Hacimli Metal	-	0,01
Atık elektrik ve Elektronik Ekipman	0,23	0,11
Tehlikeli Atık	0,19	0,46
Park ve Bahçe Atıkları	0,89	4,95
Diğer Yanmayanlar	0,34	3,13
Diğer Yanabilenler	17,23	10,41
Diğer Yanabilir Hacimli Atıklar	-	2,68
Diğer Yanmayan Hacimli Atıklar	-	-
Diğer	1,97	0,98
Kül	-	18,63
TOPLAM	100,00	100,00

Karakterizasyon çalışmaları sonucunda yaz döneminde mutfak atıkları ve plastik atık miktarının artış gösterdiği görülmüştür. Kış döneminde %18 civarında külün sahaya getirilmektedir. Gaz oluşumuna etki edebilecek organik madde miktarı %35 civarındadır.



BÖLÜM 3

KATI ATIK BERTARAFI

Artan şehirleşme ve yüksek nüfus yoğunluğu nedeniyle büyükşehir alanları, katı atık üretiminde, depolama ömrünü azaltan endişe verici bir artışla karşı karşıyadır. Nüfus artışı ve yoğun kentleşme, politikacılar ve yerel idareciler için önemli bir konu olan depolama sahalarını daraltmaktadır. Katı atık yönetimi taleplerini karşılayabilen hem kamu hem de özel sektöre ait sınırlı sayıda temsilci, depolama alanlarını genişletmek veya yeni altyapıya yatırım yapma izni almak için mali kaynaklar için rekabet etmektedir [11].

1990'lardan başlayarak AB, arazi koruma konusundaki sürdürülebilirlik kısıtlamalarına daha iyi uyum sağlamak ve AB tarafından belirlenen çevre politikası hedeflerine ulaşmak için geri dönüşümün teşvik edilmesi amacıyla katı atıkların inşaatı ve işletilmesi konusunda zorlayıcı düzenlemeler getirmiştir. Birçok ülkede hükümetler, atık sahalarına gönderilen atık miktarını en aza indirecek yasalar çıkarmış olsalar da bazı atıkların geri dönüşümü yapılamamaktadır. Bu durumdan dolayı geri dönüşümü olmayan atıkların depolanması sürekli bir ihtiyaç halinde olacaktır [11].

3.1 GERİ KAZANIM

Atık içerisinde bulunan cam, plastik-pet, kâğıt-karton, metal, elektronik vb. geri kazanılabilir maddelerin % oranı yeterli miktarda ise geri dönüşümünü mutlaka yapmak gerekmektedir. Atık içerisindeki bu malzemeler diğer atıklar ile kontamine olduktan sonra toplanmaları durumunda ekonomik değerleri önemli oranda azalmaktadır. Geri kazanılabilecek maddelerin ekonomik olarak değerini kaybetmemesi için kaynağında ayrı toplaması gerekmektedir.

Geri dönüşüm; atıkların özelliklerinden faydalanarak içindeki bileşenlerin fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemlerle başka ürünlere veya enerjiye çevrilmesidir. Geri kazanımın uygulanması durumunda ürünün kullanım süresi uzatılmış olmaktadır [12].

3.2 YAKMA

Yakma işlemi katı atıkların hacmini azaltmak için uygulanan bir yöntemdir. Bu işlem için karakteristiği uygun olan atıkların toplanarak özel tesislerde yakılarak bertaraf edilmesinden meydana gelmektedir. Katı atıkların bertarafında depolama tesislerinin yer sıkıntısı yaşandığı bölgelerde yakma tesisleri yüksek oranda hacim ve ağırlık küçülttüğünden dolayı kullanılmaktadır. Ayrıca tıbbi atıklarda olduğu gibi son ürünün stabilize edilmesinin gerekli olduğu hallerde kullanılan yöntemdir. Katı atıkların yakma ile bertaraf edilebilmesi için atığın yakmaya uygun olması ve başka bir yakıtı ihtiyaç duyulmaması önemlidir. Aksi takdirde yakma ekonomik olmamaktadır. Yakma işlemi sonucu ortaya çıkan maddelerin bertarafı için nihai bir düzenli depolamaya ihtiyaç gerek duyulmaktadır [12].

Atık yakma, fazla hava ile atığın termal dönüşümüdür. Bu enerji üretilirken, çevreye katı atık ve atmosfere baca gazı salınımı yapmaktadır [7].

3.3 KOMPOSTLAŞTIRMA

Kompostlaştırma, katı haldeki heterojen organik maddelerin anaerobik şartlar altında mikrobiyal dönüşümü ve stabilizasyonu işlemidir. Kompostlaştırma işlemi sırasında önemli miktarda enerji açığa çıkar. Bu enerjinin bir kısmı (%50-60), ATP sentezi için mikroorganizmalar tarafından kullanılır. Geri kalan kısmı ise ısı enerjisi olarak açığa çıkar [7].

Katı atıkların içindeki organik maddeler çeşitli mikroorganizmalar vasıtasıyla daha basit bileşikler olan karbondioksit CO₂ ve su H₂O'ya dönüşür [12].

3.4 DÜZENLİ DEPOLAMA

Düzenli depolama kısacası, atıkların toprak altına gömülmesi olarak tanımlanabilir. Düzenli depolama, atıkların çevreye gelişi güzel bırakılmasından farklı olarak, taban geçirimsizliği sağlandıktan sonra katı atıkların çevre sağlığına uygun bir şekilde atık depolama alanına dökülerek sıkıştırılması; günlük olarak üzerinin toprakla örtülmesi, arazi dolumu tamamlanınca üzerinin kapatılması; bu alanın yeşil alan yapmak gibi yollarla kullanıma açılması yöntemidir.

Depolama sahalarının yüzey alanlarının büyüklüğü genellikle 1 hektar ile 50 hektar arasında değişmektedir. Depolama sahalarının hacimsel büyüklüğü ise 100.000 m³ ile 5.000.000 m³ arasında değişmektedir [15].

Katı atıkların çevre ve insana sağlığına olumsuz etkisi, sızıntı sularının yeraltı ve yüzey sularına karışması, atık sahasında oluşan gazların toprak örtüsüne sızması ve atmosfere salınımı, parçacıkların rüzgârlarla çevreye ve atmosfere karışması, zararlı maddelerin bitki ve gıda maddelerine geçmesi ve doğrudan temasta bulunma şeklinde özetlenebilir. Katı atıkların çevreye ve insan sağlığına zararını önlemek ve geri kullanım amacıyla gerekli ayırma ve sınıflandırma işlemlerinin yapılarak biriktirilmesi çalışmaları önem kazanmıştır. Açık alanlar, terk edilmiş maden ocakları, dere yatakları, deniz ve su ortamları ile kalabalık bölgelerden uzaktaki düşük eğimli alanlar atıkları uzaklaştırmak için çoğunlukla tercih edilen bölgeler olmakla birlikte 20. yüzyılın sonlarına doğru daha sağlıklı aralarda atık depolama uygulamalarına hız verilmiştir. Günümüzde atık serilme yüksekliği 5 m olan ve atık depolandıktan sonra üstleri günlük olarak kapatılan sahalara 'Deponi' denilmektedir. Bu atık alanları oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [14].

Atık depolama hem AB'de hem de diğer alanlarda atıkların nihai bertarafı için en yaygın çözümlerden biridir. Diğer yandan, depolama alanı, biyo-bozunabilir bileşenlerin kendiliğinden bozunmasıyla oluşan sıvı ve gaz emisyonlarının kirletici potansiyeli nedeniyle çevresel bir endişeyi de temsil etmektedir. Bu açıdan, düzenli depolama, yürürlükteki mevzuata göre sürdürülebilir kabul edilen değerlere kirletici emisyon düzeyini sınırlamak amacıyla yönetilmelidir [13].

Dünyanın çoğu bölgesinde atık yönetim sistemi içerisinde bulunan düzenli depolama tesisleri, atıkların bertarafı konusunda geçmişten günümüze çok kullanılan bir bertaraf yöntemidir. Düzenli depolama yöntemi vahşi depolamadan; kontrol, ölçüm ve izleme sistemleriyle donatılmış modern tesislere kadar gelişimini sürdürmektedir. Hali hazırda pek çok depolama sahası tasarım ve teknolojisi, uygulama esnasında çeşitli problemlerle karşı karşıya kalmaktadır. Genellikle çözüm, atığın yalıtılmasını sağlamak olmuştur. Bu durum her ne kadar ivedi bir çözüm olarak görünse de yalıtım aynı zamanda potansiyel emisyonları gizlemektedir. İzolasyonda zaman içinde herhangi bir sorun meydana geldiğinde, bu potansiyel emisyonların ortama dağılımı söz konusudur. Örnek bir düzenli depolama sahası içinde bulunan atık döküm alanı, drenaj hattı, taban teşkili ve sızıntı suyu arıtma tesisi Şekil 3.1'de gösterilmektedir [7].



Şekil 3.1 Düzenli depolama sahası [7].

3.4.1 Düzenli Depolama Sahası Tasarımı ve İşletilmesi

Düzenli depolama sahasının projelendirmesi, her projede olduğu gibi planlardan, detaylı mühendislik projelerinden, tasarım raporundan ve maliyet hesaplamalarından oluşur [2].

Hesaplamalar yapılırken;

- Tesisin günlük, aylık ve yıllık atık depolama hacmi belirlenir. Evsel katı atık depo tesislerinin asgari kapasiteleri, nüfusu 10.000 ve küçük olan yerleşim birimlerinde 10 yıllık depolama ihtiyacını karşılayacak şekilde planlanmalıdır. Kapasitenin tayininde kişi başına üretilen atık miktarı, sahanın hacmi, atık derinliği gibi konular göz önünde bulundurulur [46].
- Depo tesisine ulaşım ve depo alanı iç yollarında geçiş, her türlü hava şartlarında mümkün olmalıdır [46].
- Kontrolsüz girişlerin, evcil ve yabani hayvanların depo sahasına girmelerini önlemek amacıyla depo tesisinin etrafı 2 m. yüksekliğinde bir çit ile çevrilmelidir. Bazı durumlarda ilave olarak tel örgünün dışında 2-3 sıra, bölgenin iklimine uygun olarak ağaçlandırma yapılır [46].
- Depolama sahasında kirlenen araba tekerlerinin, yolları kirletmemesi ve çevreye zarar vermemesi için tekerlek lastikleri yıkayıcı bir sistem kurulur veya araçların hızlı gidebileceği en az 300 m. uzunluğunda bir hat yapılır [46].
- Depo tesisi girişinde, girişi kontrol altında tutmak, gelen katı atıkları muayene etmek ve tartmak amacı ile bekçi kulübesi, işletme ve bakım binaları bulunmalıdır. Ayrıca kantar binasının bulunması da tercih sebebidir [46].

Düzenli depolama sahasının planlaması, yer seçimi ve tasarımı, çevresel sorunların anlaşılmasını sağlayan ve mevcut bölgesel talepleri yıllarca karşılayan depolama sahalari için,

teknik özellikleri tam-ölçekli tesise aktaran karmaşık süreçleridir. Yeni bir düzenli depolama sahası yer seçimi politik olarak hassas bir süreçtir ve genellikle maliyetleri büyük hacimdeki atığa dağıtmak ve zorluğu azaltmak amacıyla 10–30 yıl gibi uzun süreler için planlanır ve tasarlanırlar [7].

Bir düzenli depolama sahasının tasarımı şunları içerir:

- Düzenli depolama sınıflarının ve atık kabul kriterlerinin tanımlanması,
- Düzenli depolama teknolojisi,
- Çevre düzenlemesi ve nihai kullanımı
- Düzenli depolama sahasının ve tesislerin yerleşim planı,
- Kapasiteyi bölmelere ayırma ve süreyi-safhalara ayırma,
- Toprak işleri ve arazinin dengelenmesi,
- İzinler ve ruhsat [7].

Düzenli depolama sahaslarının tasarımı ve inşası sırasında, depo gazı kontrol sistemi veya depo gazı toplama, yakma sistemi ve sızıntı suyu toplama sistemlerinin de kurulması gerekmektedir. Depo sahaslarının işletilmesi de depo gazı ve sızıntı suyu oluşumunu etkilemektedir. Bu nedenle, depo sahaslarının öncelikle çok iyi bir şekilde tasarlanması, inşası ve en uygun ve ekonomik yolla işletmeleri gerekmektedir [12].

Başarılı bir düzenli depolama, iyi bir yerleşim ve tasarıma ilave olarak ayrıca iyi işletme ve izleme sürecini gerektirir. Düzenli depolama alanlarının işletilmesi; donanım, atık depolama sıklığı ve yönetimi, sıkıştırma ve örtü tabakası serilmesi gibi birbirinden farklı birçok bileşenin uyumunu gerektirmektedir. Buna ilaveten, geçici yolların güzergâhlarının belirlenmesi ve inşası, emniyet ve güvenlik, atık girişi kontrolü ve yağmur suyu yönetimi gibi işlemlerde mutlaka belirlenmeli ve/veya uygulanmalıdır. Düzenli depolama alanına yerleştirilen atıkların verimli bir şekilde işletilmesine, atık sahasında gürültü kontrolü, koku, yangın, saçılma, toz ve vektörlerle mücadele gibi çevresel işlemler eşlik eder.

Ruhsatlarının bir parçası olarak, modern düzenli depolama sahaslarında sızıntı suyu, hava, yer altı suyu, örtü toprağı geçirimsizlik tabakası ve çökmeler gibi konularda gerekli izlemelerin gerçekleştirilmesi istenir. Depo alanlarının izlenmesi, düzenli depolamayı atık yönetim planının güvenilir bir unsuru yapmanın tek yoludur [7].

3.4.2 Yer Seçimi

Düzenli depolama sahası yer seçimi, çok sayıda faktörleri ve tarafları içerebilen oldukça karmaşık bir süreçtir [7].

Düzenli depolama tesis sınırlarının yerleşim birimlerine uzaklığı I. sınıf düzenli depolama tesisleri için en az bir kilometre, II. sınıf ve III. sınıf düzenli depolama tesisleri için ise en az iki yüz elli metre olmak zorundadır [16].

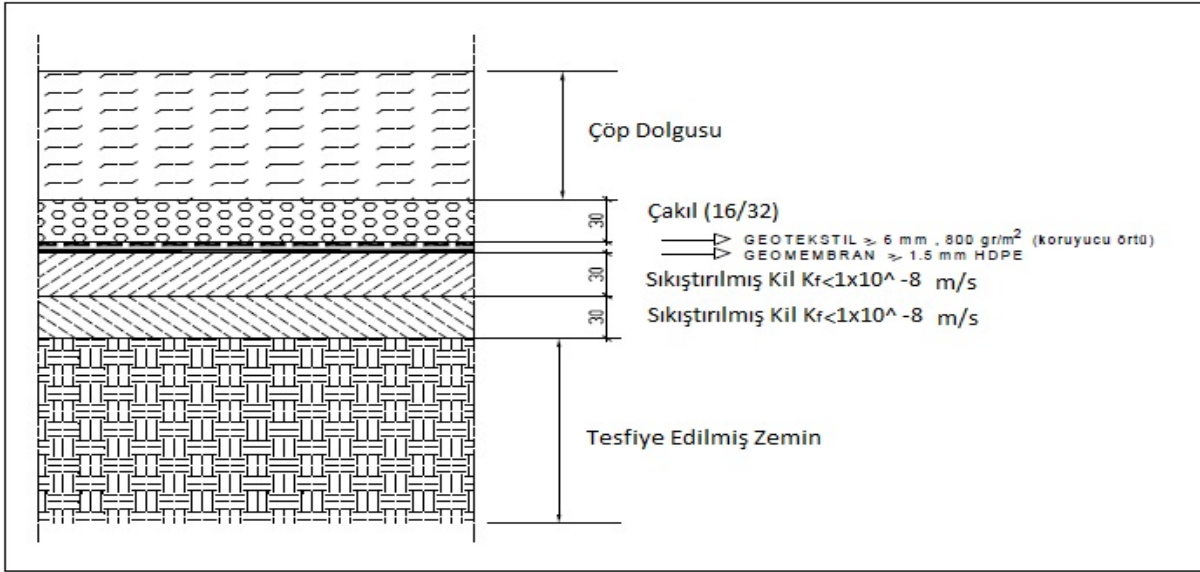
Yer seçiminde aşağıdaki hususlar göz önüne alınması gerekmektedir.

- Katı atık taşıma mesafesi,
- Tesise ulaşım imkânı,
- Yeterli alan bulunması,
- Yörenin içme suyu kaynakları ve koruma havzaları,
- Taşkın, heyelan, çığ ve erozyon riski,
- Topoğrafya, jeolojik ve hidrojeolojik özellikler,
- Meteorolojik özellikler; rüzgâr hızı ve yönü, yağış miktarı,
- İmar planları ve şehrin gelişme potansiyeli,
- Mevcut veya planlanan havaalanına olan uzaklığın en az 3 km. olması,
- Taban ve tavan geçirimsizlik malzemesi temin mesafesi,
- Üstü kapatılmış tesis arazisinin gelecekteki muhtemelen kullanım imkânları [8].

3.4.3 Depolama Sahası Taban Teşkili

Katı atık depo sahaslarında oluşan sızıntı suları çevre kirliliğine verdiği zarar açısından en önemli problem haline gelmiştir. Sızıntı suyunun içinde bulunan her türlü kirletici, yer altı ve yerüstü su kaynaklarına sızarak kirlenmesine neden olmaktadır. Sızıntı suyunun çevreye olan olumsuz etkisini önlemek için depo sahaslarının taban teşkili geçirimsiz olarak hazırlanması gerekmektedir [46].

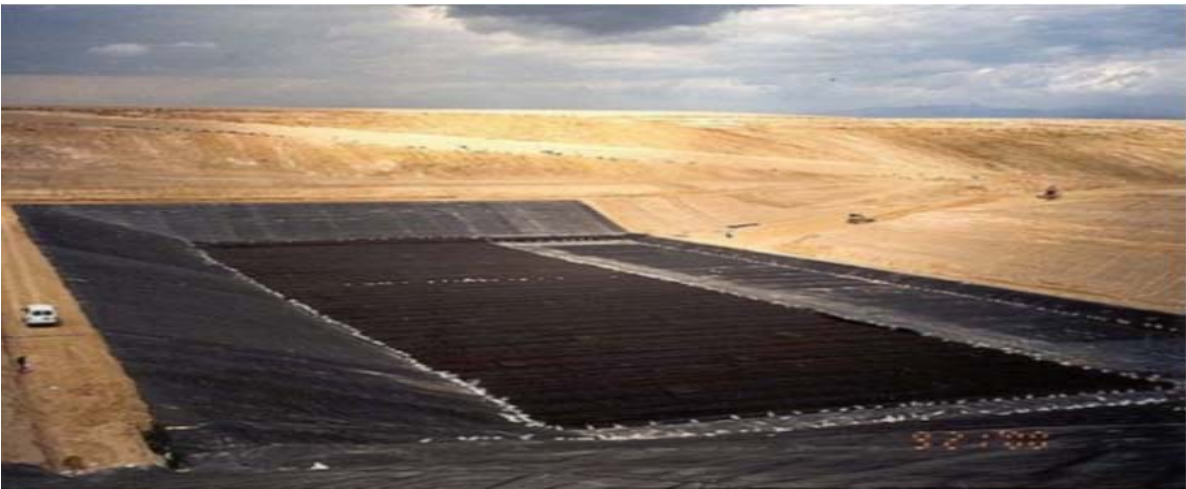
Düzenli depolama tesisinin de depolanacak atıktan oluşacak sızıntı suyunun çevre ile temas etmemesi için tüm alanın geçirimsizlik tabakası ile kaplanması gerekmektedir. Bunun için kil veya eşdeğeri malzemeden oluşturulmuş geçirimsizlik tabakası serilir [16]. Evsel katı atık tesisleri için tipik taban teşkili örneği Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Evsel katı atık tesisi saha taban sızdırmazlık teşkili [11].

Atık sahalarının taban teşkilatı için uygulanacak tabakanın fiziksel, kimyasal, mekanik ve hidrolik özellikleri depolama tesisinin toprak ve yeraltı suları için oluşturacağı potansiyel riskleri önleyecek nitelikte olmak zorundadır. Atık sahasına uygulanacak malzemenin teknik özellikleri Türk Standartları Enstitüsü standartlarına uygun olmalıdır [16].

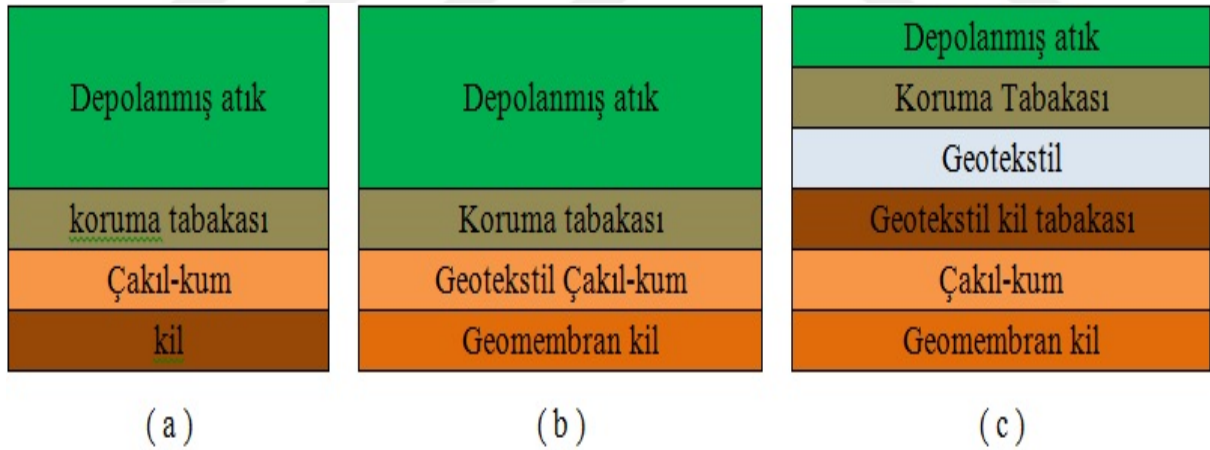
Atık sahasının hazırlanacağı alanın belirlenmesinde zeminin sağlam, toprak yapısının kil oranı yüksek, zemin emniyet gerilmesi yüksek olması tercih sebebi olmalı ve seçilmelidir. Ancak depo sahası geçirimsiz bir yapıya sahip olsa dahi, tabanı ilave işlemlerle geçirimsiz hale getirilerek, zemin her yerinde geçirimsizlik (1×10^{-8} m/sn.) katsayısının aynı olması sağlanır. İlave işleme örnek olarak membran teşkilatı Şekil 3.3'te gösterilmiştir [46].



Şekil 3.3 Düzenli depolama tesisinde taban geçirimsizliği [54].

Taban teşkilatı tek bileşenli, kompozit ve iki bileşenli sistemlerden oluşabilmektedir.

- **Tek bileşenli sistem**, kil tabaka, geosentetik kil tabaka veya geomembrandan meydana gelmektedir. Tek bileşenli sistem alt zeminin geçirimsiz kaya veya toprak olduğu, yer altı suyunun çok derinde bulunduğu veya sızıntının etkilerinin minimize edildiği (kirli olmayan sıvı gibi) durumlarda kullanılabilir. Şekil 3.4 a’da gösterilmiştir [7].
- **Kompozit tabaka**, genel anlamda kil tabakanın veya geosentetik kil tabakanın üzerine serilen geomembrandan oluşmaktadır. Kompozit taban sistemi tek bileşenli taban sistemine kıyasla alt zemine sızıntı suyu geçişini engellemede çok daha yüksek performans gösterir. Sızmanın büyük problem olduğu kentsel depolama sahaları için kompozit taban sistemleri daha uygundur. Şekil 3.4 b’de gösterilmiştir [7].
- **İki bileşenli sistem**, iki tek bileşenli, iki kompozit veya bir tek bileşenli bir de kompozit sistemin birleşiminden oluşmaktadır. İlk tabaka sızıntı suyu toplama görevi üstlenirken, ikinci tabaka birincil tabakadan gelen sızıntıyı toplama işlevini görmektedir. İkili sistemler tüm tehlikeli atık depolama sahaları ve bazı kentsel atık depolama sahalarında kullanılmaktadır. Şekil 3.4 c’de gösterilmiştir [7].



Şekil 3.4 a) Tek bileşenli, b) iki bileşenli, c) kompozit taban sistemleri genel yapıları.

3.4.4 Depolama Sahası Üst Örtü Teşkili

Düzenli depolama sahalarının atık alım ömrü tamamen bittikten sonra nihai kapatma işlemi yapılmadan önce depolama alanın üstü toprak tabakası ile tesviye edilir. Depolama sahasının nihai olarak kapatılmasına başlamadan önce sahada oluşabilecek atık kayması ve çökmesine karşın sahasının stabilizesine bakılır [16].

Depolama sahalarında işletme planı içerisinde yer alan en yüksek seviyeye ulaştığında atığın üzerine yaklaşık 0,3 m. toprak örtüsü serilmelidir. Bu örtünün üst eğimleri %5 ile %15 arasında olacak şekilde uygulanmalıdır. Bu işlemlerden sonra, 0,6 m. kalınlığında bir kil tabakası serilir. Kil tabakasının geçirgenliği 1×10^{-8} ya da daha az olmalıdır. Kilin üstüne yeşil alanların oluşturulmasına olanak sağlayacak kalitede ve yeterli kalınlıkta (1,5-2 m) bitkisel toprakla örtülmelidir [12].

3 farklı atık depolama tesisi sınıflarına göre, işletmenin kurulduğu alanın yağış özelliklerinden dolayı işletme ömrünün tamamlayan nihai örtüsü yapıldıktan sonra ki süreçte sızıntı suyunun oluşumunun önüne geçilmesi ve saha içerisinde oluşacak gazların toplanması için saha üst örtüsü en az aşağıda sıralanan şartları oluşturacak şekilde teşkil edilir:



Şekil 3.5 Tipik saha üst örtü teşkili [17].

- Sadece gaz oluşumu beklenen II. sınıf düzenli depolama tesislerinde; depo gazlarının oluşturacağı potansiyel risklerin engellenmesi amacıyla gaz drenaj katmanını inşa edilir.
- Mineral geçirimsizlik tabakası en az 25 cm. kalınlığında iki tabaka halinde (toplamda 50 cm.) uygulanır. Drenaj tabakasının en az 50 cm. kalınlığında olması ve en az $K \geq 1.0 \times 10^{-4}$ m/sn. geçirgenliğe sahip olması gerekir.

- Üst örtü toprağı daha sonradan bitkilerin yetiştirilmesini sağlayabilecek şekilde yetiştirilecek bitki türüne bağılı olarak en az 50 cm kalınlığında olması gerekir. Örnek üst örtü teşkili Şekil 3.5'te gösterilmiştir [17].

3.4.5 Atıkların Doldurulması

Geçirimsiz saha alt taban teşkili yapıldıktan sonra atık depolama çalışmalarının belirli kurallar içerisinde uygulanması için her seviyede ki atıklar alan hacmi belirlenmiş atık hücreesine depolanır [1].

Kuru arazilerde atık, hendek metodu, alan metodu, vadi dolgusu metodu olmak üzere çeşitli şekillerde depolanmaktadır [16].

- **Hendek metodu**, Şekil 3.6'da gösterildiğı gibi yeterli miktarda örtü toprağı mevcut olan bölgelerde uygulanır. Katı atıklar 40-100 m. uzunlukta 1-2 m. derinlikte ve 5-8 m. genişlikte hazırlanan hendeklere kalın olmayan ince tabakalar halinde serilerek sıkıştırma işlemi yapılır. Bu işlem, zemini sızdırmayan, killi alanlarda ve küçük nüfuslu yerleşim bölgelerinde uygulanır [16].

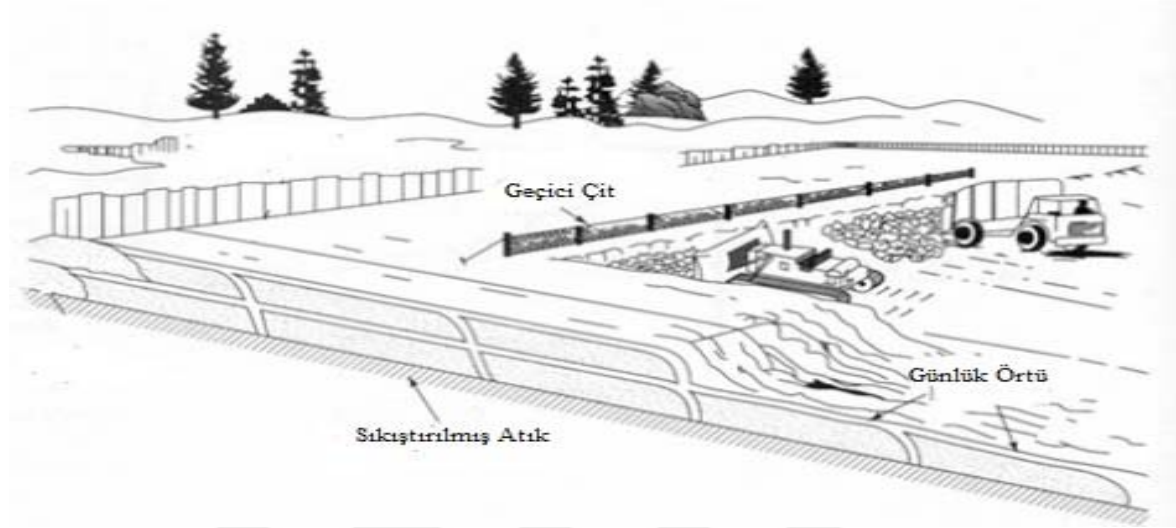


Şekil 3.6 Düzenli depolama tesisinde hendek metodu [54].

- **Vadi dolgusu metodunda**, Su seviyesinin az veya yüksek olduğu atık depolama yapılacak yerlerde rampa metodu uygulanır. Burada hücreler daha kalın ve uzun olarak; alan metodundaki uzunluktan daha kısadır [16].

Bu metot ile çalışılması durumunda bütün alan yağış ve akış sularına karşı sahasının çevresi açılacak olan hendeklerle çevrelenmeli ki yağış sularının atıklar ile teması engellenmeli ve gerekli durumlarda su pompası yardımı ile sular çalışma alanı dışına pompalanmalıdır [16].

- **Alan metodu**, daha çok Şekil 3.7’de gösterildiği gibi doğal çukurlarda uygulanır. Örtü için kullanılacak malzeme çoğunlukla başka yerlerden temin edilmesi gerekmektedir. Çok miktarda sızıntı suyu oluşumundan dolayı ve işletme esnasında kontrolün çok zor olması nedeniyle yaygın olarak kullanılmamaktadır [12].



Şekil 3.7 Düzenli depolama tesisinde alan metodu [54].

3.4.6 Sızıntı Suyunun Toplanması

Atık sızıntı suyu, saha içerisinde doğal olarak bulunan nem ile atık içerisinde biyolojik parçalanmada etki ederek infiltrasyon olan suyun çözünmüş veya süspansne olmuş bileşimi tanımlamaktadır [18].

Depolama sahası sızıntı suyunun kimyasal ve mikrobiyolojik bileşimi karmaşık ve değişkenlik göstermektedir. Çünkü sadece atıkların özelliğine bağlı olmamakla beraber, çevre koşullarından, depolama sahasının işletilmesinden ve depolama alanın içinde gerçekleşen çözünme sürecinden etkilenmektedir [18].

Atık sızıntı suyu genellikle yüksek organik ve inorganik madde içeren etkili bir kokuya sahip koyu renkli bir sıvıdır. Sızıntı suyunun içeriğine bakacak olursak [18];

- Makro organik bileşikler (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Fe^{+2} , Mn^{+2})
- Ağır metaller (Cd^{2+} , Cr^{3+} , Cu^{2+} , Pb^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+})
- Evsel atıklardan kaynaklı organik bileşikler içermektedir (aromatik hidrokarbonlar, fenoller, pestisitler vs.) [18].

Atık depolama sahalarında oluşan sızıntı suyu çevreye verdiği zarar açısından önemli bir parametredir. Yağmur suyunun saha içerisine girerek atık ile temasından sonra ve depolanan atıktan kaynaklı sızıntı suyu oluşmaktadır. Depo sahası işletmede iken hektar başına günde yaklaşık 2–5 m³ sızıntı suyu oluşur. Sızıntı suyu miktarına, atığın bileşimine, miktarına, türüne ve yağışlara göre farklılık göstermektedir [46].

Depolama sahasına özel verilerle, bir katı atık düzenli depolama tesisi için sızıntı suyu hesabı,

$$SS = C \pm S - E = P.(1-R) - S - E \quad (3.1)$$

Burada;

C: Atık deposu gövdesine sızan yağış suyu (= P.(1-R)), mm/yıl

P: Yağış yüksekliği, mm/yıl

R: Yüzeysel akış katsayısı, mm/yıl

S: Atık yığını (hücre) bünyesinde tutulan su, mm/yıl

E: Depo yüzeyinden buharlaşma ve terleme, mm/yıl

SS: Oluşması beklenen sızıntı suyu, mm/yıl, ifadesi ile hesaplanmaktadır [19].

Katı atık deposunda oluşan bu sızıntı suları; depo sahası tabanında teşkil edilen, geçirimsiz tabaka üzerine döşenen bir dren sistemi ile depo tabanından uzaklaştırılır. Sızıntı sularının sahadan toplanmasında kullanılan basınca dayanıklı yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) borularının asgari çapı 100 mm. ve asgari eğimi %1 olmalıdır. Bu yapıların et kalınlığı 10-16 ATÜ iç basınca dayanacak şekilde olmalıdır [46].

Ayrıca sızıntı suyunu toplayan yapıların çevresinde atıkların yapı içerisine girmesini engelleyecek kum-çakıl filtre tabakası yerleştirilmelidir. Bu filtrenin yüksekliği boru sırtından itibaren asgari 30 cm olmalıdır. Drenaj sisteminde kullanılan çakıl veya mıcırın çapı 16/32 veya 8/16 ve kireç oranı da %30'dan az olmalıdır [46].

BÖLÜM 4

BİYOĞAZ

Özellikle sanayi devriminden sonra hızla gelişen sanayi ve teknoloji ile insanoğlunun sürekli yenilik arayışı enerji sektörünü de etkilemektedir. Dünyada enerji gereksinimi, üretim giderlerinin etkin kullanımıyla ve çevre bilinci oluşturularak karşılanmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının ekonomik, çevre dostu ve sürdürülebilir olması enerji üretimi için önemli bir potansiyeldir [20].

Enerji üretiminin birincil kaynağı olan petrol giderek artmaktadır. Bununla beraber fosil kaynakların kullanımı sonucu oluşan hava kirliliği ve devamında oluşan iklim değişikliği gibi artan çevresel sorunlardan dolayı, tüm dünyada atmosfere daha az karbondioksit salan, fosil kaynaklara alternatif, çevreyi daha az kirleten, yenilenebilir enerji kaynakları aranmaktadır [21].

Doğal olarak oluşmuş bataklıklarda milyonlarca yıldır mikroorganizmalar, oksijensiz veya sınırlı oksijenli ortamda kendi metabolik faaliyetleri için organik ve inorganik maddeler kullanarak metan, karbondioksit ve eser miktarda hidrojen, azot ve hidrojen sülfür içeren bir gaz karışımı oluştururlar. Bu gaz, bataklık gazı, gübre gazı veya biyogaz gibi isimlerle anılmaktadır. Bu süreç, insanoğlunun çok sonra dikkatini çekmiş ve biyogaz üretim teknolojileri gelişmiştir. Biyogaz oluşumunda yaş biyokütle, mikrobiyolojik bakteri faaliyetleri ile parçalanır, oksijensiz ortamda biyokimyasal fermantasyon gerçekleşir [21].

Biyogaz, fosil yakıtların yerini alabilen yenilenebilir enerji olarak da kabul edilmektedir. Aslında, depolama gazı (biyogaz) karbondioksit ve metandan oluşan bir karışımdır [13].

Atık sahalarında oluşan biyogazı yakmadan önce korozif etkisinin ortadan kaldırılması sonrasında motorda yakılması uygun olmayan hidrojen sülfür H₂S, karbon monoksit CO, karbondioksit CO₂ gibi gazlardan arındırılması gerekmektedir. Arıtımı yapılan biyogaz gaz motoru ve jeneratör yardımıyla ısı ve elektrik enerjisine dönüştürülebilir [21].

Atık sahalarında oksijensiz ortamda maddelerin bozunması ile ortaya çıkan biyogazın içeriğinde olan metan gazının yakılması ile oluşan CO₂ emisyonu, geleneksel fosil yakıtlara göre çok daha az miktarda çevreye daha az göstermektedir. Dolayısıyla çevreye dost bir yakıttır. Ayrıca biyokütlenin çürümeye terk edilmesi sırasında oluşacak metan gazının, CO₂'ye göre kat kat fazla olan sera gazı etkisi de ortadan kaldırılmış olur [21].

4.1 DEPO GAZININ BİLEŞENLERİ VE ÖZELLİKLERİ

Depolama gazı ağırlıklı olarak metan ve karbondioksit içerir. Bileşimi kabaca %50 metan ve %50 karbondioksittir. Atık içerisinde fazla yağ ve proteinin olması durumunda kompozisyonun %55 metan ve %45 karbondioksit olması muhtemeldir [23]. Metan (CH₄) önemli bir enerji değerine sahiptir. Kuru hacminde CH₄'ün ısıl değeri 37.784 MJ/Nm³'tür [23].

Katı atık sahalarında oluşan biyogazın bileşenleri hacimsel olarak Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Tipik depo gazı bileşenleri [16].

Bileşen	Kimyasal Formül	Hacim %
Metan	CH ₄	40-70
Karbondioksit	CO ₂	30-60
Azot	N ₂	3-5
Oksijen	O ₂	0-3
Hidrojen	H ₂	0-5
Hidrojen sülfür	H ₂ S	0-2
Karbon monoksit	CO	0-3
İz bileşenler		0-1

Biyogazın içeriğinde hemen hemen eşit miktarda bulunan metan ve karbondioksit ile çok sayıda eser miktarda uçucu organik bileşikler bulunmaktadır. Katı atık depo sahalarında kaynaklanan metan ve karbondioksit küresel ısınmaya neden olan en önemli gazlardır. Metan (CH₄) gazı karbondioksite (CO₂) göre güneş ışığını 21 kat daha fazla absorbe etme kabiliyetine sahiptir [10]. İngiltere'deki veri tabanlarına göre depolama sahaları, İngiltere'deki metan emisyonlarının yaklaşık üçte birini oluşturmaktadır [35]. Ayrıca, kapalı ortamda metan (CH₄) hava ile %5/15 oranlarında karışığında patlayıcılık özelliğine sahiptir. Depo gazlarının diğer bileşenleri ise insan ve çevre sağlığı üzerinde hava kirliliği ve istenmeyen kokular gibi çeşitli etkilere sebep olurlar. Bu nedenle depo gazları doğru olarak yönetilmezse çevresel bir problem olarak değerlendirilmektedir [1].

Depolama gazından atmosfere metan emisyonunun etkili yönetimi ve azaltılması, Avrupa Komisyonu'nun (EC) depo gazı kontrolüne dair rehberliğinin önemli bir parçasıdır. Bununla birlikte, tek tek depolama sahalarından atmosfere ne kadar metan salındığını belirlemek için şu anda düşük maliyetli bir yöntem bulunmamaktadır [24].

Metan (CH₄), renksiz ve kokusuz bir hidrokarbondur. Metan gazı depo gazının hacimce ortalama %55'ini oluşturur. Yoğunluğu, depo sahasındaki sıcaklık aralıklarında 0.6-0.7 kg/m³ arasında değişir.

Metan içeriğinin fazla olmasından dolayı depolama sahası gazının en önemli özelliği enerji değerinin yüksek olmasıdır. Ortalama alt kalorilik değer m³ başına 20.000 kJ civarında gerçekleşmektedir. Bununla birlikte depolama sahası gazının yoğunluğunun havaya oranı 1,04'tür. Depolama sahası gazının olumsuz özelliği potansiyel patlayıcılığı, boğuculuk ve zehirlilik özelliği ve kötü kokusudur [1].

Öte yandan, depo sahalarından oluşan CH₄'in bir enerji kaynağı olarak kullanılması düşüncesi, son yıllarda ortaya çıkmıştır. Depolama gazı ısı değeri, yanma işlemlerinde yakıt olarak kullanmak için yeterince yüksektir [33]. CH₄ konsantrasyonu hacimce %35 olduğunda gazın bu amaçla kullanılması ekonomiktir. Doğal gazın ısı değeri 30,8 MJ/ m³ (29,2 Btu/ m³) olduğu göz önüne alındığında, %50 CH₄ ihtiva eden depo gazının, ısı değeri 15,1 MJ/ m³ (14,3 Btu/ m³) olan orta dereceli bir enerji kaynağı olduğu görülmektedir [1]. Bir başka kaynaktan metanın depo sahalarındaki kalorifik değeri 16 MJ/m³ olduğu belirtilmiştir [53].

Depolama sahası gazındaki diğer önemli bir gaz da renksiz, kokusuz ve yanıcı olmayan karbondioksittir. CO₂, havadan daha ağırdır. “Zehirli-olmayan” özelliğine karşın karbondioksit solunum sisteminde oksijenin yerini alarak canlılığın boğulmasına sebebiyet vermektedir.

Hidrojen (H₂), organik maddenin biyolojik ayrışmasının ilk aşamalarında oluşmaktadır. Hidrojen en hafif gazdır ve atmosfere doğru yükselme eğilimindedir. Yüksek miktarda yanıcıdır ve havada hacimce %4-7 oranında patlayıcılık aralığına sahiptir. Azot ve oksijen, depolama sahası gazında ancak atmosferik havanın girişiyle bulunmaktadır. Azot inert bir madde olup metanın yanıcılığı üzerindeki etkisinden dolayı önem taşımaktadır. Hidrojen sülfür (H₂S), yüksek miktarda zehirli ve yanıcıdır ve keskin bir kokuya sahiptir, Karbon monoksit (CO), yüksek zehirliliğe sahip bir gazdır. Renksiz, kokusuz ve yanıcı özellik göstermektedir. Karbon monoksit depolama sahasında yaklaşık hacimce %0,001 oranında

bulunmaktadır. Çizelge 4.2’de Depo gazının bileşimini oluşturan gazların molekül ağırlığı, yoğunluğu ve özgül ağırlığı değerleri verilmiştir [1].

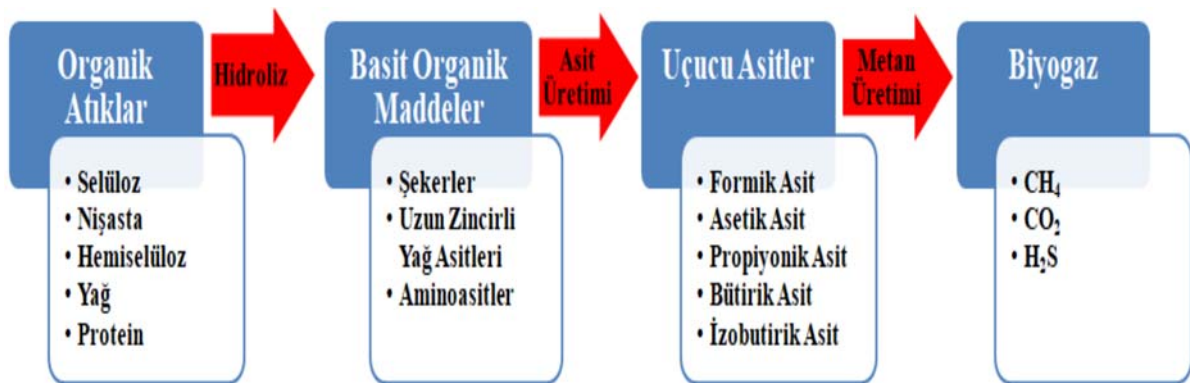
Çizelge 4.2 Depo gazlarının özellikleri [1].

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

4.2 KATI ATIK SAHALARINDA ATIKLARIN AYRIŞMASI VE OLUŞUM SÜRECİ

Biyogaz üretimi, değişik görevlere sahip olan mikroorganizmaların bulunduğu karmaşık bir biyokimyasal işlemdir. Bu işlemde önemli bir rol oynayan bakteriler asit ve metan bakterileri olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Asit bakterileri asit üretirken, metan bakterileri ise üretilen asitleri kullanırlar. Asit bakterileri bütirik ve propiyonik asit üretenler ile asetik asit üretenler, metan bakterileri ise asetik asit kullananlar ile hidrojen kullananlar şeklinde kendi aralarında alt gruplara ayrılmaktadırlar [26].

Organik maddelerin anaerobik koşullar altında biyolojik dönüşümü, enerji üretimi amacıyla yakılabilen miktarlarda biyogazın (esas olarak hacimce %60 CH₄ ve %40 CO₂) üretilmesine neden olur [25].



Şekil 4.1 Anaerobik ayrışma basamaklarının genel gösterimi [26].

Farklı bir araştırmaya göre, organik hammaddenin yaklaşık %80'i organizmalar tarafından ayrıştırılırken, geri kalan %20'lik kısım toprak gübresi olarak kalmaktadır [25].

Organik maddelerin oksijensiz ortamda parçalanması ile oluşan biyogaz karışık ve çeşitli mikrobiyolojik flora tarafından sağlanmaktadır. Oksijensiz fermantasyon sonucu oluşan biyogaz üç farklı aşamada gerçekleşir [27].

- **Fermantasyon ve Hidroliz**, karmaşık organik maddeler hidrolitik ve fermantatif bakteriler tarafından parçalanarak, basit şeker, aminoasit, asetik asit, uçucu organik bileşenler ve karbondioksit oluşturmaktadır. Karbonhidratların parçalanması 1–2 saat sonunda gerçekleşmektedir. Protein ve lipitlerin ayrışması ise 1–2 gün sürmektedir [28].
- **Asetik asit oluşumu**, bu aşamada parçalanma ve ayrışma aşaması sonucunda çıkan ve uçucu yağ asitlerini bir takım bakteri grupları asetik aside dönüştürür. Ayrıca organik asit ve alkol üretmek için hidrojen ve karbondioksit gazı parçalanmaktadır. Oluşan ürünler metan oluşturan bakteriler tarafından besin olarak kullanılır [28].
- **Metan gazı oluşumu**, oksijensiz parçalanmanın son aşamasıdır. Bu aşamada metanojen olarak bilinen bakteriler, asetik asit oluşumu aşamasında oluşan ürünleri metan, karbondioksit ve su gibi ürünlere dönüştürür. pH seviyesi sindirim oranını en yüksek seviyeye çıkarmak için 5,5 ile 8,5 arasında ve 31–61⁰C arasında olmalıdır [28].
Bu aşamanın sonucunda biyogaz oluşumu tamamlanır.

Bu aşamalar ve oluşan ürünler Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Ayrışma denklemleri ise;

Asit oluşumu



Metan oluşumu



Fermantasyon sırasında oluşabilecek en yüksek biyogaz miktarı yaklaşık olarak sadeleştirilmiş moleküler formülden belirlenebilir;



Denklem 4.4'te karbondioksit ve metan molar oranları %54 ve %46'dır [28].

Anaerobik sindirim süreci sonucunda atık stabilizasyonu, atıklardan patojenlerin yok olması ve kompost ile sonuçlanabilmektedir [25].

4.2.1 Aerobik Safha

Bu safha katı atık depo sahasına atıkların depolanarak saha içerisinde su içeriğinin artmasıyla başlar. Elde edilen bu yeni ortamla birlikte aktif mikrobiyal bir topluluk ortaya çıkar ve biyokimyasal ayrışmanın gerçekleşebilmesi için ilk birkaç gün ile birkaç hafta arasında çevresel şartlarda bazı değişiklikler meydana gelir. Bu safhanın karakteristik özelliği atık depolandığı sırada atmosferden gelen O₂'nin varlığıdır. Oksijen ihtiyacı çok yüksek olduğundan, kısa süre sonra gaz fazındaki O₂ tamamen tükenir. Bu fazda, tüketilen O₂ ile orantılı miktarda CO₂ üretilir. Öte yandan N₂ konsantrasyonunda çok az bir azalma görülür. Bu fazda çok fazla ısı üretilir ve depo gövdesinin sıcaklığı 60-70 °C'ye kadar çıkabilir [6].

4.2.2 Anaerobik Metanojenik Olmayan Faz (Geçiş)

Bu safhada depo gövdesindeki O₂'in tükenmeye başlamasıyla birlikte aerobik ortamdan anaerobik ortama geçişin başladığı görülür. Organik asitlerin oluşmaya başlamasıyla daha belirgin miktarlarda CO₂ üretilmeye başlar ve anaerobik ayrışma safhası başlamış olur. Başlar. CO₂'in ulaşabileceği maksimum değer hacimce %70-90 arasında değişir. Depolama sahası anaerobik olduğundan biyolojik dönüşüm reaksiyonlarında elektron alıcısı olan nitrat ve sülfat, azot gazına ve hidrojen sülfüre indirgenir. Anaerobik şartların başlangıcı atıkların oksidasyon-redüksiyon potansiyeli ölçülerek izlenebilir. Oluşan sızıntı suyunun pH'ı organik asitlerin mevcudiyeti ve karbondioksitin artmasının etkisi ile düşer [2].

4.2.3 Anaerobik Metanojenik Kararsız Faz (Asit Oluşma)

İkinci faz esnasında başlayan mikroorganizma aktivitesi bu fazda hızlanmaktadır. Bu fazda hidrolize olmuş organik bileşikler H₂, CO₂ ve yağ asitlerine dönüşürler. Bu fazı yürüten bakteriler asit oluşturan bakteriler veya asetojenler olarak adlandırılmaktadır. Bu faz sırasında sızıntı suyu olduğu takdirde ortamda organik asit ve CO₂ bulunması nedeniyle sızıntı

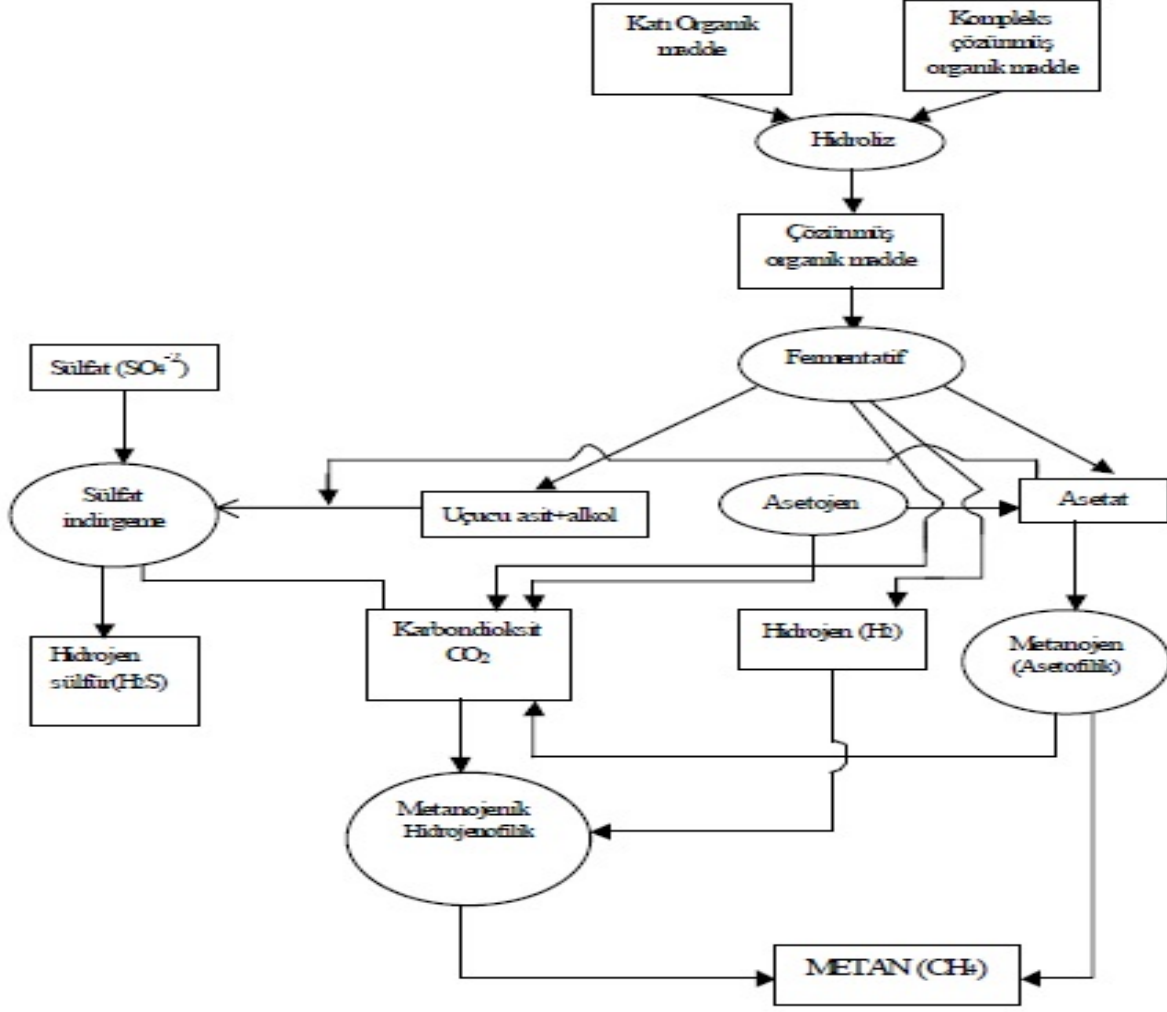
suyunun pH'ı 5'in altına düşebilmektedir. Bu fazda birçok önemli nütrientler sızıntı suyuyla çıkar, eğer sızıntı suyu geri devredilmez ise sistemden gerekli nütrientler kaybedilecektir. Eğer sülfat mevcutsa H₂S oluşur [2].

4.2.4 Metanojenik kararlı faz (Metan Oluşumu)

Bu aşamada metan üretim hızı ve gazın kompozisyonu sabittir. Sızıntı suyunun organik içeriği hızla azalır. Burada, biyogazın %50-65'i (hacimce) metandır. Metanojenik aktivite sebebiyle uçucu yağ asiti ve H₂ konsantrasyonu düşüktür. Metan bakterileri zorunlu anaerobiktir ve nötr pH (6.6-7.3) değerlerinde faaliyetleri maksimuma ulaşır. Uçucu yağ asitleri ve diğer organik maddeler karbondioksit ve metana dönüştürülür. Atıkların muhteviyatına (mutfak atıkları, cam ve kâğıt gibi) bağlı olarak gaz üretiminde salınımlar gözlenebilir [16].

4.2.5 Aerobik şartlara geçiş fazı (Olgunluk)

Olgunluk fazı metan oluşum fazı esnasında ortamda bulunan kolay ayrışabilen organik maddeler, CH₄ ve CO₂'ye dönüştürüldükten sonra başlamaktadır. Atık içerisinde nemin hareket etmesi, önceki fazlar esnasında Nurtenlerin sızıntı suyu ile ortamdan ayrılması ve depo alanında yavaş ayrışan substratların bulunması nedeniyle depo gazı üretimi bu fazda oldukça azalmaktadır. Bu fazda yavaş yavaş gelişen gazlar CH₄ ve CO₂'dir. Az miktarlarda azot ve oksijen de bulunabilir. Şekil 4.2'de ise anaerobik ayrışma süreçleri ve karbonhidratların ara ürün olan yağ asitlerine ve H₂'ye ve son ürünler CH₄ ve CO₂'ye ayrışmaları adım adım gösterilmiştir [2].



Şekil 4.2 Anaerobik ayrışma süreci [2].

Bir katı atık depo alanın kapatılmasından sonraki ilk 48 ay boyunca oluşan gazların yüzde dağılımı Çizelge 4.3'te verilmiştir. İlk aylarda CO₂ miktarı yüksek iken CH₄ miktarı anaerobik ayrışmaların yavaş olması sebebiyle düşük kalmaktadır. 12-18. aylardan itibaren metan miktarı artış göstermektedir.

Çizelge 4.3 Düzenli depolama sahalarında gazların aylara göre % oluşum miktarı [29].

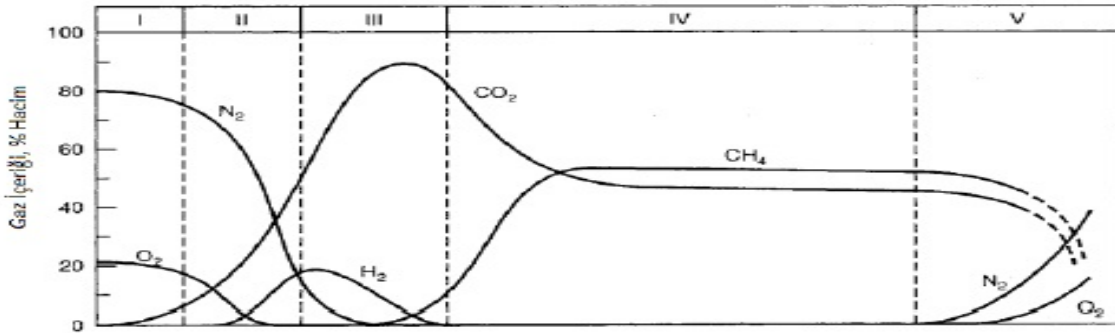
Hücresinin kapatılmasından sonraki zaman aralığı	Ortalama, % Hacim olarak		
	Azot	Karbon dioksit	Metan
	N ₂	CO ₂	CH ₄
0-3	5,2	88	5
3-6	3,8	76	21
6-12	0,4	65	29
12-18	1,1	52	40

Çizelge 4.3 Düzenli depolama sahalarında gazların aylara göre % oluşum miktarı [29] (devam ediyor).

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

4.3 DEPO GAZININ ZAMANLA DEĞİŞİMİ

Düzenli depolama sahalarında meydana gelen ayrışma ve gazların zamanla 5 safhada değişmektedir ve Şekil 4.3'te gösterilmiştir. 1. safhada %20 olan oksijen, 2. safhada ortamın anaerobik olmasıyla tükenmektedir. 2.aşamada ortamın anoksik olmasıyla beraber karbondioksit oluşumu başlayarak en yüksek seviyesine ulaştıktan sonra 4. safhada kararlı hale gelmektedir. 3. Safha ile ortamda bulunan asetik asit ürünlerini kullanan metajonik bakteriler metan üretmeye başlayacak ve %55'e kadar metan oluşturacaklardır.



Şekil 4.3 Depo gazı oluşum eğrileri [31].

Oluşum yıllarını gösteren Çizelge 4.4'te verilmiştir. Ancak, atıkların biyolojik ayrışması her zaman burada gösterildiği gibi sırayla gerçekleşmeyebilir. Bazı safhalar gerçekleşmezken bazıları da aynı anda meydana gelebilir [30].

Depolanan atığın bileşenlerine ve dane boyutlarına, ayrışabilir organik maddelerin özelliğine, ortamın pH'sına ve ortamdaki nem muhtevasına bağlı olarak değişir [30].

Ayrıca, çevresel şartlara bağlı olarak bir veya iki safha baskın hale gelebilir. Bunun yanında, atıkların heterojen yapısına bağlı olarak, aynı anda depo sahasının farklı bölgelerinde farklı süreçler de meydana gelebilir [30].

Çizelge 4.4 Metan oluşum evrelerinin yıllara göre dağılımı [31].

Evre	Durum	Zaman Aralığı
I	Aerobik	1 Gün-1 Hafta
II	Anoksik	1-8 Ay
III	Anaerobik, Metanojenik, Stabil Değil	3 Ay-3 Yıl
IV	Anaerobik, Metanojenik, Stabil	8-40 Yıl
V	Anaerobik, Metanojenik, Düşüş Eğilimi	1-40+ Yıl
Toplam		10-100 yıl

4.4 DEPO GAZINA ETKİ EDEN FAKTÖRLER

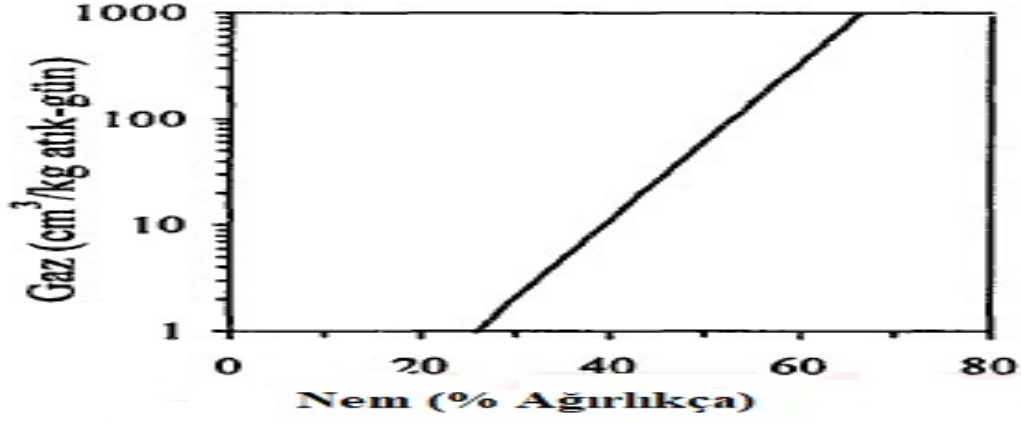
Depolama sahalarında depolanan atık içerisinde meydana gelen biyolojik, kimyasal ve fiziksel süreç sonucunda sızıntı suyu ve depolama gazı meydana gelmektedir. Bu oluşumların miktarı organik madde miktarının dışında nem içeriği, pH, sıcaklık, oksijen vs. gibi abiyotik faktörlerden etkilenmektedir [12].

Depo gazı oluşum hızını etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Bir depolama sahasında ayrışmanın ve gaz üretiminin 30 ila 100 yıl arasında sürmesi beklenmektedir, fakat bu olaylar yüksek seviyede çok daha kısa bir sürede cereyan etmektedir. Bir depolama sahasında çok çeşitli ayrışabilir maddenin bulunması, ayrışma hızını verecek tek bir denklemin veya hız sabitinin olmamasına yol açmaktadır [32].

4.4.1 Nem İçeriği

Nem içeriği, atık ayrışmasında ve gaz üretiminde en önemli parametre olarak görülmektedir. Gaz üretimi için gerekli olan anaerobik ortamı sağlamakta ve depolama sahasında nütriyent ve bakterilerin taşınması için vasıta olmaktadır. Metan bakterilerinin ihtiyaç duyduğu nem seviyesi çok düşüktür ve en kuru depolama sahalarında bile bu nem seviyesine ulaşmak mümkündür. Bundan dolayı, depo gazı bütün depolama sahalarında üretilmektedir [32].

Şekil 4.4'te depo gazı oluşum hızıyla atığın nem muhtevası arasındaki ilişki gösterilmiştir. Nem %20'den %65'e doğru yükseldikçe gaz üretimi de artış göstermektedir.



Şekil 4.4 Depo gazı üretim hızı ile nem muhtevası arasındaki ilişki [12].

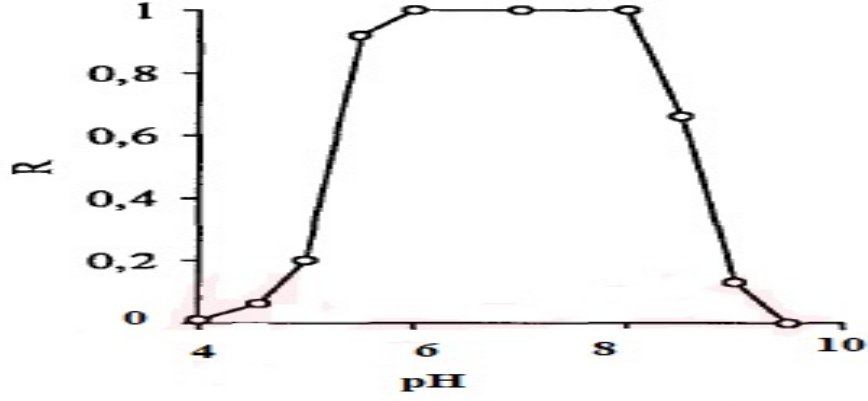
4.4.2 Nütrient İçeriği

Depolama sahasındaki bakteriler gelişebilmeleri için çeşitli nütrientler ihtiyaç duymaktadırlar. Bu nütrientler başlıca karbon, hidrojen, oksijen, azot ve fosfordur. Fakat küçük miktarlarda da olsa sodyum, potasyum, sülfür, kalsiyum, magnezyum ve diğer eser metallerine ihtiyaç duymaktadırlar. Bazı nütrientler sadece yeterli miktarlarda bulunmaları değil, belli oranlarda bulunmaları gerekmektedir [32].

Organik maddeler, azot ve fosfor arasındaki uygun değer oranları; 100:0,44:0,08 olarak belirlenmiştir [12].

4.4.3 Alkalinite ve pH

Anaerobik çürütme için uygun değer pH aralığı 6.7-7.5 olarak ifade edilmektedir. Bu uygun değer pH aralığında kalındığında metan bakterilerinin çoğalma hızı artmakta ve metan üretimi maksimum değerlere ulaşmaktadır. Optimum aralığın dışına çıktığında, yani pH'ın 6'dan küçük ve 8'den büyük olması durumunda, metan üretimi şiddetli olarak Şekil 4.5'te gösterildiği gibi kısıtlanmaktadır. Bir depolama sahasındaki pH aralığı endüstriyel atıkların mevcudiyetinden, alkaliteden, yer altı suyu infiltrasyonundan ve organik asit üretimi ve metan oluşum hızlarından etkilenebilmektedir. Taze sızıntı suları, uçucu yağ asitlerinin mevcudiyetine bağlı olarak 6-7'den daha düşük pH değerlerine sahiptirler [32].



Şekil 4.5 pH'nin rölatif CH₄ oluşum hızı (R) üzerine etkisi [12].

4.4.4 Atık Bileşimi

Bilindiği gibi depolama sahasında bertaraf edilecek atıkların bileşimi bulunulan bölgeye ve atık kaynağının evsel, ticari veya endüstriyel oluşlarına göre oldukça büyük farklılıklar göstermektedir. Bu atıkların bileşimi gaz üretimini aşağıdaki açılardan etkilemektedir:

- Kullanılabilir bir substratın mevcudiyeti (organik, nütriyent ve nem içeriği),
- Potansiyel inhibitörlerin mevcudiyeti,
- Depolama sahası genelindeki sıvı ve gaz taşınımlarından bağımsız "mikro ölçekli ortamların" oluşumu [32].

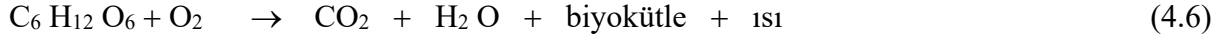
4.4.5 Sıcaklık

Mikrobiyolojik faaliyetlerde olduğu gibi oksijensiz parçalanma prosesleri de sıcaklıktan etkilenmektedir. Metan bakterileri 40°C seviyesinde yaşayan mezofilik grup ve en yüksek 70°C civarında yaşayan termofilik bir gruptan oluşurlar [12].

Reaksiyonlar neticesinde oksijensiz parçalanma ile oksijenli parçalanmadan oluşan ısının sadece %7'sinin açığa çıktığı denklem 5.6 ve 5.7'de görülmektedir [12].

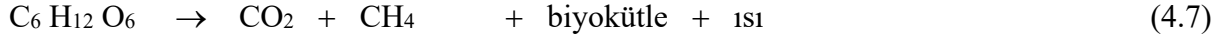
Biyolojik parçalanmanın ilk basamağında 70°C gibi yüksek sıcaklıklara çıkılmaktadır. Oksijensiz parçalanma basamağında ise sıcaklık düşerek 30–35°C seviyelerinde sabit kalmaktadır. Bu sıcaklık değeri mezofilik metan bakterileri için optimum sıcaklıklardır. Sıcaklığın artması, genellikle gaz üretiminin de arttığının göstergesi olarak kabul edilmektedir [12].

Aerobik Ayrışma:



(1Kg.) (0.64 Kg) (0.88 Kg.) (0.34 Kg.) (0.40 Kg.) (9300 kJ)

Anaerobik Ayrışma:



(1Kg.) (0.69 Kg) (0.25 Kg.) (0.056 Kg.) (632 kJ)

4.4.6 Atık Yoğunluğu

Atık yoğunluğunun depo gazı üretimi üzerindeki etkisini kesin bir şekilde ortaya koyan çok az veri bulunmaktadır. Depolama sahasında gömme işlemi tamamlanmış atıkların yoğunluğu 300-450 kg/m³ olan depolama sahalarında, atık yoğunluğu ile gaz oluşumu arasında çok belirgin bir ilişkinin varlığı görülmemektedir [32].

4.4.7 Partikül Boyutu

Daha küçük partikül büyüklüğüne sahip öğütülmüş atıkların depo gazı oluşumu üzerinde olumlu bir etki yarattığı düşünülmektedir. Küçük partikül boyutuna sahip atıklar, gaz oluşumunu etkileyen önemli parametreler olan nem, nütriyent ve bakteriler için daha büyük yüzey alanları sunmaktadır. İyi şekilde öğütülmüş bir atık kütlesi mikrobiyal aktivitenin ve nütriyent dolaşımının artmasına neden olmaktadır. Bu durum özellikle yeterli nemin bulunması şartında geçerlidir [32].

4.4.8 Oksijen

Ayrışma anında serbest oksijenin bulunmaması, oksijensiz bakterilerin parçalanma işlemlerini gerçekleştirebilmesi için gerekli ve zorunludur. Metanojenik bakteriler, O₂'ye en duyarlı bakterilerdir. O₂ depolama sahalarında bulunan atık içerisine her zaman temas eder. Fakat depolama sahasının yüzeyinde bulunan aerobik bakteriler oksijeni tüketirler. Metanojenik bakterilerin spor oluşturan formu belirlenmemiş olmasına rağmen, metanojenik bakteriler ortama O₂ girişiyle tamamen yok olmazlar. Bu süreç en son CH₄ oluşumuyla biter [12].

4.5 DEPO GAZININ ÇEVRESEL ETKİLERİ

Düzenli depolama sahaları, açık sahalarda depolama gibi bertaraf yöntemlerinin çevre ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerini ortadan kaldırma ihtiyacından dolayı geliştirilmiştir.

Depolama sahalarında bertaraf edilen atık çevrede bulunan maddelerden yapısal olarak farklılık göstermektedir. Bu nedenle depo sahasının çevresini etkileme potansiyeline sahiptir. Depolama sahalarında meydana gelen prosesler sonucunda toprak, su ve havaya dağılan emisyonlar sonucunda depolama sahalarının çevresinde bulunan flora ve faunaya olumlu veya olumsuz etki verebilir [7].

Bu etkiler olumsuz olarak yangınlara, patlamalara, bitki örtüsü hasarlarına, hoş olmayan kokulara, yeraltı suyu, hava kirliliği ve küresel ısınmaya neden olmaktadır [33].

4.5.1 Yangın ve Patlama Tehlikesi

Depo gazları yanabilir veya metan içeriğinden dolayı patlama potansiyeline sahiptir. Metan patlama sınır atmosfer basıncında ve ortam sıcaklığında havada %5–15'tir. Patlama sınırı diğer bileşenlerin varlığıyla da çok az daha olsa etkilenmektedir. Depo gazı doğrudan atmosfere verildiğinde patlama riski olmamasına rağmen içerisinde bulunan metan yangına sebep olabilir [7].

Bu tehlikelere asıl etki meteorolojik koşulların kötü olduğu durumlarda ortaya çıkmaktadır. Atmosferik basıncın düşük ve şiddetli yağmurlarda büyük miktarda depo gazı depo alanının dışına yatay olarak hareket ederek kanalizasyon sistemine yerleşim yeri zemini altında ve tabanında toplanarak elektrik aletlerinden kıvılcım, kibrit teması vs. ile patlamaya sebep olabilir. Örnek bir yangın görüntüsü Şekil 4.6'da verilmiştir [7].



Şekil 4.6 Depolama alanlarında yangın [58].

4.5.2 Depo Gazlarının Bitki Örtüsüne Zararları

Katı atık depolama sahalarında oluşan gazlar sahanın çevresinde hatta depolama sahalarından birkaç yüz metre uzaklıktaki bölgelerde bulunan bitkileri etkileyebilir. Depo gazı, topraktaki genellikle oksijen içeren havanın yerini alarak veya metan oksidasyonu ile bitki köklerinde mevcut oksijenin tükenmesine sebep olarak bitkilere zarar vermektedir. Bu etkiler köklerin oksijensiz kalmasına ve bitkilerin ölmesine yol açar. Etki daha az ise depo gazı bitkilerde az büyüme veya köklerin kısa kalmasına sebep olmaktadır ki bu gibi durumlar fırtına ve sel hallerinde bitkilerin dayanma güçlerini azaltmaktadır [7].

4.5.3 İstenmeyen Kokular

Depo sahaları çevresinde çalışan veya yaşayan insanlar için koku problemi oluşturarak önemli problemlere sebep olurlar. Depo sahalarında kokuya sebep olan en etkin bileşikler hidrojen sülfür, dimetil sülfür ve merkaptanlar gibi sülfür bileşikleridir. Hidrojen sülfür yüksek oranda ve konsantrasyonda yayılır.

Kentsel katı atık sahalarında koku ölçümü genellikle işletme uygulamalarında, sahanın genişletilmesi ve izleme için gerekliliktir. Bu ölçümler birkaç yolla gerçekleştirilebilir. Ölçümler 3 ana yöntem ile gerçekleştirilir.

- Dinamik seyreltme yöntemi (koku panelleri)
- Elektronik yöntemler (akıllı cihazlar)
- Kimyasal analizler (gaz kromatografisi) [7].

4.5.4 Yeraltı Suyu Kirliliği

Yer altı suyu kirliliği riski, depo sahalarından ileri gelen en önemli çevresel risklerden biri olarak kabul edilir ve bu nedenle depo sahalarının yer seçiminde, taban örtülerinin yerleştirilmesinde, sızıntı suyu toplama sistemlerinin döşenmesinde ve arıtma tesislerinin kurulumunda katı kriterler uygulanmaktadır [7].

Yüksek konsantrasyonlarda karbondioksit içeren depo gazları, bu gazın yüksek çözünürlüğe sahip olmasından dolayı yer altı suyunu önemli derecede kirlletme potansiyeline sahiptir.

Sızıntı suları depo sahasının tabanına veya geçirimsiz bir tabakaya ulaştığında, buralardan geçebileceği bir yol bulmaya çalışır. Böyle durumlarda ve sızıntı suyu toplama sistemlerinin mevcut olmadığı durumlarda, sızıntı suları depo sahasının tabanındaki akiferlerin kirlenmesine yol açar [6].

Yer altı suyu kirliliği, depo sahası için uygun yer seçimi, sahaya kabul edilecek olan atık türlerinin seçimi, üst örtünün kalitesi, taban örtüsünün verimliliği ve sızıntı suyu toplama sisteminin uygun tasarımı ile kontrol edilebilir [7].

4.5.5 Hava Kirliliği

Depo gazının ana bileşenleri (CO₂ ve H₂S) insanlar üzerine toksik etki yaratmaktadır. Ancak endişe verici durum ise gazdaki organik iz bileşenlerin varlığıdır. Kritik bileşenlerin kanserojen etkilerinden dolayı vinil klorür ve benzen olduğuna inanılmaktadır. Ayrıca depo gazının tam yanmamasından dolayı meydana gelen dioksin ve furanlar da aynı derecede endişe vericidir [7].

4.5.6 Sera Gazı Salınımı ve Küresel Isınma

Sera gazı salınımı doğal ve antropojenik olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Antropojenik emisyonlar arasında enerji temini (fosil yakıtların kullanımı), ulaşım, arazi kullanımı değişiklikleri (tarımsal faaliyetler) ve atık sektörü bulunmaktadır [64].

Türkiye’de sera gazlarının sektörlere göre dağılımı Çizelge 4.5’te verilmektedir. Çizelgeden anlaşılacağı gibi toplam sera gazı emisyonları 1990-2017 döneminde yaklaşık %239,6 oranında artmıştır.[65]

Çizelge 4.5 Sektörlerden Kaynaklı Sera Gazı Salınımları [65].

Yıl	Toplam	1990 yılına göre değişim (%)	Enerji	Endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı	Tarımsal faaliyetler	Atık
1990	219,2	-	139,6	22,8	45,7	11,1
1991	226,6	3,4	144,0	24,7	46,5	11,3
1992	232,8	6,2	150,3	24,3	46,6	11,5
1993	240,1	9,6	156,8	24,5	47,0	11,8
1994	234,1	6,8	153,3	24,2	44,6	12,0
1995	247,6	12,9	166,3	25,2	43,7	12,4

Çizelge 4.5 Sektörlerden Kaynaklı Sera Gazı Salınımları [65] (devam ediyor).

1996	267,2	21,9	184,0	26,2	44,4	12,7
1997	278,6	27,1	196,2	27,0	42,2	13,2
1998	280,3	27,9	195,9	27,4	43,6	13,5
1999	277,8	26,7	193,8	25,8	44,2	13,9
2000	298,9	36,4	216,1	26,2	42,3	14,3
2001	280,4	27,9	199,2	25,9	39,8	15,5
2002	286,1	30,5	205,8	26,9	37,4	15,9
2003	305,6	39,4	220,3	28,2	40,9	16,2
2004	315,0	43,7	226,1	30,8	41,4	16,6
2005	337,2	53,8	244,0	33,6	42,3	17,3
2006	358,2	63,4	260,0	36,7	43,5	18,0
2007	391,4	78,6	290,8	39,2	43,2	18,3
2008	387,6	76,8	287,3	40,9	41,0	18,3
2009	395,5	80,4	292,5	42,5	41,7	18,8
2010	398,7	81,9	287,0	48,1	44,0	19,5
2011	427,6	95,1	308,7	52,7	46,4	19,8
2012	446,9	103,9	320,5	55,0	52,1	19,4
2013	439,0	100,3	307,5	58,1	55,2	18,2
2014	458,0	108,9	325,8	58,5	55,5	18,2
2015	472,2	115,4	340,9	57,0	55,4	18,8
2016	498,5	127,4	359,7	62,2	58,2	18,4
2017	526,3	140,1	379,9	66,5	62,5	17,4

İnsan faaliyetleri sonucunda sera gazlarının atmosferdeki oranının artması sebebiyle iklim değişikliğine sebep olmaktadır. Bilim adamları bu faaliyetlerin iklime olan etkilerini belirlemeye ve sınıflandırmaya çalışmaktadırlar. Özellikle sıcaklık ve yağıştaki ani değişimlere, büyük hava olaylarının sıklığına ve boyutuna dikkat çekmektedirler. Doğal dengenin bozulmasına neden olan insanların, gerekli önlemler alınmadan çeşitli etkinliklerinin devam etmesi halinde iklimdeki bu bozulmaların artarak, sonucu olumsuz olabilecek küresel ısınmaya bağlı iklim değişikliklerinin yaşanacağı kesin bir dille ifade edilmektedir. Atmosferdeki sera gazı birikimlerinde ve partiküllerde meydana gelecek artış,

doğal çevrenin tahribi, ozon tabakasındaki incelme, küresel boyutta sıcaklık artışına neden olacaktır [62].

Doğal olarak atmosferde meydana gelen sera gazları yeryüzü sıcaklığının korunmasını sağlamaktadır. Fakat atmosferdeki sera gazı oluşumunun aşırı derecede artması küresel ısınma problemine sebep olmaktadır. Karbondioksit, metan ve azot oksit, doğal olarak oluşan sera gazlarına örnektir [61].

Yeryüzünün ısınmasında, atmosferde bulunan karbondioksit miktarının aşırı miktarda artması, en büyük etken olarak görülmektedir. Isınmadaki artış dünya ikliminin değişmesine yol açarak kutup bölgesinde bulunan buzulları eritmekte, okyanus seviyesinin yükselmesine ve okyanus kıyısında bulunan toprakların sular altında kalmasına neden olmaktadır. Sera gazı etkisinin önlenmesinde, fosil yakıt kullanımının azaltılması ve yenilenebilir kaynakların kullanım oranının artması önemli derecede etki gösterecektir [62].

Sera gazlarından bazıları insan faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır. Bu gazların tamamı halokarbonlar olarak ifade edilmektedir. Halokarbonlar içerisinde brom, klor ve flor içermektedir. Halokarbonlara örnek olarak, kloroflorokarbonlar (CFC'ler), hidroflorekarbonlar (HFC'ler) ve hidrokloroflorekarbonlar (HCFC'ler) gösterilebilir [61].

Organik atık içeren depo sahaları sera gazları olan CO₂ ve CH₄ gazlarından oluşan depo gazı üretirler. Depo sahalarından yayılan CO₂, genellikle sera gazı sayılmaz çünkü CO₂ fotosenteze uğramış organik maddenin parçalanmasından kaynaklanmaktadır. Metan ise aynı organik maddeden kaynaklanır fakat karbondioksitten daha yüksek yayılma gücüne sahiptir. Bundan dolayı küresel ısınmaya katkıda bulunan potansiyel bir sera gazı sayılır [7].

Depo gazı ile yayılan metan havada çok yavaş okside olmaktadır. Atmosferde metan konsantrasyonu zaman bağı olarak artış göstermektedir. Bu durum yerküreden yayılan kızıl ötesi radyasyonun yansımalarını arttırarak sıcaklık artışına neden olmaktadır. Bazı kaynaklarda CH₄ gazının küresel ısınmada potansiyel etkisi 100 yıllık süreçte, 25 kg CO₂ eşdeğer/ kg CH₄'e eşit olduğu belirtilmektedir [7].

Toplam küresel ısınmanın yaklaşık %18'ine metanın sebep olduğu belirlenmiştir. Bu değer yılda yaklaşık 500 milyon tona karşılık gelmekte ve bunun da 40-75 milyon tonu depo sahalarından kaynaklanmaktadır.

Kyoto Protokolüne göre; karbondioksit, metan, azot oksit, hidroflorokarbonlar, perflorokarbonlar, kükürt heksaflorüre için önlemlerin alınması zorunluluk haline getirilmiştir [61].

4.5.6.1 Karbondioksit (CO₂)

Karbondioksit, küresel ısınmaya önemli derecede etki etmektedir. Güneş'ten gelen kısa dalga radyasyonunun çoğunu iletirken, uzun dalga radyasyonunu dünya yüzeyinde hapsedmektedir [61].

Atmosferdeki CO₂ miktarına, fosil yakıt yanması ve arazi kullanım değişikliği önemli ölçüde etki etmektedir. CO₂ konsantrasyonu 1750 yılında gerçekleşen sanayi devrimi öncesi 278 ppm seviyesinde iken günümüzde bu değer 412 ppm seviyesinde ölçülmektedir [63].

Gelecekte, depo sahalarından dolayı oluşan sera gazları önemli derecede değişecektir. Geri dönüşüm ve ön arıtma ile depo sahalarına gönderilen organik atık seviyesindeki azalma ile oluşabilecek metan miktarı da azalacaktır [7].

4.6.1.2 Metan (CH₄)

Metan, atmosferde çok uzun bir ömre sahip doğal olarak oluşan sera gazlarından biridir. Antropojenik faaliyetler nedeniyle, sanayi devrimi öncesinden beri atmosferdeki konsantrasyonları artmaktadır [61].

Metan oluşumu, biyojenik ve biyojenik olmayan kaynaklardan meydana gelmektedir. Biyojenik olmayan kaynaklara, biyokütlenin yakılması, atık işleme, madencilik faaliyetleri ve fosil yakıtların yanması örnek olarak gösterilmektedir. Biyojenik kaynaklara, hayvancılık, pirinç tarımı, ormanlar, düzenli depolama alanları, sulak alanlar, okyanuslar ve termitler örnek olarak gösterilmektedir [61].

Atmosferdeki metan konsantrasyonu, sanayi devrimi öncesine göre 2,5 kat artmıştır. Günümüzde bu seviye 1850 ppb civarında ölçülmektedir. Metan konsantrasyonundaki bu artış, antropojenik faaliyetlerden kaynaklanmaktadır. Artışa sebep olan kaynaklar, madencilik ve fosil yakıtların yanması, pirinç çeltik tarımının genişlemesi ve atık sahalarından kaynaklanan emisyonlardır. Antropojenik emisyonlar, toplam emisyonların % 50 ila 65'ini oluşturmaktadır [61].

4.6.1.3 Azot Oksitler (NO_x)

Yanma prosesinde yüksek sıcaklıkların etkisi ve havadaki azotla oksijenin birleşmesiyle azot oksitler meydana gelmektedir. Azot oksitler, troposferik ozon oluşum reaksiyonlarına katılarak sera gazı etkisinin artmasına dolaylı olarak sebep olurlar. Azot oksitler (NO_x) genellikle, azot monoksit (NO) ve azot dioksit (NO₂) gazlarının toplamı olarak ifade edilirler [66].

5.6.1.4 Halokarbonlar, Perflorokarbonlar ve Sülfür Heksafluorür (SF₆)

Halokarbonlar, tamamen insan faaliyetleri sonucunda oluşmaktadır. İçerisinde brom (halons) ve klor içeren halojenler (CFC'ler ve HFC'ler) ozon tabakasının incelmesine neden olmaktadır. Bu halokarbonların emisyonları, Montreal Ozon Tabakasını Tüketen Maddeler Protokolü kapsamında düzenlenmiştir. HFC'lerin ömrü 1.4 ile 270 yıl arasında değişmektedir [61].

Perflorokarbonlar (PFC'ler) ve SF₆, kızılötesi radyasyonunu etkin bir şekilde emmektedir. PFC'ler ve SF₆'nın 1000 ila 50.000 yıllık kullanım ömrü vardır. Atmosferdeki uzun ömürleri nedeniyle binlerce yıl boyunca iklimi etkileyecektir. PFC'ler özellikle alüminyum üretiminden yayılır. SF₆ emisyonlarına elektrik dağıtım sistemleri ve magnezyum üretimi neden olmaktadır [61].

4.6.1.5 Karbon Monoksit (CO)

CO fosil kaynakların yetersiz yanmasından kaynaklanan zehirli bir gazdır. Doğal süreçler sonucunda atmosferdeki CO₂'ye oksitlenir. Karbon monoksit, iklim ve atmosferdeki kısa kullanım ömrü üzerine doğrudan yayılan etki etkisinin olmamasından dolayı önemli bir sera gazı olarak kabul edilmemektedir [61].

4.6.1.6 Metan dışı uçucu organik bileşikler (NMVOCs)

Metan dışı uçucu organik bileşikler etan, bütan ve propan gibi bileşiklerden oluşur. Atmosferde çok kısa ömürlüdür. NMVOC'lar troposferik ozon oluşumunda yer alır, bu nedenle iklim üzerinde dolaylı yoldan etki etmektedir. NMVOC'lardan kaynaklanan

emisyollar, ağırlıklı olarak fosil yakıt yanması, endüstriyel prosesler, biyokütle yakma ve endüstriyel olmayan organik çözücü tüketiminden yayılmaktadır [61].

4.6.1.7 Yapılan Çalışmalar

Yurt içinde ve yurt dışında matematiksel modeller ile atık sahalarından elde edilebilecek gaz potansiyelleri hesaplanarak uygun olan model belirleme çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalara örnek olarak;

- Hindistan'ın Kanpur bölgesinde bulunan Panki açık döküm sahasında yapılan çalışmada IPCC, FOD ve LandGEM 3.02 versiyonu kullanılarak CH₄ emisyon oranları hesaplanmıştır. Açık döküm alanı ve düzenli depolama sahası için yapılan çalışmada modellerin uygunlu belirlenmiştir. Panki açık döküm alanı için CH₄ emisyon miktarı 2010-2030 dönemi için IPCC ile 197.33 Gg, FOD ile 24.27 Gg ve LandGEM metodu ile 25.14 Gg olarak bulunmuştur. Panki açık döküm alanı için uygun hesaplamaların LandGEM metodu ile olacağı ayrıca düzenli depolama yapılması durumunda CH₄ emisyon miktarı 2010-2030 dönemi için 62.68 Gg olacağı hesaplanmıştır [47].
- Mirash belediyesi katı atık düzenli depolama sahasında IPCC ve LandGEM metodu ile yapılan metan emisyonu tahminde; atık miktarı, toprak özellikleri ve iklim koşulları değerlendirilmiştir. 2006-2017 yılları arasında IPCC metodu ile 30.57 Gg iken LandGEM modeli ile 26.32 Gg olarak hesaplanmıştır. Bu değerlendirmeden sonra sahada 2018-2025 yılları arasında CH₄ emisyon potansiyeli hesaplanmıştır. IPCC metodu ile 53.74 Gg iken LandGEM modeli ile 50.74 Gg olarak hesaplanmıştır [48].
- Hindistan'ın 23 metropoliten şehirlerinde yapılan çalışmada geçmişte depolanan atık göz önünde bulundurularak 2020 yılına kadar olan süreç için LandGEM matematiksel metodu kullanılarak sera gazı ölçümü yapılmıştır. Depolanan atığın oluşturabileceği küresel ısınma potansiyeli (GWP) 189,984 Gg CO₂ eşdeğeri olduğu bulunmuştur. Bu değerlerin %88,4'lük kısmı CH₄'ten kaynaklandığını ifade etmektedir. Depolama esnasında oluşan 47,474 Gg CO₂ atmosfere salınarak sera gazı etkisinde bulunabileceğinin hesaplanmıştır [49].
- Delhi'de bulunan 3 katı atık depolama sahasında 3 farklı model ile çalışma yapılarak toplam CH₄ ve enerji geri kazanım potansiyeli 1984 – 2015 dönemi için incelenmiştir.

IPCC ile 1288.99 Gg, FOD ile 311.18 ve LandGEM modeli ile 779.32 Gg CH₄ emisyonu olabileceği ölçülmüştür. 2015 yılı için yapılan çalışmada CH₄'ten enerji üretme potansiyelinin, Ghazipur için 4.16x10⁸ ila 9.86x10⁸ MJ, Okhla için 2.08x10⁸ ila 4.06x10⁸ MJ ve Bhalswa için 3.42x10⁸ ila 8.11x10⁸ MJ arasında değiştiği tespit edilmiştir [50].

- Samsun'da yapılan bir çalışmada matematiksel model çalışmasının sonucunda ise birinci durum için (Samsun'un merkez ilçelerinin atıklarının sahada depolanması durumunda) CAA sabiti ile toplam metan oluşumu 391 m³gaz/ton atık bulunmuştur. AP-42 sabitine göre ise toplam metan oluşumu 233 m³gaz/ton atık olarak bulunmuştur. İkinci durum için ise, (Samsun'un bütün ilçelerinin atıklarının sahada depolanması durumunda) CAA sabiti ile toplam metan oluşumu 367 m³gaz/ton atık, AP-42 sabitine göre ise toplam metan oluşumu 217 m³gaz/ton atık olarak bulunmuştur. Literatürde, 1 ton evsel atık başına oluşabilecek oluşacak depo gazı 120-300 m³gaz/ton aralığında verilmektedir. Buradan AP-42 için yapılan hesaplamaların literatürdeki değerler arasında kaldığı, daha gerçekçi ve doğru bir sonuç verdiği görülmektedir [6].
- Başka bir çalışmada, seçilen depo gazı modelleri (Tabasaran & Rettenberger, TNO, LandGEM ve Multi-phase modelleri) ile örnek depolama sahası olarak seçilen İzmir Harmandalı Depolama Sahası'nda oluşacak depo gazı miktarının ve depo gazından elde edilebilecek teknik enerji potansiyelinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada Multi-phase modeli ile yapılan hesaplamalara göre, sahada 2016 yılı sonrası için kullanılabilir enerji potansiyelinin toplam enerji potansiyelinin %50'sine yakın seviyede olduğu belirlenmiştir. Ayrıca sahadan çıkan depo gazı ile elde edilebilecek en yüksek enerji potansiyeli 9.6 MW olarak hesaplanmıştır. Bu çalışma, depo gazı modellerinin enerji geri kazanım projelerinde etkin bir araç olarak kullanılabileceğini ortaya koymuştur [37].
- Bu çalışmada, Yasuj kentindeki belediye katı atık depolama alanından metan emisyonlarının LandGEM yazılımı kullanarak tahmin edilmesini amaçlamaktadır. Açık depolama yılı, arazi kapanma yılı, metan üretim hızı, potansiyel metan üretim kapasitesi ve atık kabul oranının girdi verilerine dayanan LandGEM modeli. Elde edilen sonuçlara göre 2009, 2010, 2011 ve 2012 yıllarında metan gazı üretimi sırasıyla 250, 275, 303 ve 330 m³/s. olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak, maksimum metan üretim hızının 2010-2012 yılları arasında gerçekleştiğini ve ardından 2012'den itibaren yumuşak bir eğimle azaldığını göstermiştir. Bu araştırmanın yöntemi ve sonuçları,

metan gazı toplama sistemlerinin tasarımı ve yürütülmesi ve böylece depolama alanları için sera gazı emisyonu belirlenmesidir [39].

- ABD’de yapılan çalışmada depolama alanlarında EPA'nın geliştirdiği LandGEM modeli parametresi ile ($L_0=100$ ve $k=0.04$) 1990'lı yıllarda depolama yönetimi uygulamalarını yansıtan veriler kullanılarak belirlenmiştir. Bu çalışmada, en uygun olanı tahmin etmek için 21 atık depolama alanından metan toplama verileri kullanılmıştır. L_0 için 55 ve 160 m³/ton arasında, k değeri içinde 0.04 yıl⁻¹ değeri bulunmuştur. Sonuçlar, en iyi k tahmininde geniş bir varyasyon olduğunu göstermektedir. Atık alanlarında daha fazla çürüme için nemin artırılması sağlansa da sonuçlar tutarlı çıkmamıştır. Bazı atık depolama alanlarının göreceli olarak kuru olduklarını öne sürmelerine rağmen bazı bozulma oranlarının düşük olmasına rağmen yüksek bozunum sergilemiştir. Sonuçlar L_0 'ın birçok faktörü yakaladığını ve verilerin genel atık depolama tahminleri yerine sahaya özgü verilerin yararlı olabileceğini göstermektedir [66].
- Atık bileşimi değişiminin depolama alanlarındaki metan üretimi üzerindeki etkisini araştırmak için bir çalışma yapılmıştır. Karışık atıkların metan potansiyeli için ampirik bir denklem, bireysel atık bileşenlerinin metan potansiyel değerlerine ve atık bileşenlerin bileşim oranına dayanarak türetilmiştir. Denklemde bir düzeltme faktörü eklenmiştir. Denklem ve LandGEM tam boyutlu bir depolama için uygulanarak yıllık metan potansiyeli tahmin edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, atık miktarındaki değişikliklerin atık depolama bileşimindeki yıllık metan potansiyelini atık bileşimi değişikliklerinden daha fazla etkilediğini göstermiştir [67].

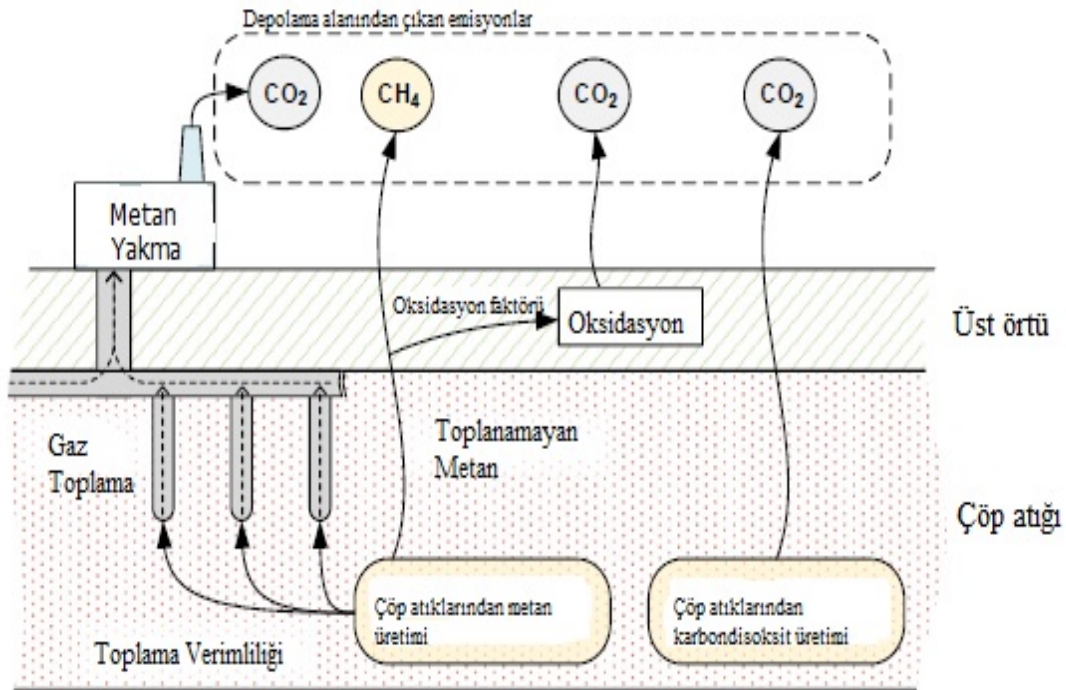


BÖLÜM 5

DEPO GAZINDAN ENERJİ ELDESİ

Belediye düzenli katı atık depolama sahasında, biyokimyasal dönüşüm süreci sırasında, ayrışma veya biyolojik ayrıştırılarak depolama gazı üretilmektedir.

Organik atık toprak altında, anaerobik koşullar altında ayrışmaya başlar ve metan (CH_4) ve karbondioksit (CO_2) karışımı olan depolama gazını oluşturur. Şekil 5.1’de gösterildiği gibi metan yakma tesisi bacasından, atık sahasında oluşan oksidasyon ve depolanan atıktan CO_2 salınımı, atıkların ayrışması sonucunda CH_4 emisyonu oluşmaktadır. Oluşan bu gazlar küresel ısınma etkilerini azaltmak için toplanır ve yakılır. Düzenli depolama işletmecileri CH_4 ’ü yakma bacalarında yakmak yerine, gelirlerini artırmak için elektrik üretebilirler. Ayrıca elektrik üretimi ile CH_4 emisyonu önlediğinden dolayı sera gazı emisyonlarında azaltıcı etkisi vardır [34].



Şekil 5.1 Depolama sahası organik atıklarından kaynaklanan emisyonlar [34].

5.1 DEPO GAZININ TOPLANMASI

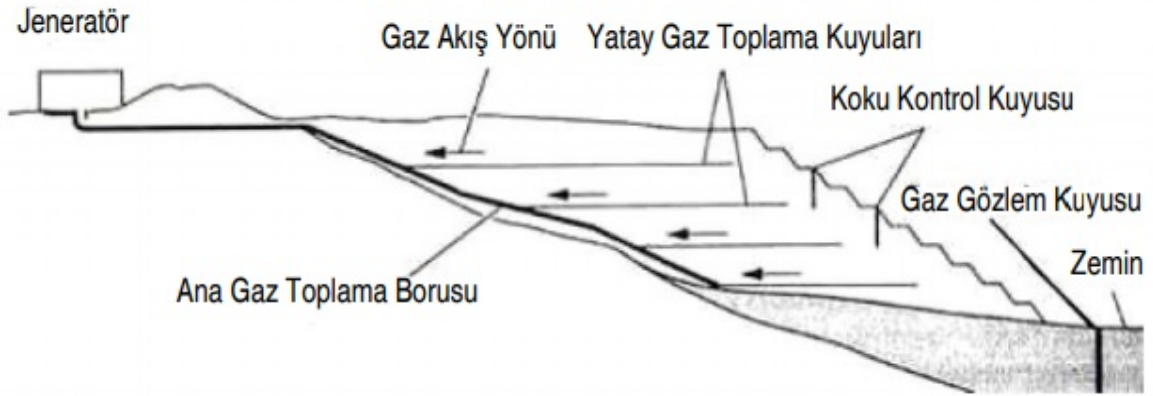
Koku problemini ve emisyonları kontrol etmek için düzenli depolama çalışanları depo gazını toplar ve yakarlar. Depo gazı toplama verimliliği temel olarak toplayıcının uygulaması, depolama alan tipleri ve toplama sisteminin stratejisi ile değişmektedir [34].

Bir depolama alanı genellikle birden çok hücreden oluşur ve tüm depolama sahasının etkin bir şekilde işletilebilmesi için hücre bazında yönetilir. Bir depolama sahasının LFG toplama verimliliğini değerlendirmek için, bir hücre seviyesinde depo gazı üretimi ile toplanması dikkate alınmalıdır [34].

İki tip depo gazı toplama sistemi vardır.

- Yatay toplama sistemi
- Dikey toplama sistemi

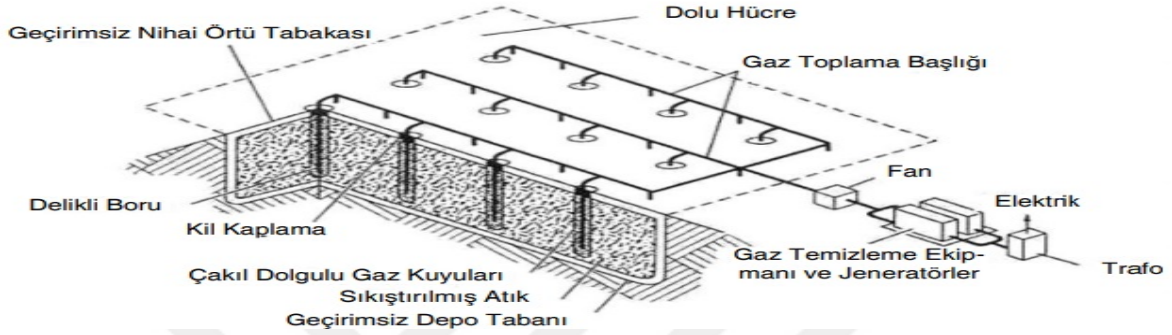
Toplama sistemlerinin kurulumu fiziksel şartlara nedeniyle, yatay toplayıcılar ile yaygın olarak yapılmaktadır. Şekil 5.2’de gösterilen yatay sistemler atık hücresinin erken safhasında oluşan depo gazını toplamak için kullanılır [34].



Şekil 5.2 Yatay kuyularla gaz toplama sistemi [35].

Yatay kuyular işletme dönemi içerisinde iki veya daha fazla atık hücresi kapatıldıktan sonra inşa edilmektedir. Yatay gaz çekilecek alan iş makinesi yardımı ile boru çapı ile orantılı olarak açılmaktadır. Alan daha sonra bir miktar çakılla doldurulmakta ve uçları açık delikli bir boru kazı alanı içine yerleştirilmektedir. Hendek çakılla doldurulmakta ve katı atıkla üzeri örtülmektedir. Yatay toplama sistemi düşeyde 25 m. ve yatayda da 60 m. aralık bırakılarak inşa edilmektedir [45].

DüŖey gaz çekme kuyuları genellikle depo sahalalarının tamamı ya da bir alanı dolduktan sonra kullanılmaktadır. DüŖey kuyular saha içerisinde biriken gazın toplanarak enerjiye dönüŖtürülmesinde hem de çevreye yayılmasını önlemek için Ŗekil 5.3'teki gibi atık alanına dik olarak inşa edilmektedir. Genel olarak tasarlanan gaz toplama kuyusuna 10-15 cm. 'lik borunun (genellikle PVC veya PE) yerleŖtirildiđi yaklaşık 1 m çapında sondaj sisteminden oluşur [45].



Şekil 5.3 Dikey kuyularla gaz toplama ve geri kazanma sistemi [35].

Nihai kaplamalar çok düşük geçirgenliğe sahip olduğundan ve dikey toplayıcılar etrafındaki atıkların yüksek bir vakum oluşturması nedeniyle, dikey toplayıcıların toplama verimliliği tipik olarak yatay kolektörlere kıyasla daha yüksektir [34].

Depolama sahalalarında oluşan biyogazın toplanması için kurulan yapılar hem düŖey hem de yatay gaz kuyuları şeklindedir. Bazı durumlarda ise bu iki yapı birlikte kullanılmaktadır [36].

Genel olarak depo gazı toplama verimliliğini,

- Aktif hücreler, toplama verimliliği genellikle %50
- Geçici kapatmalı sistemler, toplama verimliliği %75
- Nihai kapatmalı sistemler, toplama verimliliği %95 olarak üç aşamaya ayrılmıştır.

Ancak, birçok çalışma LFG toplama sistemlerinin %80'e kadar toplayabildiğini göstermiştir [25].

Depo sahası içerisine yerleŖtirilecek düŖey veya yatay toplama sistemi, sahadan gazın emilmesine olanak sağlayacak şekilde delikli bir yapıda olmalıdır. Toplama yapıları genellikle, 5–12 cm. arasında değişen, delikli ve yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) borulardan oluşur [36].

Örnek olarak, dikey gaz toplama sistemi inşası için tavsiye edilen kriterler Çizelge 5.1’de gösterilmektedir.

Çizelge 5.1 Düşey gaz toplama sistemi inşası için tavsiye edilen kriterler [35].

Parametre	Önerilen Kriterler
Yapı 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 İtibaren)	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.)

5.2 DEPO GAZI UYGULAMALARI

Depo gazı, fosil yakıtlara alternatif olarak enerji üretmek için önemli bir kaynaktır. Büyük ölçekli sahalarda elektrik üretilebilirken daha küçük sahalarda doğrudan ısıtma faaliyetleri için kullanılmaktadır. Depo gazı, iyi bit arıtma işleminden sonra doğalgaz şebekesine verilerek kullanılabilir [44].

5.2.1 Elektrik Üretim Uygulamaları

Depolama gazı içindeki metan oranının yüksek olması nedeniyle, uygun şekilde yönetilmesi ve mümkünse kullanılması her zaman önemli olmuştur [44].

5.2.1.1 Pistonlu gaz motorunda yakıt olarak kullanımı

30 MW’tan daha yüksek üretim kapasitesine sahip tesislerde kullanılabilir. Gaz türbinlerine göre daha verimi yüksek ve kW başına maliyeti düşük olmaktadır. MW başına 2-3 milyon ABD doları ile bu tip tesisler kurulabilir [16].

5.2.1.2 Depo gazının gaz türbinlerinde yakıt olarak kullanımı

Pistonlu gaz motoruna göre düşük enerji dönüşüm verimi olmakla beraber yüksek yatırım maliyeti oluşturmaktadır. Genellikle 1 ila 10 MW elektrik çıkış aralığına sahip ünitelere sahip olmakla eklenebilir ünitelerle esnek çalışma da sağlanabilir. Depo gazından elektrik elde etmek için tercih edilen bir sistem değildir [16].

5.2.1.3 Depo gazının buhar türbinlerinde yakıt olarak kullanımı

10 MW'lık kapasiteye sahip tesislerde uygulanabilir. Buhar türbin sistemleri içten yanmalı motorlardan veya gaz türbinlerinden daha yüksek oranda kW başına maliyete sahip olduğundan, bu sistem en az kullanılan elektrik üretme yöntemidir [16].

5.2.1.4 Kojenerasyon

Kojenerasyon, genel olarak tek çeşit yakıt kullanılarak ısı ve elektrik enerjisinin birlikte üretildiği ve atık ısıdan yeniden yararlanmayı hedefleyen sistemlere verilen genel isimdir. Kojenerasyon çok önemli bir enerji tasarruf yöntemidir. Depo gazı kullanan kojenerasyon tesisleri yapmak da mümkündür. Küçük ve orta ölçekli sahalarda gaz motoru kullanılarak, büyük sahalarda gaz türbini kullanılarak depo gazından ısı ve elektrik üretilmektedir. Dünyada yaygın olarak kullanılan enerji üretim uygulamalardan biridir [6].

5.2.1.5 Yakıt hücresi

Depolama gazının başka bir kullanım şekli de yakıt hücreleridir. Yakıt hücresi içinde, depolama gazı hücreye devamlı olarak verilir. Oksijen, oksijenin geçişine izin veren ama elektronlara vermeyen, bir elektrolit üzerinden katottan geçer ve anotta hidrojen ve karbonla birleşir, su ve CO₂'ye dönüşür. Yakıt hücresinin %40–50 elektrik dönüşüm verimi, düşük hava emisyonu, düşük iş gücü ve bakım gereksinimi ve düşük ses gibi birçok avantaj içermektedir. İlk yatırım maliyetinin yüksek olması ise bir dezavantaj olarak ortaya çıkmaktadır [7].

5.2.2 Direkt Isıtma Uygulamaları

Depolama gazı, ısıtma amacıyla bazı gaz yakıtlarına ihtiyaç duyan herhangi bir işlemde doğrudan kullanılabilir. Örneğin, depo gazı yakındaki bir sanayiye ticari olarak dağıtılabilir. Endüstriyel bir işlem için buhar veya bir bina için ısı sağlamak amacıyla bir kazan içinde yakılabilir [44].

5.2.3 Boru Hattı Kalitesinde Gaz Saflaştırma

Depolama sahalarında oluşan gaz doğalgaz kalitesine yükseltilecek gaz dağıtım şebekesine enjekte edilebilmektedir. Bu kullanım bir elektrik jeneratörüne olan ihtiyacı ortadan kaldırırken, bir gaz saflaştırma tesisi için yatırım gereksinimini ortaya çıkarmaktadır [7].

5.2.3.1 Depo gazının doğalgaz şebekesinde kullanılması

Depolama gazı doğalgaz olarak kullanılmadan önce, içeriğinde bulunan partiküllerin, sıvıların, CO₂'in ve H₂S gibi bazı iz bileşenlerin arıtılması gerekmektedir. Arıtma işlemindeki en önemli adım CO₂ giderimidir. Genel arıtma işlemleri, kimyasal absorpsiyon, basınçlı adsorpsiyon membran ayırıcıları içermektedir. Kimyasal absorpsiyon işlemi CO₂ 'nin fiziksel veya kimyasal absorpsiyonuna bağlıdır ve işlem yaklaşık %95 kalitede CH₄ oluşturmaktadır. Basınçlı adsorpsiyon ile %98 CH₄ oluşmaktadır. Membran ayırma ise en ucuz ve işletimi en basit yöntemdir. Arıtma sonrasında %75–80 CH₄ oluşmaktadır [7].

5.2.3.2 Depo gazının taşıt yakıtı olarak kullanımı

Gazların sıkıştırılıp daha sonra sıkıştırıcı makineler, atık toplama araçları, otobüsler veya normal arabalar gibi araçlarda kullanıldığı birkaç depo sahası mevcuttur. Araçlar yakıt olarak kullanılacak doğalgazın kalitesi, başlık 5.2.3.1'de ifade edilen arıtma yöntemleri ile elde edilmektedir [7].

BÖLÜM 6

MATERYAL ve METOT

6.1 PROJE BÖLGESİ TANITIMI

Çalışmanın yapıldığı ve deponi sahasının bulunduğu bölge olan Zonguldak ilinin coğrafyası, nüfusu ve iklimi hakkında bilgilere yer verilmiştir.

6.1.1 Coğrafi Konum

Zonguldak, Türkiye'nin kuzeyinde bulunan Karadeniz Bölgesi'nin Batı Karadeniz bölümünde yer alan, Karadeniz'e batı ve kuzeyden sınırı olan bir ildir. Yaklaşık 3.310 km²lik yüzölçümüyle Türkiye yüzölçümünü binde altısını oluşturmaktadır. Şekil 6.1'de görüldüğü üzere Karadeniz kıyılarından başlayan ilin, kuzeyden Karadeniz'e, kuzeydoğudan Bartın'a, doğudan Karabük'e, güneyden Bolu'ya, batıda Düzce'ye kara sınırı vardır. Zonguldak Mahalli idare anlamda Merkez İlçe, Alaplı, Çaycuma, Devrek, Gökçebey ve Kdz.Ereğli, Kilimli ve Kozlu ilçelerinden oluşmaktadır [56].



Şekil 6.1 Zonguldak ili coğrafi konumu [56].

6.1.2 Topoğrafya

Zonguldak ilinin topoğrafyasına bakacak olursak %56'sı dağlarla, %31'i platolarla ve %13'ü ovalarla kaplıdır. Çok engebeli bir arazi yapısına sahip olup; il alanının Akarsu vadileriyle yer

yer derin bir biçimde parçalanmış olan il toprakları orta yükseklikteki dağlık alanlardan oluşur.

Bol yağışlı bir iklime sahip olan Zonguldak, yerüstü su kaynakları bakımından oldukça zengindir. İilde Filyos Çayı dışında büyük akarsu olmamakla birlikte, çok sayıda akarsu vardır. Bu akarsular, il alanının sık bir vadi ağıyla parçalamıştır [56].

Ağırlıklı yeryüzü şekillerini oluşturan dağlar; kuzey kesimlerinde 1000 metreyi bulmazken, orta kesimlerde 1200 metreyi aşmakta, güneyde ise yer yer 2000 metreye kadar ulaşmaktadır. Dağlar kıyıya koşut üç sıra oluşturduğundan kıyı ile iç kesimler arasında ulaşım güçleşir. Kıyıya yakın yükseltelerin oluşturduğu dağ sırasının altında zengin taşkömürü yatakları vardır.

At yaylası Tepesi (710 m), Göldağı (771 m), Kantar Tepe (905 m), Orhan Tepe (920 m), Baba Dağı (1120 m), Soğukoluk Tepesi (1268 m), Kızıl Tepe/Kızıлтаş)1468 m) ve Bacaklı Yayla ilin bilinen yükselteleridir.[56].

Filyos ve Gülüş Çayı; Devrek, Alaplı ırmakları; Üzölmez, Kozlu dereleri yörenin bilinen akarsu kaynaklarıdır. Ayrıca her biri akarsuların denize döküldüğü yer anlamına gelen Küçükağız, Ömerağız, Çatalağız (Çatalağız: Bir coğrafya terimi olup, ırmağın denize kavuştuğu yerde lığların birikmesiyle oluşan delta). İnağız, Değirmenağız, Çavuşağız, Alacaağız, Köseağız, Mevreağız ve İncivezağız gibi ağızlara irili ufaklı pek çok dere akmasına karşın, yaz mevsiminde bu derelerin oluşturduğu kanyonların suyu azalmaktadır [56].

6.1.3 İklim ve Bitki Örtüsü

İl Topraklarının %56'sı ormanlık alan (194.075 ha) olup, bunun %88'i koru, %12'si baltalık orman niteliğindedir. Ülkemiz ormanları içerisinde zengin bitki örtüsü ile doğal arboretum konumunda olan yöre ormanlarında kayın, meşe, gürgen, kestane, çınar, ıhlamur ve kızılağaç başta olmak üzere %70'i geniş yapraklı; karaçam, sarıçam, kızılçam ve sahil çamı olmak üzere %30'u iğne (ibrel) yapraklı ormanlar mevcuttur.

Her mevsimi yağışlı geçen yörenin yükseklerinde iğne yapraklı (köknar, çam), daha aşağıları yayvan yapraklı (kayın, meşe, kestane, karaağaç, ıhlamur, kavak), akarsu kenarları da kavak, söğüt ağaçlarıyla kaplıdır. Bu ana yeşil dokuyu orman gülü, pırnal meşesi, çobanpüskülü,

defne, kocayemiş, kızılılık, kiraz, funda, ayüzümü, kuşburnu, böğürtlen, dağ çileği, eğrelti otu gibi orman altı bitki örtüsü tamamlamaktadır.

Çizelge 6.1 Zonguldak ili meteorolojik verileri [60].

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ortalama Sıcaklık (°C)	6,1	6,1	7,4	11,2	15,4	19,6	21,9	21,9	18,6	15	11,6	8,3	13,6
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	9,1	9,4	10,8	14,8	18,8	22,9	25	25,3	22,3	18,6	15,1	11,5	17
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	3,4	3,4	4,5	7,9	12	15,8	17,9	18,1	15,3	12,1	8,8	5,6	10,4
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2,2	2,7	3,8	5,3	6,8	9,4	10,1	9,4	7,4	5	3,3	2,3	67,7
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	17,9	15,6	15	12,1	10,7	8,6	6,6	6,9	8,4	12,3	13,7	17,4	145,2
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	138,2	97,4	97,1	64,5	53,4	71,7	67,7	84,6	103,5	146,5	142,3	151,2	1218,1

Zonguldak yöresi endemik bitki varlığı açısından da oldukça zengin bir potansiyele sahiptir. Ana toprağı Zonguldak olan bu bitkilerin bir bölümü yörenin antik adları ile (Phrygia, Paphlagonica, Galaticus, Bihhynicum, Pontica), bir bölümü de mitolojik kaynaklardaki adları ile (Delphinium, Olympica, Heracleum) bilinmektedir.

Zonguldak ili ılıman Karadeniz ikliminin etkisi altındadır. Her mevsimi yağışlı ve ılık olan Zonguldak'ta kurak mevsime rastlanılmamaktadır. En fazla yağış sonbahar ve kış mevsimlerinde görülür. Mevsim verileri Çizelge 6.1'de gösterilmiştir.

İlde mevsimler ve gece-gündüz arasında önemli bir sıcaklık farkı bulunmamaktadır. Denizden iç kesimlere doğru gidildikçe, iklim biraz daha sertleşir [56].

Yıllık ortalama sıcaklıklarda il genelinde önemli bir farklılaşma yoktur. Haziran, Temmuz ve ağustos ayları ilin en fazla güneşli günlerinin yaşandığı aylardır. Yine bu aylar arasında deniz sıcaklığı ortalama 20 °C düzeyindedir.

Yıllık yağış ortalamasının 1218 Kg/m² olduğu Zonguldak'ta, en yağışlı aylar 151 mm ile Aralık ve 138 mm ile Ocak aylarıdır. Yağışlar kıyılardan iç kesimlere doğru gidildikçe hem azalmakta hem de yağmurdan kara dönüşme özelliğı göstermektedir.

İlde hâkim rüzgâr güneydoğı (keşişleme) yönündedir. İkinci derecede etkili rüzgâr ise kuzeybatı (karayel) yönündedir.

Zonguldak'ta en düşük nispi nem oranı %70 olup, ortalama nispi nem oranı % 75'tir [56].

6.1.4 Nüfus

Zonguldak nüfus bilgileri TÜİK sayfasında yer alan yıllara göre il nüfus bilgileri, 2000 yılı ile 2017 yılı arasında ki nüfus Çizelge 6.2'de ve Şekil 6.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.2 Zonguldak ili toplam nüfus bilgisi [60].

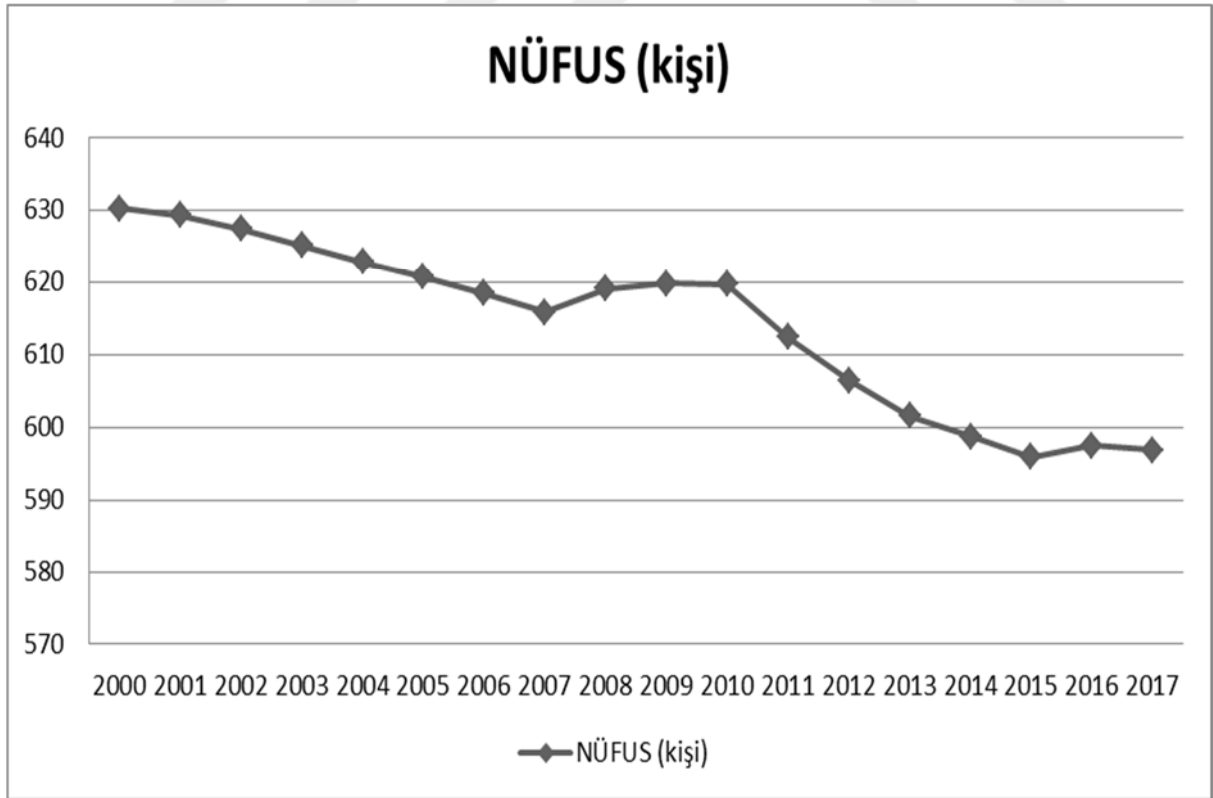
Yıllar	Nüfus (Kişi)
2000	630.323
2001	629.346
2002	627.407
2003	625.114
2004	622.912

Çizelge 6.2 Zonguldak ili toplam nüfus bilgisi [60] (devam ediyor).

2005	620.744
2006	618.500
2007	615.890
2008	619.151
2009	619.812
2010	619.703
2011	612.406
2012	606.527
2013	601.567
2014	598.796
2015	595.907
2016	597.524
2017	596.892

Çizelgeden anlaşılacağı üzere Zonguldak nüfusu yıldan yıla azalan eğilimdedir. 17 yıllık veri aralığında Zonguldak nüfusu 33 bin 431 kişi azalmıştır.

Zonguldak il nüfusu 2017 yılı Türkiye il nüfus sıralamasına göre 35. sırada yer almaktadır.



Şekil 6.2 Zonguldak ili toplam nüfus grafiği [60]

6.2 ZONGULDAK KATI ATIK DÜZENLİ DEPOLAMA TESİSİ

25.04.1996 tarih ve 22621 sayılı Resmî Gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren 96/8035 sayılı Bakanlar Kurulu Kararı ile kurulan, Zonguldak İli Özel İdaresi ve Belediyeleri Çevre Altyapı Temel Hizmetler Birliği'ne ait katı atık bertaraf tesisi Sofular köyü Tombaklar mevkiinde bulunmaktadır.



Şekil 6.3 Zonguldak katı atık düzenli depolama tesisi (anonim).

Depolama tesisi, kısa adı ZONÇEB olan belediyeler birliğine tahsis edilmiştir. ZONÇEB'e üye belediyeler kentsel atıklarını topladıktan sonra il genelinde bulunan 4 adet katı atık aktarma istasyonuna getirerek semi-treyler araçları ile katı atık düzenli depolama sahasına taşınması sağlanmaktadır.



Şekil 6.4 Atık döküm alanı (anonim).

Düzenli depolama sahasına gelen atıklar saha içerisine döküldükten sonra dozer iş makinası yardımı ile serilmesi yapılmaktadır. Atıklar yaklaşık 5–6 metre yükseklik ve belli bir alan oluşturduktan sonra bomag marka iş makinesi ile sıkıştırma işlemi yapılmaktadır. İşletme olumsuz şartlarından dolayı atığın üstü açık bırakılmaktadır.

Çizelge 6.3 Depolanan atık miktarı (anonim).

	Yıl	Miktar	Birim
	Atık Üretimi (Kentsel Atık)	2008	2.738,77
2009		69.114,96	
2010		70.506,75	
2011		117.965,39	
2012		134.288,04	
2013		138.714,71	
2014		141.265,89	
2015		149.018,96	
2016		160.613,88	
2017		164.856,02	
2018		161.448,96	
İşletme	1. Lot		Adet
Ortalama Kentsel Atık	382		Ton/Gün
Kapasite	1.800.000		m ³
Saha Yüzeyi	4		Ha
Max Yükseklik	35-40		m
Toplam Atık	1.318.650		Ton
Tıbbi	8.118		Ton
Kentsel	1.310.532		Ton
Atığın Transfer İstasyonuna Dağılımı	Ereğli	34,46	%
	Çaycuma	13,91	%
	Devrek	8,26	%
	Karadon	6,23	%
	Zonguldak	37,14	%

Zonguldak katı atık düzenli depolama tesisi, 15Ha alan üzerine projelendirilmiş olup Ocak 2006'da nihai çevresel etki süreci (ÇED) tamamlandıktan sonra ilk atık alımına 05.11.2008 tarihinde başlamıştır. Şekil 6.3'te atık sahasının görüntüsü verilmiştir. Bu tarihten itibaren mevcut tesis 1.lot alanına Aralık 2018 yılı sonuna kadar toplam 1.318.650 atık depolanmıştır. Tesis içerisinde faaliyet gösteren tıbbi atık sterilizasyon tesisinde steril edilen atıklarda Şekil

6.4'te gösterilen 1. atık alanı (lot) içerisinde depolanmaktadır. Çizelge 6.3'te yıllık olarak depolanan atık miktarları ve tesisin sayısal verilerine yer verilmiştir.

6.3 DÜZENLİ DEPOLAMA SAHASI DEPO GAZINDAN ENERJİ ÜRETİMİ

Düzenli depolama sahasında bertaraf edilen katı atıklar belli bir süre sonunda ayrışmasından kaynaklanan metan ve diğer gazları oluşturmaktadır. Enerji firması tarafından bu gazlar saha içerisine yatay olarak yerleştirilen delikli HDPE boruları ile toplama işlemi yapılmaktadır. Saha içerisine bu yapılar yüzeyden yaklaşık 6-8 metre derinlikte %3-15 eğim ile 40-80 metre uzunlukta yerleştirilmektedir. Her bir boru arasında da 8-10 metre mesafe bulunmaktadır. Gaz toplama sistemi Şekil 6.5'de gösterilmiştir.



Şekil 6.5 HDPE boru ile gaz toplama sistemi (anonim).

Saha içerisine yerleştirilen gaz toplama boruları saha kenarına yerleştirilen kollektöre (birleşme noktası) bağlanarak ana hatta bağlanması sağlanmaktadır. Her bir kollektörde 8-10 gaz toplama yapısı birleştirmektedir. İlgili toplayıcı Şekil 6.6'da gösterilmiştir.



Şekil 6.6 Gaz toplama kollektörü (anonim).

Birleşme noktalarında her borudan gelen gazın % olarak ölçümü yapılabilmektedir. Bu veriler günlük haftalık veya aylık olarak işletmeci tarafından kayıt altına alınmaktadır. Bu aşamadan sonra gaz saha çevresini dolaşan ana toplama borusu ile enerji üretim tesisine iletilmesi sağlanmaktadır. Enerji üretim tesisinin genel görünümü Şekil 6.7’de gösterilmiştir.



Şekil 6.7 Enerji tesisi genel görünümü (anonim).

Saha içerisinde ana toplama hattına bağlanan gaz boruları ilk önce blower sistemi ile gazın saha içerisinde vakumlanması sağlanmaktadır. Her motor için bir blower sistemi vardır. Buradaki amaç motor sistemine gerekli gaz debisinin ayarlanmasıdır. Blower 130 mbar’a ayarlanarak sistemin otomatik çalışması sağlanır. Gaz hattında ki artma veya azalmaya göre sistem kendi basıncını otomatik ayarlar. Blower sistemi Şekil 6.8’de gösterilmiştir.



Şekil 6.8 Blower sisteminin genel görünümü (anonim).



Şekil 6.9 Gaz arıtma sistemi genel görünümü (anonim).

Blowerden geçen depo gazı su tankı sistemine gelerek yoğunlaşma işlemine tabi tutulmaktadır. Depo gazı içerisinde bulunan nem yoğunlaşarak sistemden dışarı atılır. Ayrıca tankın içinde tel filtre mevcut olup depo gazı ile gelen partiküllerin ayrıştırılması sağlanır. Daha sonra gaz granül tankına gelen gazın içinde bulunan H_2S adsorbe edilerek sistemden uzaklaştırılır. Arıtma sistemi Şekil 6.9’da gösterilmiştir.



Şekil 6.10 Gaz motoru genel görünümü (anonim).

Tesiste, 2 adet 1,2 MW kapasiteli Guaskor marka hgm 560 tip gaz motor, gaz toplama, yıkama ve soğutma ünitesi ile jeneratör sistemi kullanılmaktadır. Tesis Ağustos 2015

tarihinden günümüze elektrik üretimini sürdürmektedir. Tesis 2 motor ile saate 2018 yılı sonu itibariyle ortalama 1,3 MW/sa elektrik enerjisi üretmektedir.

Üretim yapan motorların teknik özellikleri Çizelge 6.4'te verilmiştir. Gaz motorları 16 silindirli olup dizel motor prensibi ile çalışmaktadır. Tesiste yakma bacası bulunmamaktadır. Tesiste oluşan arıza veya bakım esnasında gaz atmosfere salınmaktadır. Gaz motoru Şekil 6.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 6.4 Gaz motoru verisi (anonim).

Motor Gücü	1200	kW
Ortalama Etkin Basınç	17,5	Bar
Egzoz Sıcaklığı	530	Santigrat
Yanma Debisi	2078	Kg/sa
Yanma Hava Sıcaklığı	20 / 25	Santigrat
Havalandırma Debisi	29330	Kg/sa
Elektriksel Güç	1200	kW
Elektriksel Verim	38,4	%
Isıl Verim	52	%
Toplam Verim	90,4	%
Uzunluk	5648	mm
Genişlik	1848	mm
Yükseklik	2500	mm
Jeneratör Ağırlığı	11735	Kg

6.4 DEPO GAZI MODELLERİ

Katı atık bertaraf tesislerinde oluşabilecek biyogaz veya metan oluşumu miktarını belirlemede matematiksel modeller kullanılır. Bu modeller depolanan atığın karakteristiğine (organik madde veya karbon içeriği), biyolojik olarak bozunmaya ve bozunabilirlik kinetiğine dayanmaktadır. Oluşan gazların miktarını belirlemede pek çok modeller kullanılmaktadır. Bu modellerin kinetik eşitlikleri temelde iki kısımdan oluşur [37]:

- Toplam depo gazı/metan potansiyeli (depolama alanı ömrü boyunca oluşabilecek nihai gaz miktarı)

- Bu potansiyelin zaman içinde nasıl açığa çıkacağını tanımlayan $f(t)$ fonksiyonudur. ($f(t)$ fonksiyonu, sıfıncı derece ya da pek çok modelde olduğu gibi birinci derece ayrışma reaksiyonudur).

Kullanılan matematiksel modellerde bozunma hızı 2 farklı fazda gerçekleşmektedir. Atık kütlelerinin tek kademede eşit olarak bozunduğunu kabul eden modeller tek fazlı olarak adlandırılır. Diğer modellerde ise atık malzemenin yavaş, orta ve hızlı olarak 3 kademede bozunduğunu kabul etmektedir. Bu modellerde çok fazlı olarak adlandırılır.

Bu çalışmada, Zonguldak Düzenli Depolama Sahası'ndaki potansiyel gaz miktarının tahmini için Tabasaran & Rettenberger ve LandGEM modelleri kullanılmıştır [37].

6.4.1 Tabasaran–Rettenberger Modeli

Bu model, belli bir zaman diliminde oluşan Depo gazı miktarını tanımlamaktadır. Karbon parçalanmasını 1. derece parçalanma reaksiyonuna benzetim yoluyla ifade etmektedir. Modelde kullanılan eşitlik çamurun anaerobik çürümesi için geliştirilen ilişkidir. Çamur çürütmede hücre sentezi için kullanılan substrat kısmı sıcaklıkla değiştiğinden model eşitliği sıcaklık için bir düzeltme içerir. Model parametreleri Çizelge 6.9'da verilmiştir [37].

$$G_t = 1.868 \cdot C_{org} \cdot (0.014 \cdot T + 0.28) \cdot (1 - 10^{-k \cdot t}) \cdot M_t \quad (6.1)$$

T: Sıcaklık (°C)

C_{org} : Atıktaki organik karbon (kg OC/ton atık)

k: Bozunma hız sabiti (y^{-1})

M_t : t yılda depolanan atık miktarı

G_t : t yıl için toplam depo gazı miktarı (m^3) [37]

Organik Karbon İçeriği (C_{org})

Matematiksel modellerde gösterildiği gibi TNO, Tabasaran ve Rettenberger ve Multi-phase Modelleri, metan potansiyeli tahmini için atık akışında organik karbon içeriğini (C_{org}) kullanır, LandGEM modelinde ise Çizelge 6.5'te belirtilen metan üretim kapasitesine (L_0)

dayalı olarak metan/depo gazı (LFG) potansiyelini hesaplar. Bu parametreler stokiyometrik dönüşüm uygulanarak birbirlerine dönüştürülebilir. Scharff & Jacobs tarafından belirtildiği gibi, 1 kg bozulmuş organik karbon (OK) 0.933 m³ CH₄ üretir. Böylece L₀ teorik olarak L₀ = 0.933·C_{org} olarak ifade edilebilir [38]. Modeller için hesaplanan C_{org} değeri Çizelge 6.9'da gösterilmiştir.

6.4.2 TNO modeli

1994 yılında TNO (Hollanda Araştırma Enstitüsü) tarafından yapılan çalışmada, model girdilerinin daha büyük bir atık depolama grubundaki gerçek atık gaz üretimi verilerine dayandığı ilk modeldir. Model, atıklardaki bozulmuş organik karbona dayalı depolama gazı üretimini hesaplar. Atıklardaki karbonun azalmasının zaman içindeki etkisi 1. dereceden bir modelde açıklanmaktadır. Belli bir atık miktarından depo gazı oluşumunun zamanla katlanarak azaldığı varsayılmaktadır. Model parametreleri Çizelge 6.9'da verilmiştir [38].

$$G_t = d \cdot 1.87 \cdot M \cdot C_{org} \cdot k \cdot e^{-k \cdot t} \quad (6.2)$$

M: Atık miktarı (ton)

C_{org}: Atıktaki organik karbon (kg OK/ton atık)

k: Bozunma hız sabiti (yıl⁻¹)

d: üretim faktörü (-)

G_t: t yıl içinde oluşan toplam depo gazı (m³) [38]

Organik karbon içerikleri, kirlenmiş toprak ve inşaat ve yıkım atıkları için 11 kg OK/ton, sokak temizleme atıkları ve atık çamur ve kompost için 90 kg OK/ton. Ticari atıklar için 111 kg OK/ton ve öğütülmüş atık, kaba evsel atık ve evsel atık için 130 kg OK/ton olarak belirtilmiştir [38].

6.4.3 LandGEM Modeli

LandGEM programı, ABD'de bulunan atık depolama alanlarının çoğunu hava kalitesi izleme programına dahil ederek sahaların yerel emisyon değerlerini hesaplamak için ABD EPA uzmanları tarafından geliştirilmiştir [39].

LandGEM birinci dereceden bir ayrışma reaksiyonuna dayanmaktadır. Belediye katı atıklarının ayrışmasından kaynaklanan emisyonları ölçen denklemdir [41].

Modelde depolama sahası emisyonlar için CAA (Clean Air Act) yönetmeliklerinin uygulanabilirliği esasına dayanmaktadır. Yeni depolama sahaları için NSPS (New Source Performance Standrats) ve varolan depolama sahaları içinde emisyon değerleri esas alınmıştır. Modeldeki CAA değerleri hesaplanabilen maksimum emisyon miktarını ortaya koyacaktır. Sahaya ait bilgilerin yeterli olmadığı hallerde modelde başka bir model değerleri (AP-42) kullanılmaktadır. Modeldeki AP-42 değerleri Amerika Birleşik Devlet'leri Çevre Koruma Örgütünün Hava Kirletici Emisyon Faktörlerinin Derlenmesi yayınından alınan değerlere dayanmaktadır [45].

Modelde depo gazının yarı yarıya metan ve karbondioksitten oluştuğu kabul edilmiş, bununla birlikte çok düşük konsantrasyonlardaki diğer kirleticiler de göz önünde bulundurulmuştur. Herhangi bir katı atık düzenli depo sahasından oluşabilecek emisyonların tahmin edilebilmesi için şu bilgiler kullanılmaktadır.

- Depo sahasının dizayn kapasitesi (depo sahasında bertaraf edilebilecek toplam katı atık miktarı),
- Depo sahasında bertaraf edilmiş atık miktarı veya sahanın ortalama yıllık atık bertaraf kapasitesi
- Metan oluşum hızı (k),
- Potansiyel metan üretim kapasitesi (L₀),
- Depo sahasının kaç yıldır kullanıldığı,
- Evsel katı atıklarla birlikte tehlikeli atıkların da sahada depolanıp depolanmadığı [6]

Model denklemi aşağıda gösterilen formül üzerinden çalışmaktadır. Model parametreleri Çizelge 6.9'da verilmiştir.

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0.1}^1 k \cdot lo \left(\frac{Mi}{10} \right) e^{-k \cdot t \cdot ji} \quad (6.3)$$

Q_{CH_4} = hesaplama yılı içindeki yıllık metan üretimi (m³/yıl)

i = 1 yıllık zaman artışı

n = (hesaplama yılı) - (atık kabulünün ilk yılı)

$j = 0,1$ -yıllık zaman artışı

k = metan üretim hızı (yıl^{-1})

L_0 = potansiyel metan üretim kapasitesi (m^3/Mg)

M_i = bu yılda kabul edilen atık kütlesi (Mg)

t_{ij} = it. yılda kabul edilen M_i atık kütlesinin j bölümünün yaşı

Potansiyel Metan Üretim Kapasitesi (L_0) ve LFG Üretim Hızı (k):

Metan üretme potansiyeli L_0 , bir atık kütesinden (ton başına metan) toplam potansiyel metan verimini temsil eder. L_0 değeri, Çizelge 6.5'te gösterildiği gibi atıkların bileşimine ve özellikle mevcut organik maddenin fraksiyonuna bağlıdır. Atıkta bulunan organik maddenin payı L_0 ve metan üretme potansiyelini belirler [40].

Çizelge 6.5 Atık kategorisine karşılık L_0 değerleri [40].

Sıra No	Atık Kategorisi	L_0 (m^3/ton)
1	Nispeten İnert	20
2	Orta Derecede Ayrışabilir	120
3	Ayrışabilir	160

Her bir atık kategorisinin metan üretimi için farklı bir potansiyeli vardır. Çizelge 6.9'da tanımlandığı şekilde her bir atık türüne göre farklı L_0 değerleri mevcuttur [40].

Metan üretim hızı k , birinci dereceden biyobozunma oranını temsil eder. Bu sabit nem içeriği, besinlerin bulunabilirliği, pH ve sıcaklıktan etkilenir [40].

Çizelge 6.6 Bölgesel yağış miktarına karşılık k değerleri [40].

Yıllık Yağış	Metan Üretim Oranı (k)		
	Nispeten İnert	Orta Derecede Ayrışabilir	Ayrışabilir
Yağış < 250 mm	0,01	0,01	0,03
250 < yağış < 500 mm	0,01	0,02	0,05
500 < yağış < 1,000 mm	0,02	0,04	0,09
1,000 < yağış < 2,000 mm	0,02	0,06	0,11
2,000 < yağış < 3,000 mm	0,03	0,07	0,12
Yağış > 3,000 mm	0,03	0,08	0,13

Çizelge 6.6’da ifade edilen k değerini belirlemek için, depolama sahasına en yakın noktada bulunan meteoroloji istasyonunun yıllık ortalama yağış verileri kullanılmalıdır [40].

Çizelge 6.7 Zonguldak ili depolama sahası için k değerleri aralığı [40].

	Nispi İnerit	Orta Derecede Ayrışabilir	Ayrışabilir
Üretim Oranı Sabiti (yıl ⁻¹)	0,02	0,06	0,11

Zonguldak ili için yıllık ortalama yağış Çizelge 6.1’de gösterildiği gibi 1218,1 mm olarak ölçülmüştür. Bu ölçüm neticesinde metan üretim değeri olan k Çizelge 6.7’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.8 Zonguldak ili depolama sahası için L_0 değeri [40].

Atık Türü	(%) İçerik	Atık kategorisi	L_0 (m ³ /ton)
Mutfak Atığı	36,05	3	57,68
Bahçe Atığı	2,92	3	4,672
Kâğıt	1,52	2	1,824
Karton	6,16	2	7,392
Diğer Yanıcı	15,16	2	18,192
Plastik	19,63	1	3,926
Cam	3,59	1	0,718
Metal	1,96	1	0,392
Tehlikeli Atık	0,33	1	0,066
Diğer Yanamayan	1,74	1	0,348
Diğerleri	1,48	1	0,296
Kül Toprak	9,32	1	1,864
WEEE	0,17	1	0,034
Toplam			97,404

Zonguldak Katı Atık Depolama Sahası’nda yapılan atık karakterizasyonuna bağlı olarak potansiyel metan oluşum kapasitesi hesaplanmıştır. Her atık sınıfı için tek tek metan potansiyeli ve toplam metan potansiyeli hesabı detayları Çizelge 6.8’de verilmiştir. Buna göre, Zonguldak Düzenli Depolama Sahası için potansiyel metan oluşum kapasitesi 97,4 m³ CH₄/ton atık olarak belirlenmiştir.

Çizelge 6.9 Model parametreleri.

MODEL	k	Lo	Corg	T
LandGEM CAA	0,05	170	-	-
LandGEM AP 42	0,04	100	-	-
LandGEM Saha Verisi Sabiti	0,08	97	-	-
Tab.&Ret.	0,034	-	170	35
Tab.&Ret. Saha Verisi Sabiti	0,08		104,4	40

Çizelge 6.9'da çalışmada kullanılan matematiksel modellerin sabitleri k , Lo, Corg ve T sabitleri mevcuttur. Ayrıca çalışma sahasında elde edilen karakterizasyona karşılık Lo, yağış miktarına karşılık k , ve atık alanın sıcaklık değeri saha verisi sabiti modeli olarak ifade edilmiştir.



BÖLÜM 7

MODEL DEĞERLENDİRMESİ

Çalışmanın bu kısmında Zonguldak katı atık düzenli depolama tesisinde ki mevcut gaz hesabı yapılmıştır. İşletme dönemi ve sonraki yıllarda oluşabilecek depo gazı miktarı hesaplaması matematiksel modeller kullanılarak yapılmıştır. İşletme döneminde elektrik üreten tesisin mevcut üretim miktarıyla modellerden elde edilen gaz miktarına göre oluşabilecek enerji miktarı ile karşılaştırılarak tesisin verimliliği incelenmiş ve hesaplamalarda kullanılacak en uygun matematiksel model belirlenmiştir. Uygun model ile belirlenen gaz miktarına karşılık 2029 yılına kadar olan süreçte tesisin CH₄ ve CO₂'den kaynaklı sera gazı etkisi hesaplanmıştır.

2019 yılından sonra kullanılmak için hazırlanan 2. Lot alanı içinde model çalışması yapılarak gaz ve elektrik enerjisi potansiyeli belirlenmiştir.

7.1 MEVCUT TESİS DEĞERLENDİRMESİ

Bölüm 6.3'te Düzenli Depolama Sahası Depo Gazından Enerji Üretimi konu başlığında anlatılan tesise gelen gaz miktarına karşılık tesiste üretilen elektrik enerjisi miktarı Çizelge 7.1, 7.2, 7.3 ve 7.4'te sunulmuştur.

Çizelge 7.1 2015 yılı üretimi (Arel Enerji).

Üretim Dönemi 2015	Üretim Miktarı (MW)
Ekim	944
Kasım	933
Aralık	885

Tesis işletme dönemine 2015 yılının ekim ayında başlamıştır. 2015 yılı için üretilen elektrik enerjisi toplamda 2762 MW gerçekleşmiştir. Ortalama 1,28 MW/saat olarak üretimi vardır.

Çizelge 7.2 2016 yılı üretimi (Arel Enerji).

Üretim Dönemi 2016	Üretim Miktarı (MW)
Ocak	1049
Şubat	982
Mart	889
Nisan	900
Mayıs	929
Haziran	1055
Temmuz	864
Ağustos	886
Eylül	860
Ekim	727
Kasım	670
Aralık	1146

2016 yılı için üretilen elektrik enerjisi toplamda 10957 MW gerçekleşmiştir. Ortalama 1,27 MW/saat olarak üretimi vardır.

Çizelge 7.3 2017 yılı üretimi (Arel Enerji).

Üretim Dönemi 2017	Üretim Miktarı (MW)
Ocak	1104
Şubat	823
Mart	772
Nisan	954
Mayıs	1044
Haziran	931
Temmuz	873
Ağustos	1013
Eylül	1155
Ekim	1153
Kasım	944
Aralık	995

2017 yılı için üretilen elektrik ortalama 1,36 MW/saat ve toplamda 11761 MW olarak gerçekleşmiştir.

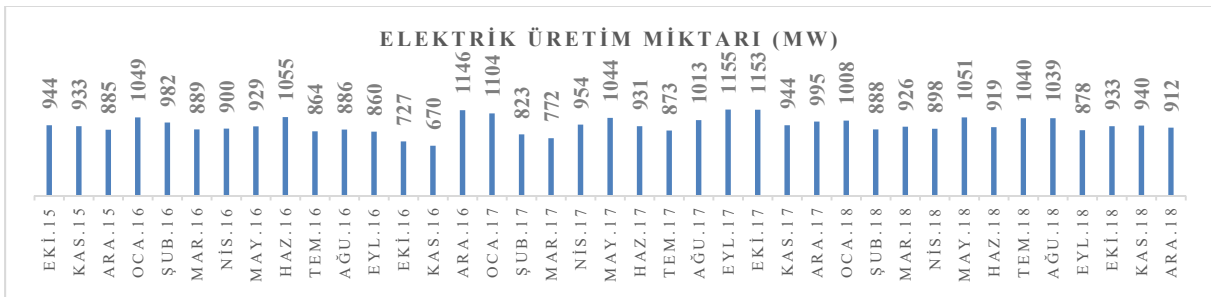
Çizelge 7.4 2018 yılı üretimi (Arel Enerji).

Üretim Dönemi 2018	Üretim Miktarı (MW)
Ocak	1008
Şubat	888
Mart	926
Nisan	898
Mayıs	1051
Haziran	919
Temmuz	1040
Ağustos	1039
Eylül	878
Ekim	933
Kasım	940
Aralık	912

2018 yılı için üretilen elektrik enerjisi 11432 MW olarak gerçekleşmiştir. Elektrik üretimine geçtiği tarihten itibaren 2018 yılı sonuna kadar 36912 MW elektrik üretmiştir. Ortalama 1.32 MW/saat olarak üretimi gerçekleşmiştir. 2015 yılının son çeyreğinde elektrik üretimine geçen tesiste yıllık ortalama elektrik üretiminin 1,27-1,36 MW/saat aralığında gerçekleştirildiği görülmektedir.

Tesiste kullanılan ve teknik özellikleri Çizelge 6.5'te verilen gaz motorunun çalışma verimi %90,4'tür. Bu verimin %38,4 elektrik enerjisine %52'side ısı enerjisi çevrilmektedir.

Teknik hesap ile tesiste Ekim 2015 Aralık 2018 tarihleri arasında %38,4 verime karşılık 36912 MW elektrik enerjisi üretilmiştir. %52'ye karşılık ısı enerjisi miktarı 59213 MW hesaplanmıştır. Isıl enerji değerlendirilmesi yapılmadığı için egzozdan atmosfere salınmaktadır. İşletme döneminde oluşan üretim miktarları ayrıca Şekil 7.1'de gösterilmiştir. En düşük üretimin 2016 Aralık, en yüksek üretimin 2017 Ekim ayında olduğu görülmektedir.



Şekil 7.1 İşletme dönemi elektrik enerjisi üretimi (Arel Enerji).

7.2 MODEL SONUÇLARI

Bu bölümde modellere özgü değerlerle ve sahadan elde edilen veriler ile yapılan hesaplamaların sonuçlarına yer verilmiştir.

7.2.1 EPA Landgem Modeli Sonuçları ile Elektrik Enerji Potansiyelinin Hesaplanması

LandGEM modeli içinde hazır olarak verilen CAA ve AP-42 modellerine ait L_0 ve k değerleri ile “saha verisi sabiti” olarak adlandırılan çalışma bölgesinin karakterizasyonuna bağlı elde edilen L_0 ve yağış miktarına bağlı bulunan k sabitleri ile hesaplamalar yapılmıştır.

Hesaplama kullanılan modellere ait sabitler Çizelge 7.5’te verilmiştir.

Çizelge 7.5 LandGEM model sabitleri.

Sabitler	CAA	AP- 42	Saha Verisi Sabiti
CO ₂	50%	50%	50%
CH ₄	50%	50%	50%
L_0	170	100	97
k	0,05	0,04	0,08

USER INPUTS Landfill Name or Identifier: Zonguldak Katı Atık Düzenli Depolama Tesisi

1: PROVIDE LANDFILL CHARACTERISTICS

Clear ALL Non-Parameter Inputs/Selections

Landfill Open Year: 2008
Landfill Closure Year: 2019
Have Model Calculate Closure Year? Yes No
Waste Design Capacity: 1.400.000 megagrams

4: ENTER WASTE ACCEPTANCE RATES

Input Units: Mg/year

Year	Input Units (Mg/year)	Calculated Units (short tons/year)
2008	2.738,77	3.013
2009	69.114,96	76.026
2010	70.506,75	77.557
2011	117.965,39	129.762
2012	134.288,04	147.717
2013	138.714,71	152.586
2014	141.265,89	155.392
2015	149.018,96	163.921
2016	160.613,88	176.675
2017	164.856,02	181.342
2018	161.448,96	177.594
2019		
2020		
2021		

2: DETERMINE MODEL PARAMETERS

Restore Default Model Parameters

Methane Generation Rate, k (year^{-1}) User-specified k value should be based on site-specific data and determined by EPA Method 2E.
User-specified value: 0,080

Potential Methane Generation Capacity, L_0 (m^3/Mg) User-specified L_0 value should be based on site-specific data and determined by waste type and composition.
User-specified value: 97

NMOC Concentration (ppmv as hexane)
CAA - 4,000

Methane Content (% by volume)
User-specified value: 48

Şekil 7.2 LandGEM veri giriş sayfası.

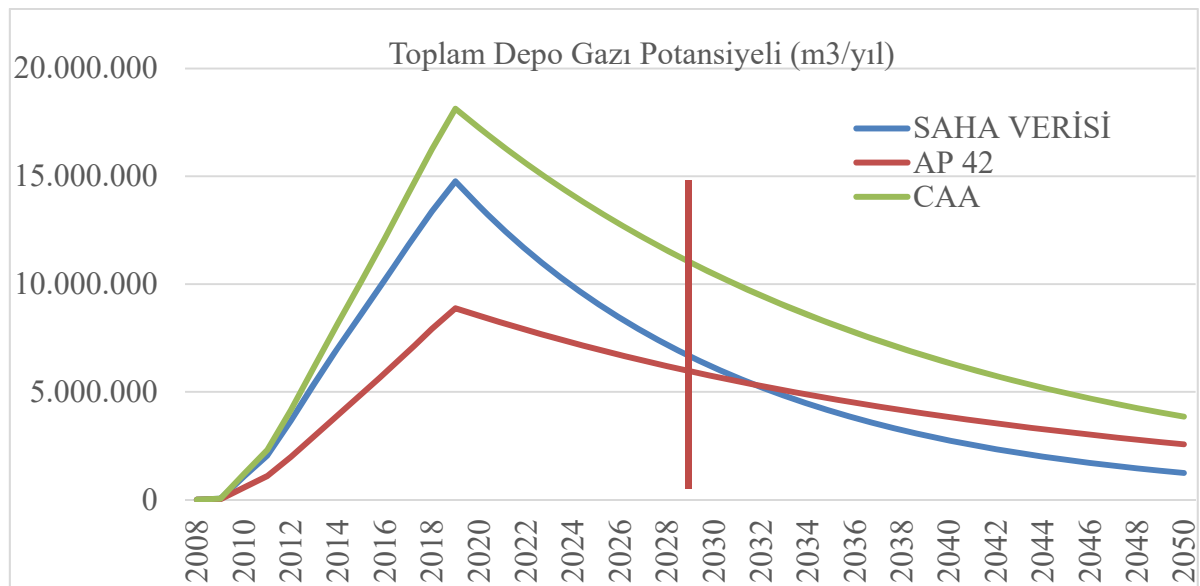
LandGEM veri giriş sayfası örneği Şekil 7.2’de gösterildiği gibi olup, veri giriş yapılan 1. kısımda saha açılış yılı 2008, kapanış yılı 2019, kapatma yılı bilinmiyorsa evet biliniyorsa hayır seçeneği seçilir. Sahanın kapasitesi de 1.400.000 megagram (ton) seçilmiştir. 2. Kısımda k , L_0 ile metan yüzdesi seçilmiştir. Seçilen sabitler Çizelge 7.5’te verilmiştir. 3. Kısımda hesaplanması istenen gazlar mevcuttur. 4. Kısımda işletme yılı atık miktarları megagram olarak girilmiştir.

Bu veri girişleri yapıldıktan sonra model hesaplamasını otomatik olarak 200 yıllık dönem için gerçekleştirmektedir. Üç farklı model parametresi için hesaplanan depo gazı, metan miktarı ve depo gazı miktarının toplam atığa bölünerek elde edilen birim gaz oluşumu Çizelge 7.6’da verilmiştir.

Çizelge 7.6 LandGEM model sonuçları karşılaştırılması.

	Birim	CAA	AP-42	Saha Verisi Sabiti
Toplam atık	ton	1.310.512	1.310.512	1.310.512
Toplam metan oluşumu	m ³	223.068.357	130.690.747	127.627.879
Depo gazı oluşumu	m ³	446.136.715	261.381.493	255.255.758
Birim gaz oluşumu	m ³ gaz/ton atık	340	199	195

Literatürde, 1 ton evsel atıktan çıkabilecek toplam depo gazı miktarı 120–300 m³/ton aralığında verilmektedir. [6]



Şekil 7.3 LandGEM modeli toplam depo gazı üretim potansiyeli.

Şekil 7.3'te Çizelge 7.5'te ifade edilen sabitler ile çalıştırılan LandGEM programının 2050 yılına kadar olan gaz potansiyeli ifade edilmektedir. Bu ifadede depolama sahası için verimli dönem olarak 2029 yılı seçilmiş ve Şekil 7.3'de kırmızı dik çizgi ile gösterilmiştir.

Model sonuçları değerlendirildiğinde CAA modeli ile 340 m³/ton, AP-42 modeli ile 199 m³/ton ve saha verisi sabiti ile 195 m³/ton depo gazı olarak hesaplanmıştır. Bu model çalışmasında saha verisi sabiti ile AP-42 modeli literatür değer aralığında olduğundan doğru sonuç verdiği kabul edilmiştir. Model çalışmalarının özeti Çizelge 7.7'de verilmiştir.

Çizelge 7.7 LandGEM model özeti.

Yıl	CAA Sabiti		AP- 42 Sabiti		Saha Verisi Sabiti	
	Toplam Depo Gazı	Metan	Toplam Depo Gazı	Metan	Depo Gazı	Metan
	(m ³ /yıl)					
2008	0	0	0	0	0	0
2009	45.528	22.764	21.521	10.760	41.014	20.507
2010	1.192.239	596.119	563.769	281.884	1.072.869	536.434
2011	2.306.161	1.153.080	1.095.692	547.846	2.046.233	1.023.117
2012	4.154.684	2.077.342	1.979.678	989.839	3.655.463	1.827.731
2013	6.184.393	3.092.196	2.957.263	1.478.632	5.385.404	2.692.702
2014	8.188.698	4.094.349	3.931.301	1.965.650	7.048.631	3.524.315
2015	10.137.662	5.068.831	4.887.192	2.443.596	8.622.187	4.311.093
2016	12.120.457	6.060.229	5.866.525	2.933.263	10.190.866	5.095.433
2017	14.199.298	7.099.649	6.898.568	3.449.284	11.812.575	5.906.288
2018	16.247.272	8.123.636	7.923.478	3.961.739	13.373.128	6.686.564
2019	18.138.727	9.069.364	8.881.429	4.440.714	14.762.679	7.381.339
2020	17.254.091	8.627.045	8.533.183	4.266.592	13.627.670	6.813.835
2021	16.412.599	8.206.300	8.198.592	4.099.296	12.579.925	6.289.963
2022	15.612.147	7.806.074	7.877.121	3.938.560	11.612.734	5.806.367
2023	14.850.734	7.425.367	7.568.254	3.784.127	10.719.905	5.359.953
2024	14.126.455	7.063.227	7.271.499	3.635.749	9.895.720	4.947.860
2025	13.437.500	6.718.750	6.986.379	3.493.190	9.134.900	4.567.450
2026	12.782.145	6.391.072	6.712.440	3.356.220	8.432.576	4.216.288
2027	12.158.752	6.079.376	6.449.241	3.224.621	7.784.249	3.892.124
2028	11.565.763	5.782.882	6.196.363	3.098.181	7.185.767	3.592.884
2029	11.001.694	5.500.847	5.953.400	2.976.700	6.633.299	3.316.650
Toplam	232.116.999	116.058.499	116.752.888	58.376.444	175.617.794	87.808.897

Çizelge 7.7'de model sabitleri ile yapılan hesaplamalarda 2029 yılına kadar oluşabilecek toplam depo gazı miktarı ile bu gazın içerisindeki metan gazı miktarının yıllara bağlı değişimi

m³ olarak verilmiştir. Atık kabulüne 2009 yılında başlayan tesisin 2019 yılına kadar artan şekilde depo gazı üreteceği, 2019 yılından itibaren depo gazı üretiminin düşeceği Şekil 7.3 ve Çizelge 7.7’de anlaşılmaktadır.

Depo Gazından Elektrik Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi:

Depo gazının enerji içeriği gaz kalitesine göre değişir. Düşük ve orta kalitede depo gazı için tipik olarak 16-20 MJ/m³tür, ancak etkili ön işleme üretilen yüksek kaliteli depo gazı 30 MJ/m³e kadar olabilir [9].

Ön arıtma işleminden sonra, depo gazı enerji içeriği açısından birkaç teknikte elektrığe dönüştürülebilir. Bu teknikler için dönüşüm verimliliği, gaz türbinleri, buhar türbinleri ve mikro türbinler için %25-%30 ve pistonlu gaz motorları için %28-%40’tır [38].

Biokütle enerji sistemleri için kapasite faktörleri %80 ile %90 arasında değişmektedir [38].

$$BEP = \eta_{gts} \cdot BED \cdot Gt \quad (7.1)$$

BEP: Brüt enerji potansiyeli (kWh)

η_{gts} : Gaz toplama sistemi verimi

BED: Birim enerji değeri (kWh/ m³)

Gt: Depo gazı modeli ile belirlenen gaz hacmi (m³)

$$NEP = \eta_{ed} \cdot BEP / (CF \cdot 8760) \quad (7.2)$$

NEP: Net enerji potansiyeli (kW)

η_{ed} : Enerji dönüşüm verimi

BEP: Brüt enerji potansiyeli (kWh)

CF: Kapasite faktörü

AP-42 ve Saha Verisi Sabiti ile Elektrik Üretim Potansiyeli Hesabı:

- Sahada etkin bir gaz toplama sistemi tam olarak oluşturulmadığı için gaz toplama sistemi verimi olarak %40 olarak kabul edilmiştir.
- Sahada gaz toplama sistemi ile ilgili mevcut sorunlar (bacalarda tıkanma, sızıntı suyu birikmesi vb.) ve gaz kalitesinin düşük olacağı öngörüsü ile depo gazı enerji değeri olarak 17 MJ/m³ kabul edilmiştir.
- Sahada depo gazından elektrik enerjisi üretileceği öngörüsüyle elektrik enerjisi dönüşüm verimi %38 ve kapasite faktörü ise %80 kabul edilmiştir.
- MJ'den kWh birim dönüşüm çarpanı 3,6363 olarak kabul edilmiştir.

CAA, AP-42 ve saha verisi sabitiyle ile bulunan depo gazı miktarı kullanılarak, net enerji potansiyeli hesabı formülü ve yapılan kabullerle elektrik üretim tesisinin 2029 yılına kadar üretebileceği elektrik miktarı MW/saat olarak hesaplanmıştır. 2019 yılına kadar artarak devam eden NEP değerleri 2019 yılından sonra gaz miktarının azalması ile azalışa geçtiği Çizelge 7.8'den anlaşılmaktadır. NEP değerlerine bakılarak tesis verimli işletme döneminin 2029 yılında sona ereceği öngörülmektedir.

Çizelge 7.8 LandGEM model hesabıyla net enerji potansiyelleri.

YIL	Saha Verisi Sabiti			AP-42 Sabiti			CAA Sabiti		
	<i>BEP</i>	<i>NEP</i>	<i>TOPLAM</i>	<i>BEP</i>	<i>NEP</i>	<i>TOPLAM</i>	<i>BEP</i>	<i>NEP</i>	<i>TOPLAM</i>
	MWh	mW	(m3/yıl)	MWh	mW	(m3/yıl)	MWh	mW	(m3/yıl)
2008			0	0		0	0		0
2009	77	0,00	41.014	40	0,00	21.521	85	0,00	45.528
2010	2.006	0,11	1.072.869	1.054	0,06	563.769	2.230	0,12	1.192.239
2011	3.827	0,21	2.046.233	2.049	0,11	1.095.692	4.313	0,23	2.306.161
2012	6.836	0,37	3.655.463	3.702	0,20	1.979.678	7.769	0,42	4.154.684
2013	10.071	0,55	5.385.404	5.530	0,30	2.957.263	11.565	0,63	6.184.393
2014	13.181	0,71	7.048.631	7.352	0,40	3.931.301	15.313	0,83	8.188.698
2015	16.124	0,87	8.622.187	9.139	0,50	4.887.192	18.958	1,03	10.137.662
2016	19.057	1,03	10.190.866	10.971	0,59	5.866.525	22.666	1,23	12.120.457
2017	22.090	1,20	11.812.575	12.901	0,70	6.898.568	26.553	1,44	14.199.298
2018	25.008	1,36	13.373.128	14.817	0,80	7.923.478	30.383	1,65	16.247.272
2019	27.607	1,50	14.762.679	16.609	0,90	8.881.429	33.920	1,84	18.138.727
2020	25.484	1,38	13.627.670	15.957	0,87	8.533.183	32.266	1,75	17.254.091
2021	23.525	1,28	12.579.925	15.332	0,83	8.198.592	30.692	1,66	16.412.599
2022	21.716	1,18	11.612.734	14.730	0,80	7.877.121	29.195	1,58	15.612.147
2023	20.047	1,09	10.719.905	14.153	0,77	7.568.254	27.771	1,51	14.850.734

Çizelge 7.8 LandGEM model hesabıyla net enerji potansiyelleri (devam ediyor).

2024	18.505	1,00	9.895.720	13.598	0,74	7.271.499	26.417	1,43	14.126.455
2025	17.083	0,93	9.134.900	13.065	0,71	6.986.379	25.129	1,36	13.437.500
2026	15.769	0,86	8.432.576	12.552	0,68	6.712.440	23.903	1,30	12.782.145
2027	14.557	0,79	7.784.249	12.060	0,65	6.449.241	22.737	1,23	12.158.752
2028	13.438	0,73	7.185.767	11.587	0,63	6.196.363	21.628	1,17	11.565.763
2029	12.404	0,67	6.633.299	11.133	0,60	5.953.400	20.574	1,12	11.001.694

LandGEM modeli ile elde edilen model sonuçları ile tesisin işletme dönemi içinde olduğu 2015–2018 yılları arasında ürettiği enerji miktarları Çizelge 7.9’da ve Şekil 7.4’te karşılaştırılmıştır.

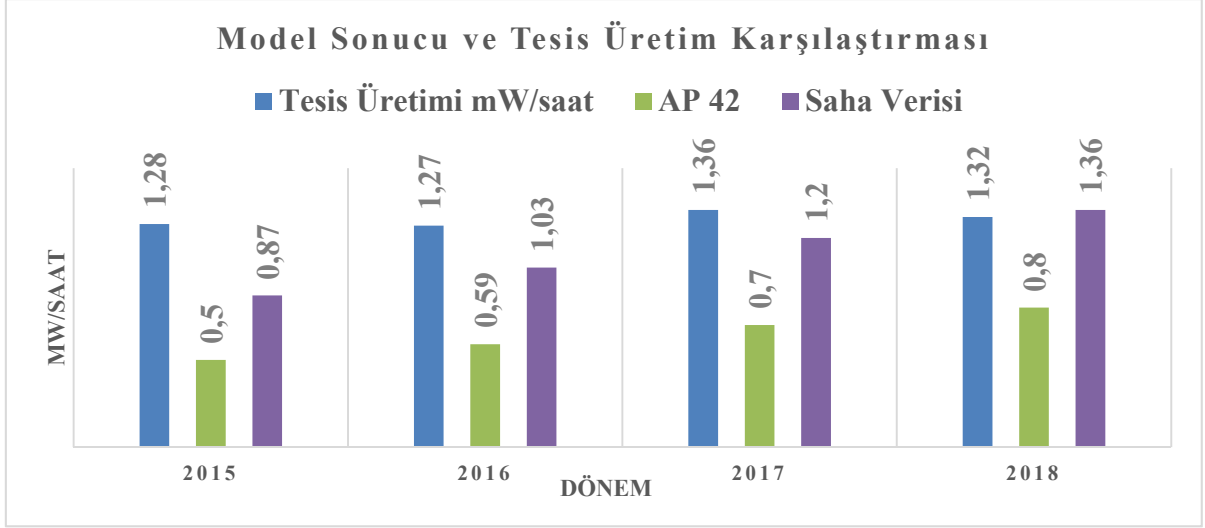
AP-42 modeli ve saha verisi modeli sabitleri kullanılarak hesaplanan elektrik enerjisi potansiyeli, 2015–2018 yılları arasındaki işletme döneminde gerçekte üretilen elektrik enerji miktarından daha düşük bulunmuştur.

Çizelge 7.9 LandGEM ile tesisin elektrik üretim karşılaştırması.

Yıl	Tesis Üretimi MW/saat	AP 42 Sabiti	Saha Verisi Sabiti
		MW/saat	
2015	1,28	0,5	0,87
2016	1,27	0,59	1,03
2017	1,36	0,7	1,2
2018	1,32	0,8	1,36

7.2.2 Tabasaran–Rettenberger Modeli ile Elektrik Enerji Potansiyelinin Hesaplanması

Tabasaran & Rettenberger modeli için önerilen model parametreleri, sıcaklık için 25-40°C, organik karbon miktarı için 170-220 kg/ton atık ve metan üretim hızı için 0,025-0,050 y⁻¹ olarak kabul edilmektedir [38].



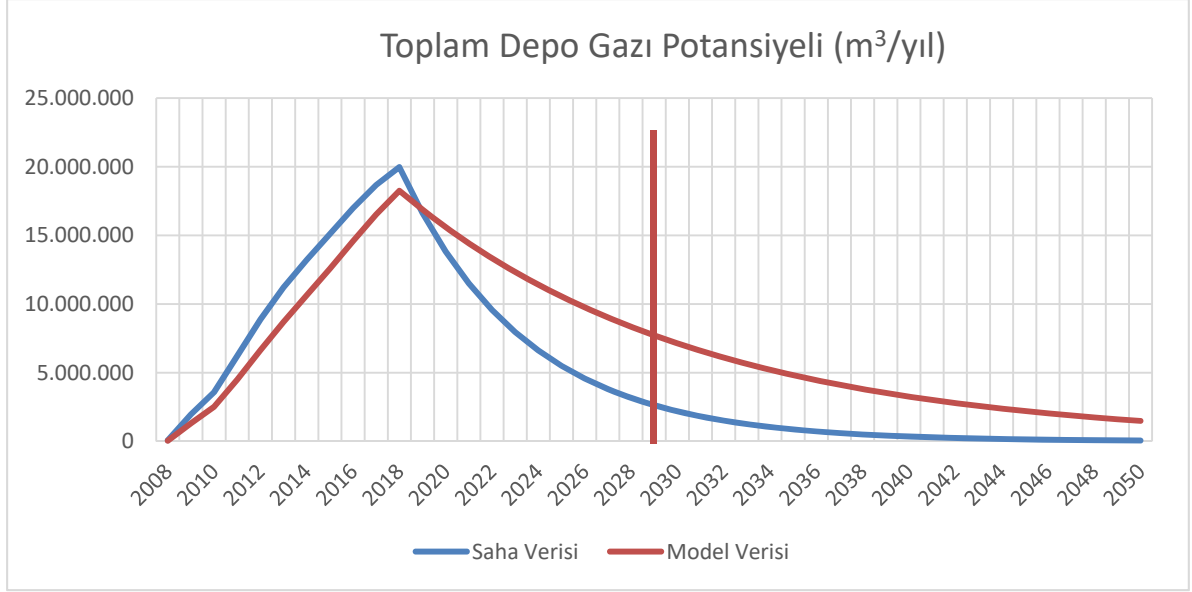
Şekil 7.4 Ap-42 ve saha verisi sabitleri ile tesisin elektrik üretimi miktarı karşılaştırması.

Bu modelde başlık 6.4.1’de gösterilen denklem 6.1, Excel’de formül olarak yazıldıktan sonra Çizelge 6.8’de belirtilen k değeri yağış miktarına karşılık gelen $0,08 \text{ y}^{-1}$ olarak kabul edilmiştir. C_{org} , karakterizasyon ile belirlenen L_0 değerinin hesabı başlık 6.4.1’de gösterilen $0,933$ ’e bölünmesi ile $104,4 \text{ kg OC/ton}$ atık olarak kabul edilmiştir. Saha sıcaklığı ise mezofilik ortam aralığında olan 35°C olarak kabul edilmiştir. Toplam depo gazının %50’si metan olarak kabul edilmiştir.

Çizelge 7.10 Tabasaran & Rettenberger model sonucu.

	Birim	Tabasaran & Rettenberger	Tabasaran & Rettenberger Saha Verisi Sabiti
Toplam atık	ton	1.310.512	1.310.512
Toplam metan oluşumu	m^3	160.221.861	107.343.166
Toplam depo gazı oluşumu	m^3	320.443.720	214.686.332
Birim depo gazı oluşumu	$\text{m}^3 \text{ gaz/ton atık}$	245	164

Literatürde, 1 ton evsel atıktan çıkabilecek toplam depo gazı miktarı $120\text{--}300 \text{ m}^3/\text{ton}$ aralığında verilmektedir [6].



Şekil 7.5 Tabasaran & Rettenberger modeli depo gazı üretim potansiyeli.

Çizelge 7.10’da model sonuçları değerlendirildiğinde Tabasaran & Rettenberger saha verisi sabiti modeline göre birim depo gazı oluşumu 164 m³/ton model verilerine göre 245 m³/ton olarak hesaplanmıştır. Şekil 7.5’te kırmızı çizgi ile belirtilen verimli dönem 2029 yılına kadardır. Bu model çalışması ile bulunan birim depo gazı oluşum değeri literatürde yer alan 120-300 m³/ton arasında olduğu için daha gerçekçi bulunmuştur. Model çalışmalarının özeti Çizelge 7.11’de verilmiştir.

Çizelge 7.11 Tabasaran & Rettenberger model özeti.

Yıl	Tabasaran & Rettenberger Saha Verisi Sabiti		Tabasaran & Rettenberger	
	Toplam Depo Gazı	Metan	Toplam Depo Gazı	Metan
(m ³ /yıl)				
2008	75.480	37.740	50.429	25.214
2009	1.967.577	983.788	1.319.238	659.619
2010	3.579.711	1.789.856	2.518.130	1.259.065
2011	6.228.578	3.114.289	4.500.594	2.250.297
2012	8.881.658	4.440.829	6.634.323	3.317.161
2013	11.210.392	5.605.196	8.688.885	4.344.443
2014	13.217.659	6.608.829	10.635.710	5.317.855
2015	15.100.903	7.550.452	12.578.692	6.289.346
2016	16.986.872	8.493.436	14.588.859	7.294.430
2017	18.672.465	9.336.232	16.525.768	8.262.884
2018	19.980.582	9.990.291	18.254.090	9.127.045
2019	16.619.124	8.309.562	16.879.523	8.439.762
2020	13.823.186	6.911.593	15.608.464	7.804.232

Çizelge 7.11 Tabasaran & Rettenberger model özeti (devam ediyor).

2021	11.497.625	5.748.812	14.433.119	7.216.559
2022	9.563.308	4.781.654	13.346.278	6.673.139
2023	7.954.413	3.977.207	12.341.279	6.170.640
2024	6.616.193	3.308.096	11.411.958	5.705.979
2025	5.503.109	2.751.555	10.552.617	5.276.309
2026	4.577.287	2.288.643	9.757.986	4.878.993
2027	3.807.221	1.903.611	9.023.192	4.511.596
2028	3.166.709	1.583.354	8.343.729	4.171.864
2029	2.633.954	1.316.977	7.715.431	3.857.715
TOPLAM	201.664.001	100.832.002	225.708.293	112.854.147

Atık kabulüne 2009 yılında başlayan tesisin 2019 yılına kadar artan şekilde depo gazı üreteceği, 2019 yılından itibaren depo gazı üretiminin düşeceği Şekil 7.5 ve Çizelge 7.11’de anlaşılmaktadır.

Tabasaran & Rettenberger Modeli Verisi ile Elektrik Üretim Potansiyeli Hesabı:

Depo Gazından Elektrik Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi: başlığında verilen yöntemle Tabasaran & Rettenberger modeli çalıştırılmıştır.

Çizelge 7.12 Tabasaran & Rettenberger net elektrik üretim potansiyeli.

Dönem	Tabasaran & Rettenberger					
	Saha Verisi Sabiti			Model Verisi Sabiti		
	<i>BEP</i>	<i>NEP</i>	<i>Toplam</i>	<i>BEP</i>	<i>NEP</i>	<i>Toplam</i>
	kWh	MW	(m ³ /yıl)	kWh	MW	(m ³ /yıl)
2008	141,15	0,01	75,48	94,303	0,01	50,429
2009	3.679.432	0,2	1.967.577	2.467.018	0,13	1.319.238
2010	6.694.177	0,36	3.579.711	4.708.985	0,26	2.518.130
2011	11.647.644	0,63	6.228.578	8.416.258	0,46	4.500.594
2012	16.608.991	0,9	8.881.658	12.406.400	0,67	6.634.323
2013	20.963.800	1,14	11.210.392	16.248.499	0,88	8.688.885
2014	24.717.454	1,34	13.217.659	19.889.125	1,08	10.635.710
2015	28.239.184	1,53	15.100.903	23.522.565	1,28	12.578.692
2016	31.766.007	1,72	16.986.872	27.281.644	1,48	14.588.859
2017	34.918.120	1,89	18.672.465	30.903.727	1,68	16.525.768
2018	37.364.342	2,03	19.980.582	34.135.745	1,85	18.254.090
2019	31.078.306	1,69	16.619.124	31.565.261	1,71	16.879.523
2020	25.849.809	1,4	13.823.186	29.188.339	1,58	15.608.464

Çizelge 7.12 Tabasaran & Rettenberger net elektrik üretim potansiyeli (devam ediyor).

2021	21.500.935	1,17	11.497.625	26.990.404	1,46	14.433.119
2022	17.883.699	0,97	9.563.308	24.957.977	1,35	13.346.278
2023	14.875.013	0,81	7.954.413	23.078.596	1,25	12.341.279
2024	12.372.497	0,67	6.616.193	21.340.736	1,16	11.411.958
2025	10.290.994	0,56	5.503.109	19.733.739	1,07	10.552.617
2026	8.559.676	0,46	4.577.287	18.247.753	0,99	9.757.986
2027	7.119.629	0,39	3.807.221	16.873.664	0,91	9.023.192
2028	5.921.849	0,32	3.166.709	15.603.046	0,85	8.343.729
2029	4.925.580	0,27	2.633.954	14.428.108	0,78	7.715.431
Toplam			201.664.004			225.708.293

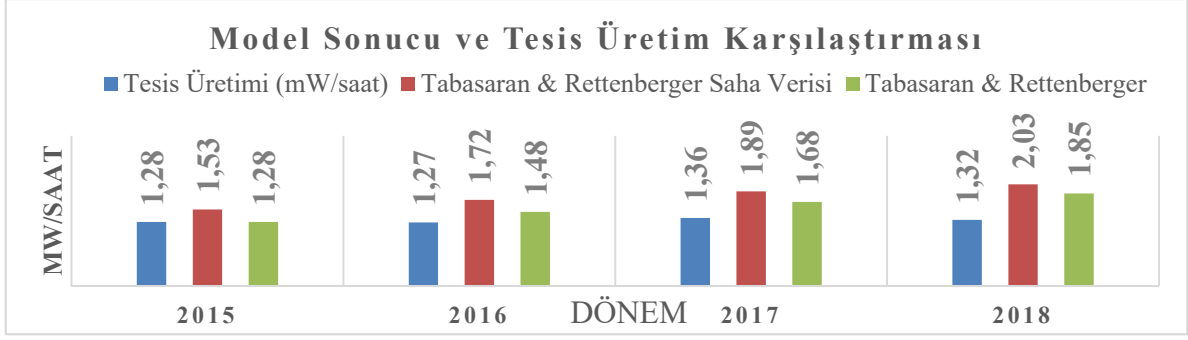
Tabasaran & Rettenberger modelleri ile bulunan depo gazı miktarı kullanılarak, net enerji potansiyeli hesabı formülü ve yapılan kabullerle elektrik üretim tesisinin 2029 yılına kadar üretebileceği elektrik miktarı MW/saat olarak hesaplanmıştır. 2019 yılına kadar artarak devam eden NEP değerleri 2019 yılından sonra gaz miktarının azalması ile azalışa geçtiği Çizelge 7.12’den anlaşılmaktadır. NEP değerlerine bakılarak tesis verimli işletme döneminin 2029 yılında sona ereceği öngörülmektedir.

Tabasaran & Rettenberger modeli ile elde edilen model sonuçları ile tesisin işletme dönemi içinde olduğu 2015–2018 yılları arasında ürettiği elektrik enerji miktarları Çizelge 7.13’te ve Şekil 7.6’da karşılaştırılmıştır.

Çizelge 7.13 Tabasaran & Rettenberger ile tesis elektrik üretimi karşılaştırması.

Yıl	Tesis Üretimi (MW/saat)	Tabasaran & Rettenberger Saha Verisi Sabiti	Tabasaran & Rettenberger
		MW/saat	
2015	1,28	1,53	1,28
2016	1,27	1,72	1,48
2017	1,36	1,89	1,68
2018	1,32	2,03	1,85

Bu karşılaştırma sonucunda tesis üretim değerinin model ile hesaplanan potansiyele yakın çıktığı görülmüş ve model uygun bulunmuştur. 2029 yılına kadar sahanın depo gazı potansiyeli saha verisi sabitleri ile 225.708.293 m³ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 7.6 Tabasaran & Rettenberger ile tesis elektrik üretimi karşılaştırması.

Tabasaran & Rettenberger elektrik üretim potansiyeli, Çizelge 7.12’de NEP sütununda ifade edilen ortalama MW/saat miktarı 24 saat ve 365 gün ile çarpılarak hesaplanmış Çizelge 7.14’te hesap edilmiştir.

Çizelge 7.14 Model ile elde edilen toplam elektrik üretim potansiyeli.

Tabasaran & Rettenberger Elektrik Üretim Potansiyeli		
Dönem	Model	Saha Verisi Sabiti
	MW/yıl	
2008	44,18	66,13
2009	1.155,78	1.723,79
2010	2.206,13	3.136,18
2011	3.942,96	5.456,84
2012	5.812,31	7.781,20
2013	7.612,31	9.821,40
2014	9.317,92	11.579,96
2015	11.020,16	13.229,86
2016	12.781,26	14.882,16
2017	14.478,18	16.358,90
2018	15.992,36	17.504,94
2019	14.788,11	14.559,97
2020	13.674,54	12.110,46
2021	12.644,82	10.073,04
2022	11.692,64	8.378,39
2023	10.812,16	6.968,84
2024	9.997,99	5.796,43
2025	9.245,12	4.821,26
2026	8.548,95	4.010,15
2027	7.905,20	3.335,50
2028	7.309,92	2.774,35
2029	6.759,47	2.307,60
TOPLAM MW	197.742	176.677

Tabasaran & Rettenberger modeli sabitleri ve saha verisi sabitleri ile 2029 yılına kadar toplamda 197742 ve 176677 MW elektrik enerjisi üretim potansiyeli hesaplanmış ve Çizelge 7.14'te verilmiştir. Elde edilen sonuçlar 2015-2018 yılları arasında tesisin mevcut üretimi ile karşılaştırıldığında uyumlu olduğu görülmüştür.

7.2.3 Birinci Lot Alanı Sera Gazı Salınımına Etkisi

2008 yılından itibaren atık kabulü yapan 1.lot alanında 2015 yılının son 3 ayına kadar gaz toplama sisteminin kurulmamasından dolayı oluşan depo gazı atmosfere salınım yapmıştır. 2015 yılından itibaren elektrik üretim tesisi faaliyete geçmiş ve günümüzde faaliyetini sürdürerek 1.lot alanında oluşan depo gazını yakarak enerji üretmektedir. Sahada oluşan metan gazı yanma sonucunda su buharı ve karbondioksite dönüşerek atmosfere salınmaktadır. Sera gazı etkisi hesaplamalarında 2008–2015 yılı ve 2015-2029 yılları arasında ayrı hesaplamalar yapılmıştır. Tesisten kaynaklanabilecek sera gazı salınım miktarları elektrik üretim tesisi olması ve olmaması şeklinde iki senaryo için 2029 yılına kadar hesaplatılarak karşılaştırılmıştır. Hesaplamalarda Çizelge 7.15'te gösterilen metan gazının küresel ısınmada 21 katlık CO₂ çevrim katsayısı kullanılmıştır.

Çizelge 7.15 Eş değer CO₂ etkisi [59].

Gaz	Küresel Isınma Potansiyeli
CH ₄	21 tCO _{2(eşd)} / t CH ₄

2008–2029 yılları arasında elektrik enerji tesisinin olmaması durumu için sera gazı salınımı:

Tabasaran & Rettenberger saha verisi sabiti ile oluşabilecek depo gazı miktarı hesaplanmıştır. Mevcut sahada elde edilen bilgiler doğrultusunda depo gazı potansiyeli içerisinde %50 metan ve %34 karbondioksit olduğu sahada ölçülmüştür. 2008–2029 yılları için denklem (7.4) ile elde edilen eş değer CO₂ miktarı ton olarak hesaplanmıştır.

$$\text{Toplam sera gazı: CH}_4 + \text{CO}_2 \quad (7.3)$$

$$\text{Toplam sera gazı: (21 tCO}_2(\text{eşd}) / \text{t CH}_4) + \text{CO}_2 \quad (7.4)$$

Denklem (7.3), (7.4) ile hesaplamalar yapılmıştır.

2029 yılına kadar oluşabilecek metan ve karbondioksit miktarı m³ olarak Çizelge 7.16'da gösterilmiştir.

Çizelge 7.16 CH₄ ve CO₂ potansiyeli (m³).

Yıl	Tabasaran & Rettenberger (Saha Verisi Sabitleri ile)		
	%100 Toplam DepoGaz	%50 CH ₄	%34 CO ₂
	(m ³ /yıl)		
2008	75.480	37.740	25.663
2009	1.967.577	983.789	668.976
2010	3.579.711	1.789.856	1.217.102
2011	6.228.578	3.114.289	2.117.717
2012	8.881.658	4.440.829	3.019.764
2013	11.210.392	5.605.196	3.811.533
2014	13.217.659	6.608.830	4.494.004
2015	15.100.903	7.550.452	5.134.307
2016	16.986.872	8.493.436	5.775.536
2017	18.672.465	9.336.233	6.348.638
2018	19.980.582	9.990.291	6.793.398
2019	16.619.124	8.309.562	5.650.502
2020	13.823.186	6.911.593	4.699.883
2021	11.497.625	5.748.813	3.909.193
2022	9.563.308	4.781.654	3.251.525
2023	7.954.413	3.977.207	2.704.500
2024	6.616.193	3.308.097	2.249.506
2025	5.503.109	2.751.555	1.871.057
2026	4.577.287	2.288.644	1.556.278
2027	3.807.221	1.903.611	1.294.455
2028	3.166.709	1.583.355	1.076.681
2029	2.633.954	1.316.977	895.544
TOPLAM	201.664.006	100.832.003	68.565.762

Tabasaran & Rettenberger saha verisi sabiti ile hacmi hesaplanan metan ve karbondioksitin m³'ten ton birimine dönüşümü Çizelge 4.2'de ifade edilen özgül ağırlıkları ile hesaplanarak Çizelge 7.17'de gösterilmiştir.

Çizelge 7.17 Elektrik üretim tesisi olmadığı durumda sera gazı salınımı potansiyeli hesabı.

Yıl	Tabasaran & Rettenberger (Saha Verisi Sabitleri ile)			
	% 50 CH ₄	%34 CO ₂	21 tCO ₂ (eşd) / t CH ₄	Toplam CO ₂ (eşd)
	A	B	C=A x 21	D=B+C
(ton/yıl)				
2008	27	51	568	619
2009	705	1.323	14.813	16.135
2010	1.283	2.406	26.950	29.356
2011	2.233	4.187	46.892	51.079
2012	3.184	5.970	66.866	72.836
2013	4.019	7.535	84.397	91.933
2014	4.739	8.885	99.509	108.394
2015	5.414	10.151	113.687	123.838
2016	6.090	11.418	127.886	139.304
2017	6.694	12.551	140.576	153.127
2018	7.163	13.431	150.424	163.854
2019	5.958	11.171	125.117	136.288
2020	4.956	9.292	104.068	113.360
2021	4.122	7.728	86.560	94.288
2022	3.428	6.428	71.997	78.426
2023	2.852	5.347	59.885	65.232
2024	2.372	4.447	49.810	54.257
2025	1.973	3.699	41.430	45.129
2026	1.641	3.077	34.460	37.537
2027	1.365	2.559	28.663	31.222
2028	1.135	2.129	23.841	25.969
2029	944	1.770	19.830	21.600
TOPLAM (ton)	72.297	135.555	1.518.227	1.653.782

Mevcut elektrik tesisi faaliyette olmasaydı çizelge 7.17’de ifade edildiği gibi 2008 yılından 2019 yılına kadar artarak; 2019 yılından 2029 yılına kadar azalarak devam etmektedir. Toplamda 72297 ton metan ile 135555 ton karbondioksit salınımı gerçekleşme potansiyeli mevcuttur. CH₄, CO₂’ye göre 21 kat eş değeriğe sahip olduğundan toplamda 1. Lot alanından atmosfere 1653781 ton eşdeğer CO₂ salınım gerçekleştirme potansiyeli vardır.

2015–2029 yılları arasında elektrik enerji tesisinin olması durumu için sera gazı salınımı:

Matematiksel model ile hesaplanan CH₄ miktarının tamamı enerji üretimi için kullanılamamaktadır. Gaz toplama verimi %40 olmasından dolayı toplam metan miktarının

%40'ı yakılan CH₄ olarak, %60'ı yakılamayan CH₄ olarak hesaplanarak Çizelge 7.18'de toplam CO₂(eşd) olarak salınım potansiyeli elde edilmiştir.

2008–2015 yılları için denklem (7.4) ile 2015–2029 yılları için denklem (7.6) ile elde edilen eş değer CO₂ miktarı ton olarak hesaplanmıştır.

$$\text{Toplam sera gazı: CH}_4(\text{yakılamayan}) + \text{CO}_2(\text{yanma sonucu oluşan}) + \text{CO}_2 \quad (7.5)$$

$$\text{Toplam sera gazı: } (21 \text{ tCO}_2(\text{eşd}) / \text{t CH}_4) + \text{CO}_2(\text{yanma sonucu oluşan}) + \text{CO}_2 \quad (7.6)$$

1m³ metanın yanması sonucunda oluşan ürünler,



Denklem (7.5) ifade ile Çizelge 4.2'de ifade edilen molekül ağırlıklar ile yanma sonucu oluşabilecek CO₂ miktarı hesaplanmıştır.

Tabasaran & Rettenberger saha verisi sabiti ile hacmi hesaplanan metan ve karbondioksitin m³'ten ton birimine dönüşümü Çizelge 4.2'de ifade edilen özgül ağırlıkları yardımı ile hesaplanarak Çizelge 7.18'de gösterilmiştir.

Çizelge 7.18'de,

- A sütununda depo gazı içinde bulunan %50'lik metan miktarı,
- B sütununda sahadan toplanarak (%40) gaz motorunda yakılan metanın miktarı,
- C sütununda toplama sistemine dahil edilemeyen (%60) metanın miktarı,
- D sütununda depo gazı içinde bulunan %34'lük CO₂'nin miktarı,
- E sütununda sahadan toplanan metanın gaz motorunda yakıldıktan sonra salınan CO₂'nin miktarını hesaplanmıştır.

E sütunu hesaplanırken denklem (7.7) ifadesinden yararlanılmıştır. İfadenin hesaplanmasına 2015 yılından örnek verecek olursak;

Tepkimedede parçalanmış 16gr metana karşılık 44 gr karbondioksit oluşuyorsa doğru orantı kurarak 2165 ton metana karşılık 5955 ton karbondioksit oluşacaktır. Diğer yıllar içinde hesaplanan bu değerler Çizelge 7.18'de E sütununda gösterilmiştir.

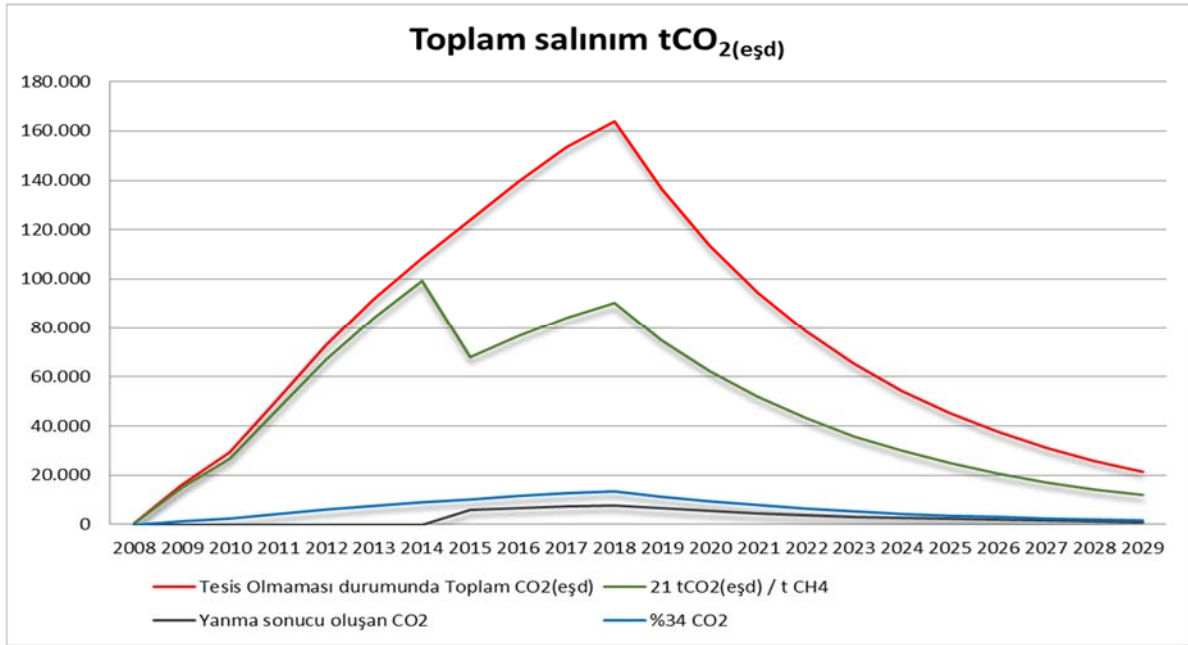
- F sütununda C sütunundaki metan miktarına karşılık gelen ton CO₂(eşd) miktarı,
- G sütununda D, E, F sütunlarındaki CO₂(eşd) toplam salınım miktarı hesaplanmıştır.

Çizelge 7.18 Elektrik üretim tesisi olduğu durumda sera gazı salınımı potansiyeli hesabı.

Yıl	Tabasaran & Rettenberger Saha Verisi Sabiti						
	%50 CH ₄	%40 Yakılan CH ₄	%60 Yakılamayan CH ₄	%34 CO ₂	Yanma sonucu oluşan CO ₂	21 tCO ₂ (eşd) / t CH ₄	Toplam CO ₂ (eşd)
	A	B	C	D	E	F=C x 21	G=D+E+F
	(ton/yıl)						
2008	27	0	27	51	0	568	619
2009	705	0	705	1.323	0	14.813	16.135
2010	1.283	0	1.283	2.406	0	26.950	29.356
2011	2.233	0	2.233	4.187	0	46.892	51.079
2012	3.184	0	3.184	5.970	0	66.866	72.836
2013	4.019	0	4.019	7.535	0	84.397	91.933
2014	4.739	0	4.739	8.885	0	99.509	108.394
2015	5.414	2.165	3.248	10.151	5.955	68.212	84.318
2016	6.090	2.436	3.654	11.418	6.699	76.731	94.848
2017	6.694	2.678	4.016	12.551	7.363	84.345	104.260
2018	7.163	2.865	4.298	13.431	7.879	90.254	111.564
2019	5.958	2.383	3.575	11.171	6.554	75.070	92.795
2020	4.956	1.982	2.973	9.292	5.451	62.441	77.184
2021	4.122	1.649	2.473	7.728	4.534	51.936	64.198
2022	3.428	1.371	2.057	6.428	3.771	43.198	53.398
2023	2.852	1.141	1.711	5.347	3.137	35.931	44.414
2024	2.372	949	1.423	4.447	2.609	29.886	36.942
2025	1.973	789	1.184	3.699	2.170	24.858	30.727
2026	1.641	656	985	3.077	1.805	20.676	25.558
2027	1.365	546	819	2.559	1.501	17.198	21.258
2028	1.135	454	681	2.129	1.249	14.304	17.682
2029	944	378	567	1.770	1.039	11.898	14.707
TOPLAM (ton)	72.297	22.443	49.854	135.555	61.717	1.046.934	1.244.206

Çizelge 7.18 değerlendirildiğinde, 2015-2029 yılları arasında toplam CO₂(eşd) salınımının 873855 ton olabileceği anlaşılmaktadır. 2008-2015 yılları arasında elektrik üretimi olmadığından bu dönem için toplam CO₂(eşd) salınımının 370351 ton olarak bulunmuştur

2008-2029 yılları arasında toplamda 1244206 ton eş değer CO₂ salınım potansiyeli olduğu hesaplanmıştır.



Şekil 7.7 Toplam Salınım potansiyeli.

Şekil 7.7’de kırmızı ile ifade edilen eğri elektrik üretim tesisi olmaması durumunda 2029 yılına kadar atmosfere yapılabilecek toplam CO₂(eşd) salınım miktarını ifade etmektedir. Yeşil renkli eğri elektrik üretim tesisi işletilmesine kadar ve işletilmeye başlandıktan sonraki dönem için atmosfere salınan CH₄’e karşılık gelen CO₂(eşd) salınım miktarını ifade etmektedir. Mavi renkli eğri biyolojik parçalanma sonucunda sahadan doğrudan atmosfere CO₂ salınım miktarını ifade etmektedir. Siyah renkli eğri ise elektrik üretimi için CH₄’ün yanması sonucu oluşan CO₂ salınım miktarını ifade etmektedir.

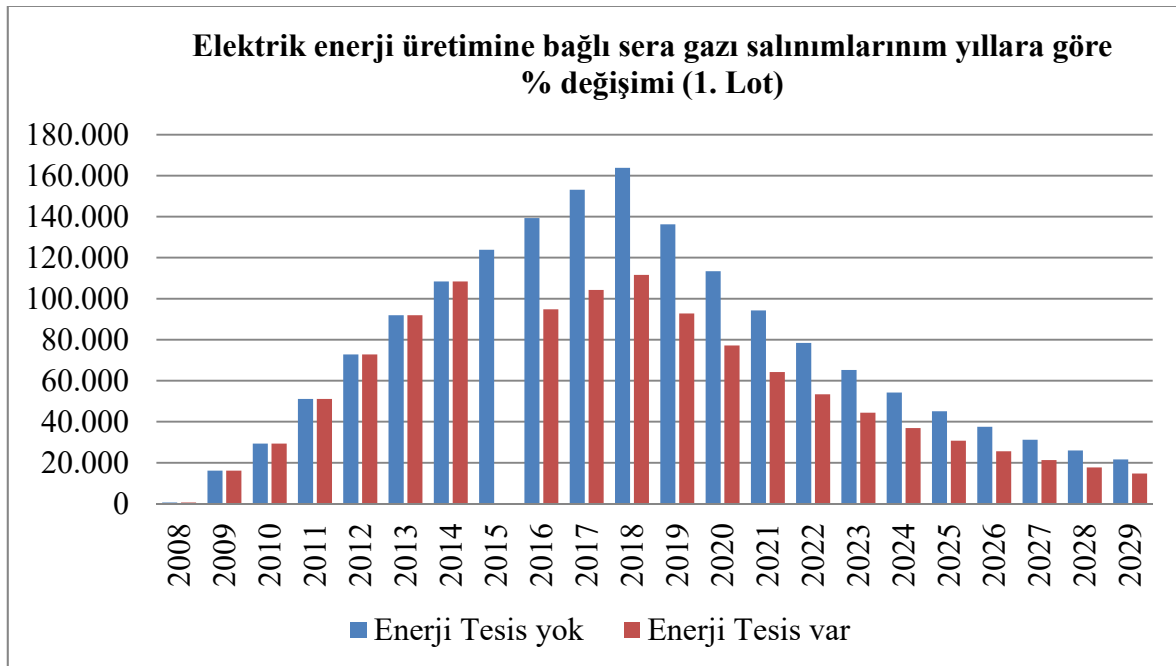
Çizelge 7.19 Yıllara göre sera gazı % azalımı.

Yıl	Tesis yok	Tesis var	% azalma
	Toplam ton CO ₂ (eşd) salınım		
2008	619	619	0,0
2009	16.135	16.135	0,0
2010	29.356	29.356	0,0
2011	51.079	51.079	0,0
2012	72.836	72.836	0,0
2013	91.933	91.933	0,0
2014	108.394	108.394	0,0
2015	123.838	84.318	31,9

Çizelge 7.19 Yıllara göre sera gazı % azalımı (devam ediyor).

2016	139.304	94.848	31,9
2017	153.127	104.260	31,9
2018	163.854	111.564	31,9
2019	136.288	92.795	31,9
2020	113.360	77.184	31,9
2021	94.288	64.198	31,9
2022	78.426	53.398	31,9
2023	65.232	44.414	31,9
2024	54.257	36.942	31,9
2025	45.129	30.727	31,9
2026	37.537	25.558	31,9
2027	31.222	21.258	31,9
2028	25.969	17.682	31,9
2029	21.600	14.707	31,9
Toplam (ton)	1.653.782	1.244.206	21,3

Elektrik üretim tesisi olması ve olmaması durumunda sera gazı salınım miktarları karşılaştırılmış ve Çizelge 7.19 ve Şekil 7.8’de verilmiştir. Elektrik üretim tesisinin işletilmesi ile 2009 yılından 2029 yılına kadar CO₂(eşd) olarak sera gazı miktarında azalma %21,3 olarak bulunmuştur.



Şekil 7.8 Yıllara göre sera gazı % azalımı.

7.3 İKİNCİ LOT ALANI DEPO GAZI VE ELEKTRİK ENERJİSİ POTANSİYELİ

2019 yılında faaliyete girecek olan saha için nüfus hesaplaması yapılarak sahaya gelecek atık miktarı belirlenmiştir. Depolanan atık miktarına bağlı oluşabilecek olan depo gazı miktarına karşılık üretilebilecek elektrik miktarı Tabasaran ve Rettenberger modeli ile hesaplanmıştır

7.3.1 Gelecek Nüfus Hesabı

Gelecek nüfus planlaması için İller Bankası metodu kullanılmıştır [6].

$$Y_{gelecek} = Y_{son} \left(1 + \frac{P}{100}\right)^{(tg-ts)} \quad (7.8)$$

$$P = \left(\sqrt[tg-ts]{\frac{Y_{son}}{Y_i}} - 1 \right) \times 100 \quad (7.9)$$

$P < 1$ ise $P = 1$

$1 < P < 3$ ise $P = P$

$P > 3$ ise $P = 3$ alınır.

Y_{son} : Son nüfus sayımı

$Y_{gelecek}$: Gelecekteki nüfus

t_s : Y_{son} nüfusuna karşılık gelen yıl

t_g : $Y_{gelecek}$ nüfusuna karşılık gelen yıl

Y_i : İlk nüfus sayımı

t_i : Y_i nüfusuna karşılık gelen yıl

7.3.2 Katı Atık Miktarı Hesabı

Zonguldak katı atık düzenli depolama tesisine 2013–2018 yılları arasında gelen atık miktarı hizmet verilen nüfusa oranlandığında Çizelge 7.20’de ifade edilen kişi başına düşen atık miktarı bulunmuştur.

Çizelge 7.20 Zonguldak ili kişi başına düşen günlük katı atık miktarı.

Yıl	Nüfus (kişi)	Atık Miktarı (Ton/gün)	Atık Miktarı (kişi/kg.gün)
2013	601.567	385.319	0,64
2014	598.706	392.405	0,66
2015	595.907	413.942	0,69
2016	597.524	446.150	0,75
2017	596.842	457.933	0,77
2018	599.608	448.469	0,75

Atık sahasına yıl boyunca gelen toplam katı atık miktarı 2013-2018 yılları kişi sayısına bölünerek kişi başı oluşacak katı atık miktarı hesaplanmıştır. Bu değerlerin ortalaması dikkate alınarak 2039 yılına kadar oluşabilecek katı atık miktarı tahmini yapılmıştır. 20 yıl sonunda oluşabilecek toplam katı atık miktarı Çizelge 7.21’de verilmiştir.

Çizelge 7.21 Gelecek nüfus ve atık miktarı.

Yıl	Nüfus	Atık Miktarı (Ton/yıl)	Depolanacak atık (Ton/yıl)
2019	611.660	156.063	124.070
2020	614.927	156.897	124.733
2021	621.076	158.466	125.980
2022	627.287	160.050	127.240
2023	633.560	161.651	128.513
2024	639.895	163.267	129.798
2025	646.294	164.900	131.095
2026	652.757	166.549	132.406
2027	659.285	168.215	133.731
2028	665.878	169.897	135.068
2029	672.537	171.596	136.419
2030	679.262	173.312	137.783
2031	686.054	175.045	139.160
2032	692.915	176.795	140.552
2033	699.844	178.563	141.958
2034	706.843	180.349	143.377
2035	713.911	182.152	144.811
2036	721.050	183.974	146.259
2037	728.261	185.814	147.722
2038	735.543	187.672	149.199
2039	742.899	189.548	150.691
Toplam		3.610.774	2.870.565

İkinci lotun planlanan hacmi 590000 m³ depolanacak atık miktarı da 630530 ton olarak hesap edilmiştir. Ayrıca tesis alanında kurulacak olan geri dönüşüm tesisi toplam atığın %20,5'ini geri dönüştürülecektir. Depolama sahasına günlük gelen atığın %79,5'u depolama işlemine tabi olacaktır. Bu durumda ikinci Lot alanın depolama ömrü 5 yıl olarak hesaplanmıştır.

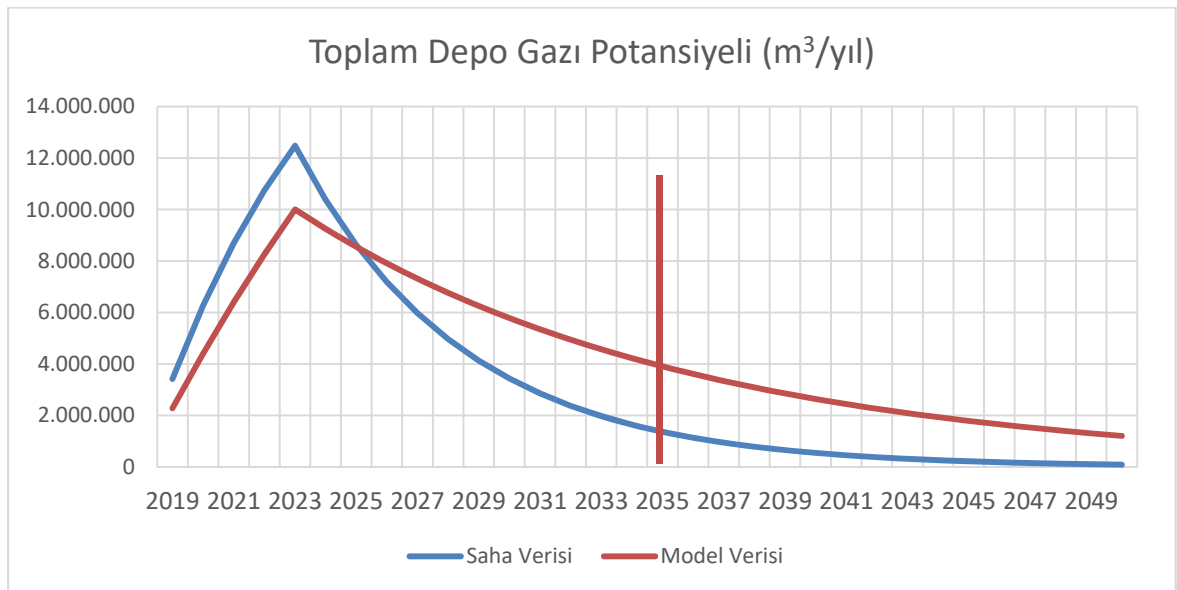
7.3.3 Depo Gazı Potansiyeli Hesabı

Çizelge 7.22'de model sonuçları değerlendirildiğinde Tabasaran & Rettenberger saha verisi sabiti modeline göre birim depo gazı oluşumu 164 m³/ton model verilerine göre 245 m³/ton olarak hesaplanmıştır. Model çalışmalarının özeti Çizelge 7.23'te verilmiştir.

Çizelge 7.22 Tabasaran & Rettenberger model sonucu.

	Birim	Model	Saha Verisi Sabiti
Toplam atık	ton	630.536	630.536
Toplam metan oluşumu	m ³	77.088.141	51.645.989
Toplam depo gazı oluşumu	m ³	154.176.281	103.291.979
Birim depo gazı oluşumu	m ³ gaz/ton atık	245	164

Birim depo gazı oluşumu depo gazı miktarının toplam atık miktarına bölünmesi ile hesaplanmıştır. Bu hesaplamanın kabul edilebilirliği 120-300 m³ gaz/ton atık arasında olması ile ifade edilmektedir[6].



Şekil 7.9 İkinci lot depo gazı potansiyeli.

İkinci lottan üretilebilecek depo gazı 2035 yılına kadar verimli görülmüş, Şekil 7.9’da kırımızı çizgi ile gösterilmiştir. 2035 yılından sonra oluşabilecek gaz potansiyeli enerji üreten motorların çalıştırması için gerekli hacmi sağlayamayacağı hesaplanmıştır.

Çizelge 7.23 İkinci lot için Tabasaran & Rettenberger model özeti.

Yıl	Tabasaran & Rettenberger Saha Verisi Sabitleri		Tabasaran & Rettenberger Sabitleri	
	Toplam Depo Gazı	Metan	Toplam Depo Gazı	Metan
(m ³ /yıl)				
2019	3.419.354	1.709.677	2.284.493	1.142.247
2020	6.281.711	3.140.855	4.409.161	2.204.581
2021	8.696.890	4.348.445	6.396.804	3.198.402
2022	10.740.470	5.370.235	8.257.971	4.128.985
2023	12.475.314	6.237.657	10.002.418	5.001.209
2024	10.376.514	5.188.257	9.249.217	4.624.609
2025	8.630.809	4.315.404	8.552.734	4.276.367
2026	7.178.794	3.589.397	7.908.698	3.954.349
2027	5.971.061	2.985.530	7.313.158	3.656.579
2028	4.966.512	2.483.256	6.762.464	3.381.232
2029	4.130.965	2.065.482	6.253.238	3.126.619
2030	3.435.987	1.717.993	5.782.358	2.891.179
2031	2.857.929	1.428.965	5.346.936	2.673.468
2032	2.377.122	1.188.561	4.944.302	2.472.151
2033	1.977.204	988.602	4.571.987	2.285.993
2034	1.644.567	822.283	4.227.708	2.113.854
2035	1.367.891	683.946	3.909.354	1.954.677
Toplam	96.529.024	48.264.547	106.173.001	53.086.501

İşletmeye alınacak ikinci lot alanının 2035 yılına kadar oluşabilecek toplam depo gazı ve metan miktarı 2 farklı model hesabı ile belirlenmiş ve Çizelge 7.23’te verilmiştir.

7.3.4 İkinci Lot Tabasaran–Rettenberger Modeli ile Elektrik Üretim Potansiyelinin Hesaplanması

İkinci lot alını için elektrik üretim potansiyeli Depo Gazından Elektrik Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi başlığında verilen denklem (7.1) ve (7.2) kullanılarak ve aşağıda belirtilen kabuller yapılarak hesaplanmıştır.

- Sahada etkin bir gaz toplama sistemi tam olarak oluşturulmadığı için gaz toplama sistemi verimi olarak %75 kabul edilmiştir.

- Sahada gaz toplama sistemi ile ilgili mevcut sorunlar (bacalarda tıkanma, sızıntı suyu birikmesi vb.) nedeniyle, gaz kalitesinin düşük olacağı öngörüsü ile depo gazı enerji değeri olarak 18 MJ/ m³ kabul edilmiştir.
- Sahada depo gazından elektrik enerjisi üretileceği öngörüsüyle elektrik enerjisi dönüşüm verimi %38 ve kapasite faktörü ise %80 kabul edilmiştir.
- MJ'den kWh birim dönüşüm çarpanı 3,6363 olarak kabul edilmiştir.

Çizelge 7.24 2.lot Tabasaran & Rettenberger net elektrik enerji potansiyeli.

Dönem	Saha Verisi Sabiti			Model Verisi Sabiti		
	<i>BEP</i>	<i>NEP</i>	<i>TOPLAM</i>	<i>BEP</i>	<i>NEP</i>	<i>TOPLAM</i>
	kWh	MW	(m ³ /yıl)	kWh	MW	(m ³ /yıl)
2019	12.694.572	0,69	3.419.354	8.481.329	0,46	2.284.493
2020	23.321.259	1,26	6.281.711	16.369.297	0,89	4.409.161
2021	32.287.770	1,75	8.696.890	23.748.550	1,29	6.396.804
2022	39.874.694	2,16	10.740.470	30.658.253	1,66	8.257.971
2023	46.315.415	2,51	12.475.314	37.134.625	2,01	10.002.418
2024	38.523.484	2,09	10.376.514	34.338.320	1,86	9.249.217
2025	32.042.438	1,74	8.630.809	31.752.582	1,72	8.552.734
2026	26.651.739	1,45	7.178.794	29.361.554	1,59	7.908.698
2027	22.167.951	1,20	5.971.061	27.150.576	1,47	7.313.158
2028	18.438.499	1,00	4.966.512	25.106.088	1,36	6.762.464
2029	15.336.475	0,83	4.130.965	23.215.554	1,26	6.253.238
2030	12.756.324	0,69	3.435.987	21.467.380	1,16	5.782.358
2031	10.610.249	0,58	2.857.929	19.850.847	1,08	5.346.936
2032	8.825.220	0,48	2.377.122	18.356.042	1,00	4.944.302
2033	7.340.499	0,40	1.977.204	16.973.799	0,92	4.571.987
2034	6.105.561	0,33	1.644.567	15.695.641	0,85	4.227.708
2035	5.078.384	0,28	1.367.891	14.513.730	0,79	3.909.354
		1,17	96.529.094		1,31	106.173.001

Tabasaran & Rettenberger modelleri ile bulunan depo gazı miktarı kullanılarak, net enerji potansiyeli hesabı formülü ve yapılan kabullerle elektrik üretim tesisinin 2035 yılına kadar üretebileceği elektrik miktarı MW/saat olarak hesaplanmıştır. 2023 yılına kadar artarak devam eden NEP değerleri 2023 yılından sonra gaz miktarının azalması ile azalışa geçtiği Çizelge 7.24'ten anlaşılmaktadır. NEP değerlerine bakılarak tesis verimli işletme döneminin 2035 yılında sona ereceği öngörülmektedir.

Çizelge 7.25 2.lot model ile elde edilen toplam elektrik üretim potansiyeli.

Dönem	Model Sabitleri	Saha Verisi Sabitleri
	MW/yıl	
2019	3.973,44	5.947,32
2020	7.668,90	10.925,85
2021	11.126,03	15.126,60
2022	14.363,18	18.681,02
2023	17.397,32	21.698,45
2024	16.087,27	18.047,99
2025	14.875,87	15.011,66
2026	13.755,69	12.486,16
2027	12.719,86	10.385,53
2028	11.762,03	8.638,31
2029	10.876,33	7.185,03
2030	10.057,32	5.976,25
2031	9.299,99	4.970,83
2032	8.599,68	4.134,56
2033	7.952,11	3.438,97
2034	7.353,30	2.860,41
2035	6.799,58	2.379,19
TOPLAM MW	184.668	167.894

Tabasaran & Rettenberger modeli sabitleri ve saha verisi sabitleri ile 2035 yılına kadar toplamda 184668 ve 167894 MW elektrik enerjisi üretim potansiyeli hesaplanmış ve Çizelge 7.25'te verilmiştir

7.3.5 İkinci Lot Alanı Sera Gazı Salınımına Etkisi

İkinci lot alanının 2019 yılından itibaren atık kabulüne başlaması ön görülmektedir. Atık kabulünün başlaması ile elektrik üretim firması gaz toplama sisteminin kurulmasına başlayacaktır. Birinci Lot alanının işletmesinde yapılan hatalar göz önünde bulundurularak ikinci lot alanı için yapacak olan gaz toplama sistemi en ideal şekilde hesaplanacağı kabul edilmiş ikinci Lot alanı için 2019-2035 yılları arasında atmosfere yapacağı sera gazı salınımı hesaplanmıştır. Tesisten kaynaklanabilecek sera gazı salınım miktarları elektrik üretim tesisi olması ve olmaması şeklinde iki senaryo için 2035 yılına kadar hesaplatılarak karşılaştırılmıştır. Hesaplamalarda metan gazının küresel ısınmada 21 katlık CO₂ çevrim katsayısı kullanılmıştır.

2019–2035 yılları arasında elektrik üretim tesisinin olmaması durumu için sera gazı salınımı:

Tabasaran & Rettenberger saha verisi sabiti ile oluşabilecek depo gazı miktarı hesaplanmıştır. Mevcut sahada elde edilen bilgiler doğrultusunda depo gazı içerisinde %50 metan ve %34 karbondioksit olduğu ölçülmektedir. 2019–2035 yılları için denklem (7.4) ile elde edilen eş değer CO₂ miktarı ton olarak hesaplanmıştır.

Hacmi hesaplanan metan ve karbondioksitin m³ miktarları Çizelge 7.26’da verilmiştir.

Çizelge 7.26 CH₄ ve CO₂ potansiyeli (m³).

Yıl	Tabasaran & Rettenberger Saha Verisi Sabitleri		
	%100 Toplam Depo Gazı	%50 CH ₄	%34 CO ₂
	(m ³ /yıl)		
2019	3.419.354	1.709.677	1.162.580
2020	6.281.711	3.140.855	2.135.782
2021	8.696.890	4.348.445	2.956.943
2022	10.740.470	5.370.235	3.651.760
2023	12.475.314	6.237.657	4.241.607
2024	10.376.514	5.188.257	3.528.015
2025	8.630.809	4.315.404	2.934.475
2026	7.178.794	3.589.397	2.440.790
2027	5.971.061	2.985.530	2.030.161
2028	4.966.512	2.483.256	1.688.614
2029	4.130.965	2.065.482	1.404.528
2030	3.435.987	1.717.993	1.168.236
2031	2.857.929	1.428.965	971.696
2032	2.377.122	1.188.561	808.222
2033	1.977.204	988.602	672.249
2034	1.644.567	822.283	559.153
2035	1.367.891	683.946	465.083
TOPLAM (m ³)	96.529.094	48.264.547	32.819.892

Hesaplanan hacimler Çizelge 4.2’de ifade edilen özgül ağırlıklar ile hesaplanarak Çizelge 7.27’de gösterilmiştir. Çizelge 7.27’de ifade edilen emisyon miktarı toplam depo gazı içerisinde bulunan %’lik kısımlarıdır. Bu miktar içerisinde bulunan metanın eş değeri C sütununda

hesaplanmıştır. D sütununda atmosfere salınabilecek toplam miktar ton biriminde hesap edilmiştir.

Çizelge 7.27 İkinci lotta elektrik üretim tesisi olmadığı durumda sera gazı salınımı potansiyeli.

Yıl	Tabasaran & Rettenberger Saha Verisi Sabiti			
	% 50 CH ₄	%34 CO ₂	21 tCO ₂ (eşd) / t CH ₄	Toplam CO ₂ (eşd)
	A	B	C=A x 21	D=B+C
(ton/yıl)				
2019	1.226	2.298	25.743	28.041
2020	2.252	4.222	47.292	51.514
2021	3.118	5.846	65.475	71.320
2022	3.850	7.220	80.860	88.079
2023	4.472	8.386	93.920	102.306
2024	3.720	6.975	78.120	85.094
2025	3.094	5.801	64.977	70.779
2026	2.574	4.825	54.046	58.871
2027	2.141	4.014	44.953	48.967
2028	1.780	3.338	37.390	40.729
2029	1.481	2.777	31.100	33.877
2030	1.232	2.310	25.868	28.177
2031	1.025	1.921	21.516	23.437
2032	852	1.598	17.896	19.494
2033	709	1.329	14.885	16.214
2034	590	1.105	12.381	13.487
2035	490	919	10.298	11.218
TOPLAM (ton)	34.606	64.885	726.719	791.604

Elektrik enerji tesisi ikinci Lot atık alanı için faaliyet göstermez ise 2035 yılına kadar ikinci lot alanından 791604 ton eşdeğer CO₂ salınımının gerçekleşeceği hesaplanmıştır.

2019–2035 yılları arasında elektrik üretim tesisinin olması durumu için sera gazı salınımı:

Matematiksel model ile hesaplanan CH₄ miktarının tamamı enerji üretimi için kullanılamamaktadır. Gaz toplama verimi %75 olacağı kabul edilerek sahadan toplanan miktarının %75'i yakılan CH₄ olarak, %25'i yakılamayan CH₄ olarak hesaplanarak Çizelge 7.28'de toplam CO₂(eşd) olarak salınım potansiyeli elde edilmiştir.

Tabasaran & Rettenberger saha verisi sabiti ile hacmi hesaplanan metan ve karbondioksitin m³'ten ton birimine dönüşümü Çizelge 4.2'de ifade edilen özgül ağırlıkları yardımı ile hesaplanarak Çizelge 7.28'de gösterilmiştir.

Çizelge 7.28'in

- A sütununda depo gazı içinde bulunan %50'lik metan miktarını,
- B sütununda sahadan toplanarak (%75) gaz motorunda yakılan metanın miktarını,
- C sütununda toplama sistemine dahil edilemeyen (%25) metanın miktarını,
- D sütununda depo gazı içinde bulunan %34'lük CO₂'nin miktarını,
- E sütununda sahadan toplanan metanın gaz motorunda yakıldıktan sonra salınan CO₂'nin miktarını hesaplanmıştır.

E sütunu hesaplanırken denklem (7.7) ifadesinden yararlanılmıştır. İfadenin hesaplanmasına 2025 yılından örnek verecek olursak;

Tepkimede parçalanmış 16gr metana karşılık 44 gr karbondioksit oluşuyorsa doğru orantı kurarak 2011 ton metana karşılık 5531 ton karbondioksit oluşacaktır. Diğer yıllar içinde hesaplanan bu değerler Çizelge 7.28'de E sütununda gösterilmiştir.

- F sütununda C sütunundaki metan miktarına karşılık gelen ton CO₂(eşd) miktarını,
- G sütununda D, E, F sütunlarındaki CO₂(eşd) toplam salınım miktarı hesaplanmıştır.

Çizelge 7.28 İkinci lotta Elektrik üretim tesisi olması durumunda salınan tCO₂(eşd) potansiyeli.

Yıl	Tabasaran & Rettenberger Saha Verisi Sabiti						
	%50 CH4	%75 Yakılan CH4	%25 Yakılamayan CH4	%34 CO2	Yanma sonucu oluşan CO2	21 tCO2(eşd) / t CH4	Toplam CO2(eşd)
	A	B	C	D	E	F=C x 21	G=D+E+F
	(ton/yıl)						
2019	1.226	919	306	2.298	2.191	6.436	10.925
2020	2.252	1.689	563	4.222	4.025	11.823	20.071
2021	3.118	2.338	779	5.846	5.573	16.369	27.788
2022	3.850	2.888	963	7.220	6.883	20.215	34.317
2023	4.472	3.354	1.118	8.386	7.994	23.480	39.860
2024	3.720	2.790	930	6.975	6.649	19.530	33.154
2025	3.094	2.321	774	5.801	5.531	16.244	27.577
2026	2.574	1.930	643	4.825	4.600	13.511	22.937

Çizelge 7.28 İkinci lotta Elektrik üretim tesisi olması durumunda salınan tCO₂(eşd) potansiyeli (devam ediyor).

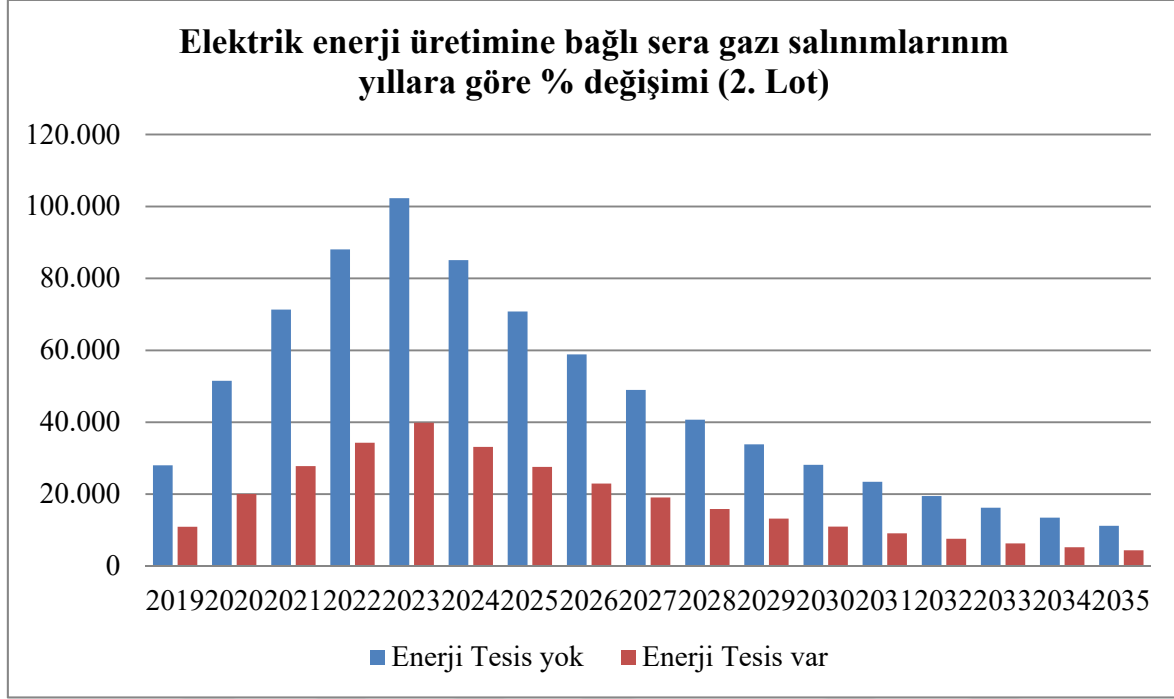
2027	2.141	1.605	535	4.014	3.826	11.238	19.078
2028	1.780	1.335	445	3.338	3.183	9.348	15.869
2029	1.481	1.111	370	2.777	2.647	7.775	13.199
2030	1.232	924	308	2.310	2.202	6.467	10.978
2031	1.025	768	256	1.921	1.831	5.379	9.131
2032	852	639	213	1.598	1.523	4.474	7.595
2033	709	532	177	1.329	1.267	3.721	6.317
2034	590	442	147	1.105	1.054	3.095	5.255
2035	490	368	123	919	877	2.575	4.371
TOPLAM (ton)	34.606	25.954	8.651	64.885	61.858	181.680	308.422

2019-2035 yılları arasında toplam CO₂(eşd) salınımının Çizelge 7.28 incelendiğinde, 308422 ton olacağı bulunmuştur.

Çizelge 7.29 İkinci lot alanı için yıllara göre sera gazı % azalımı.

Yıl	Enerji Tesis yok	Enerji Tesis var	% azalma
	Toplam ton CO ₂ (eşd) salınım		
2019	28.041	10.925	61
2020	51.514	20.071	61
2021	71.320	27.788	61
2022	88.079	34.317	61
2023	102.306	39.860	61
2024	85.094	33.154	61
2025	70.779	27.577	61
2026	58.871	22.937	61
2027	48.967	19.078	61
2028	40.729	15.869	61
2029	33.877	13.199	61
2030	28.177	10.978	61
2031	23.437	9.131	61
2032	19.494	7.595	61
2033	16.214	6.317	61
2034	13.487	5.255	61
2035	11.218	4.371	61
Toplam (ton)	791.604	308.422	61

Elektrik üretim tesisi olması ve olmaması durumunda sera gazı salınım miktarları karşılaştırılmış ve Çizelge 7.29 ve Şekil 7.10'da verilmiştir. Elektrik üretim tesisinin işletilmesi ile 2019 yılından 2035 yılına kadar CO₂(eşd) olarak sera gazı miktarında azalma %61 olarak bulunmuştur.



Şekil 7.10 Yıllara göre sera gazı % azalımı.

BÖLÜM 8

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Katı atık bertaraf sahalarında depo gazı potansiyellerinin hesaplanmasında matematiksel modeller ve model içinde bulunan sabitler kullanılmaktadır. Kullanılan modellerde k , L_o , C_{org} sabitleri, katı atık karakterizasyonu ve bölgedeki yağış miktarına bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Çalışma bölgesinin katı karakterizasyonu ve yerel yıllık ortalama yağış miktarı ile belirlenecek olan k , L_o , C_{org} sabitlerinin kullanılması model sabitlerine göre daha anlamlı sonuçlar vermektedir.

Bu çalışmada Zonguldak Katı Atık Bertaraf Tesisi birinci lot alanına 2008-2019 yılları arasında kabul edilen 1320000 ton katı atığın oluşturabileceği toplam depo gazı ve elektrik üretim potansiyeli LandGEM ve Tabasaran & Rettemberger modelleri ile, modele ait ve sahadan elde edilen k , L_o , C_{org} sabitleri ile hesaplanarak karşılaştırılmıştır.

EPA LandGEM modeli CAA sabitleri ile toplam depo gazı 446136715 m³ ve bir ton atıktan depolama sürecinde elde edilebilecek depo gazı miktarı 340 m³gaz/ton; AP-42 sabitleriyle toplam depo gazı 261381493 m³ ve birim depo gazı 199 m³ gaz/ton.atık olarak hesaplanmıştır. Aynı model Sahadan elde edilen sabitler ile çalıştırıldığında toplam depo gazı 255255758 m³ ve birim gaz 195 m³ gaz/ton.atık olarak hesaplanmıştır. Literatürde 1 ton evsel atıktan çıkabilecek kabul edilebilir depo gazı miktarı aralığı 120-300 m³ gaz/ton aralığında verilmektedir. Bu sonuçlar neticesinde CAA sabitleri ile elde edilen sonuçlar çalışma bölgesi için literatür ile uyumlu çıkmamıştır. AP-42 ve saha verisi sabitleri ile yapılan hesaplamalar literatürdeki değerler aralığında kaldığı için anlamlı olarak değerlendirilmiştir. Hesaplamalarda Zonguldak Katı Atık Bertaraf Tesisi birinci lot için verimli gaz oluşum döneminin 2029 yılına kadar olacağı belirlenmiştir.

2015-2018 döneminde elektrik üretiminin saatlik ortalama elektrik üretim miktarı, EPA LandGEM modelininin AP-42 ve saha verisi sabitleri ile elde edilen gaz miktarına karşılık üretilebilecek elektrik üretim potansiyeli karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda EPA LandGEM modeli ile hesaplanan elektrik üretim potansiyeli mevcut tesisin üretiminden daha

az bulunmuş, LandGEM modeli ile yapılan hesaplamalar çalışma alanı için anlamsız çıkmıştır.

Tabasaran & Rettemberger modeli model sabitleri ve saha verisi sabitleri kullanılarak çalıştırılmış, model verisi sabitleri kullanılarak toplam depo gazı 320443720 m³ ve 1 ton atıktan oluşabilecek birim gaz oluşumunun 245 m³ gaz/ton.atık olduğu; saha verisi sabitleri kullanılarak toplam depo gazı 214686332 m³ ve birim gaz oluşumunun 164 m³ gaz/ton.atık olduğu hesaplanmıştır. Bu sonuçlar literatürde verilen değerler ile karşılaştırıldığında anlamlı çıkmıştır.

2015-2018 döneminde elektrik üretim tesisinin saatlik ortalama elektrik üretim miktarı, Tabasaran & Rettemberger modeli ile hesaplanan gaz miktarına karşılık üretilebilecek saatlik ortalama elektrik enerjisi üretim potansiyeli ile karşılaştırılmıştır. Mevcut tesisin elektrik üretim miktarı Tabasaran & Rettemberger modeline yakın çıkmış, model hesapları anlamlı bulunmuştur.

Zonguldak Katı Atık Bertaraf Tesisi birinci lot depolama alanı için 2029 yılına kadar Tabasaran & Rettemberger'in model sabitleri ile 225708293 m³ depo gazı ve 197742 MW elektrik üretim potansiyelinin olduğu, saha verisi sabiti ile 201664004 m³ depo gazı ve 176677 MW elektrik üretim potansiyelinin olduğu hesaplanmıştır.

Elde edilen sonuçlar ışığında 2019 yılından sonra faaliyet gösterecek olan 2. Lot alanı için gelecek nüfus bilgisi ile sahaya gelebilecek atık miktarları belirlenmiştir. Hesaplanan atık miktarı için, Tabasaran & Rettemberger model verisi sabiti ile toplam depo gazı potansiyeli 106173001 m³, elektrik üretim potansiyeli 184668 MW olarak hesaplanmıştır. Saha verileri sabitleri kullanılarak yapılan hesaplamada toplam depo gazı potansiyeli 96529094 m³, elektrik üretim potansiyeli 167894 MW olarak hesaplanmıştır.

Zonguldak Katı Atık Bertaraf Tesisi birinci lot depolama alanı için 2008-2029 yılları arasında oluşabilecek sera gazı salınımları hesaplanmıştır. Hesaplamalarda elektrik üretim tesisi olmaması durumunda atmosfere 1653782 ton CO₂(eşd) salınım potansiyelinin olduğu belirlenmiştir. 2015 yılından itibaren faaliyet gösteren elektrik üretim tesisi ile 2029 yılına kadar atmosfere 1244206 ton CO₂(eşd) sera gazı salınımı potansiyelinin olduğu belirlenmiştir. Bu iki senaryo karşılaştırıldığında Zonguldak Katı Atık Bertaraf Tesisinde depo gazından elektrik üretimi sürdürüldüğünde %21,3 oranında sera gazı azaltımı söz konusu olacaktır.

Model çalıştırmaları ile İkinci lot alanından elde edilebilecek depo gazı miktarının birinci lot alanının yarısı kadar olacağı bulunmuştur. İkinci lotta depolanacak atık miktarı 630530 ton olup birinci lotun yaklaşık yarısı kadardır. Buna rağmen hesaplanan depo gazına karşılık birinci ve ikinci lot alanından üretilebilecek elektrik üretim potansiyeli miktarları birbirine yakın olduğu hesaplanmıştır.

Birinci Lot alanı elektrik üretim potansiyelinin düşük çıkmasına, sahanın günlük olarak örtülmemesi, gelen atığı gelişi güzel serilmesi, saha yan şevlerinin gaz toplama sistemine uygun olmaması, gaz toplama sisteminin atık depolandıktan sonra yapılması, gaz toplama sisteminin tıkanması ve kırılması, dikey toplama sisteminin kurulamaması, drenaj hattının yetersiz olması sebep olduğu anlaşılmıştır.

İkinci lot alanının işletme döneminde saha yöneticilerinin gaz toplama verimini artırıcı uygulamaları (günlük örtü, uygun nem, verimli toplama sistemi ve hücrel depolama) kaliteli bir şekilde gerçekleştirmesi durumunda gaz toplama sisteminin %75'e, sera gazı azalımının %61'e kadar çıkması mümkün olacaktır.

Evsel katı atıkların değerlendirilmesinde en son çare olarak düşünülen katı atıkların düzenli depolama alanlarında bertarafı, küresel ısınmaya yol açan karbondioksit ve metan gazı salınımına yol açmaktadır. Depo gazından elektrik üretimi ile yakılan metanın sera etkisi belirli bir oranda azaltılmış hem de ihtiyaç duyulan elektrik üretilmiş olmaktadır.

Yeni kurulacak katı atık düzenli depolama sahalarında elektrik üretimi veriminin arttırılabilmesi için planlama aşamasından itibaren gaz toplama sistemlerinin ve saha işletme özelliklerinin belirlenmesi ve sağlıklı bir biçimde uygulanması gerekmektedir.



KAYNAKLAR

- [1] **Polat D** (2011) Depogazı (İfg) Kojenerasyon Sistemlerinin Teknoekonomik Analizi. *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 123s.
- [2] **Akpınar N** (2006) Kentsel Katı Atıklardan Enerji Üretimi. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Enerji Bilimi ve Teknolojileri Anabilim Dalı, İstanbul, 112s.
- [3] **Aydoğan Ö, Varank G ve Bilgili S** (2011) Municipal Solid Waste Management In Gaziantep. *Journal of Engineering and Natural Sciences, Sigma 3*: 268-275.
- [4] **Abdel-Shafy H I and Mansour M S M** (2018) Solid Waste Issue: Sources, Composition, Disposal, Recycling, And Valorization. *Egyptian Journal of Petroleum, 27 (4)*: 427-1384.
- [5] **Kuru E** (2013) Karadeniz Ereğli İlçesinin Kentsel Katı Atık Yönetiminin İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak, 131s.
- [6] **Atmaca K** (2015) Samsun Katı Atık Düzenli Depolama Sahası Deponi Gazı Enerji Verimliliğinin İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Samsun, 113s.
- [7] **Christensen T H** (2010) *Solid Waste Technology & Management*, Christensen T H (Ed.), 1792, ISBN: 978-605-320-699-6, Nobel Akademi Yayıncılık Eğitimi Danışmanlık Tic. Ltd. Şti., Ankara, 1026pp.
- [8] **Güzel G** (1999) Katı Atık Tesisi Projelerine İller Bankası Yaklaşımı. *2. Ulusal Kentsel Altyapı Sempozyumu*, 18-20 Kasım 1999, Adana, Türkiye, 2. Ulusal Kentsel Altyapı Sempozyumu: bildiriler kitabı, Alaz Ofset, Adana, 397-404.
- [9] **Kapluhan E** (2014) Enerji Coğrafyası Açısından Bir İnceleme: Biyokütle Enerjisinin Dünyadaki ve Türkiye'deki Kullanım Durumu. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 30: 97-125.
- [10] **ÇTÜE** (2018) TÜBİTAK MAM ÇEVRE ve TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ (2018) *Batı Karadeniz Bölgesi Katı Atıklarının Yakma Tesisinde Bertarafı İçin Ön Fizibilite Raporunun Hazırlanması Projesi Sonuç Raporu* BAKKA, 171s.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- [11] **D'Alpaos C and Moretto M** (2016) Landfills Sizing in Metropolitan Areas. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 223: 95-100.
- [12] **Bilgili S** (2002) Katı Atık Düzenli Depo Sahalarında Depo Gazı Oluşumunu Etkileyen Faktörlerin Belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 86s.
- [13] **Sisani F, Contini S and Maria F** (2016) Energetic Efficiency Of Landfill: An Italian Case Study. *ScienceDirect*, 101: 66-73.
- [14] **Keskin Çıtıröğlü H** (2010) Katı Atık Depo Yeri Seçiminde Hidrojeolojik Kriterlerin Önemi. *Kafkas Üniv Fen Bil Enst Dergisi*, 3(2): 73-78.
- [15] **Vodyanitskii Y N** (2016) Biochemical Processes İn Soil And Groundwater Contaminated By Leachates From Municipal Landfills. *ScienceDirect*, 14: 249-256.
- [16] **Uyanık İ** (2012) Katı Atık Depo Sahalarında Meteorolojik Faktörlerin Depo Gazı Oluşumu Üzerindeki Etkilerini İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 97s.
- [17] **Gökçe G F, Aydemir K P, Hasanoğlu P ve Özbay M** (2015) Katı Atık Düzenli Depolama Sahalarının ve Vahşi Depolama Alanlarının İslahı ve Bitkilendirilmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 3: 258-271.
- [18] **Yao P** (2013) Perspectives On Technology For Landfill Leachate Treatment. *Arabian Journal of Chemistry*, 10: 2567–2574.
- [19] **Öztürk İ, Onay T T, Çallı B, Mertoğlu B, Yıldız Ş** (2010) *T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü Sızıntı Suyu Yönetimi İhtisas Komisyonu Taslak Çalışma Raporu*. E-kitap, 74s.
- [20] **Sözen E, Gündüz G, Akdemir D ve Güngör Eökçe G** (2017) Biyokütle Kullanımının Enerji, Çevre, Sağlık ve Ekonomi Açısından Değerlendirilmesi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 19(1): 148-160.
- [21] **Üçgül İ ve Akgül G** (2010) Biyokütle Teknolojisi. *Yekarum Dergisi*, 1(1): 3-11.
- [22] **Yılmaz A, Ünvar S, Koca T ve Koçer A** (2017) Türkiye’de Biyogaz Üretimi ve Biyogaz Üretimi İstatistik Bilgileri. *Technological Applied Sciences*, 12(4): 218-232
- [23] **Dace E, Blumberga D, Kuplais G, Bozko L, Khabdullina Z and Khabdullin A** (2015) Optimization Of Landfill Gas Use In Municipal Solid Waste Landfills In Latvia. *ScienceDirect*, 72: 293 – 299.
- [24] **Allen G, Hollingsworth P, Kabbabe K, Pitt J R, Mead M I, Illinworth S, Roberts G, Boum M, Shhallcross D E and Percival C** (2017) The Development And Trial Of An Unmanned Aerial System For The Measurement Of Methane Flux From Landfill And Greenhouse Gas Emission Hotspots. *ScienceDirect*, 87: 883-892.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- [25] **Malakahmad A, Abualqumboz M S, Kutty S R M and Abunama T J** (2017) Assessment Of Carbon Footprint Emissions And Environmental Concerns Of Solid Waste Treatment And Disposal Techniques; *Case Study Of Malaysia. ScienceDirect*, 70: 282–292.
- [26] **Deviren H, İlkılınç C ve Aydın S** (2017) Biyogaz Üretiminde Kullanılabilen Materyaller ve Biyogazın Kullanım Alanları. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 7 (2): 79-89.
- [27] **Şenol H, Elibol E A, Açıkel Ü ve Şenol M** (2017) Biyogaz Üretimi İçin Ankara'nın Başlıca Organik Atık Kaynakları. *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 6 (2): 15-28.
- [28] **Mustafa M Y, Calay R K and Roman E** (2015) Biogas from Organic Waste – A Case Study. *ScienceDirect*, 146: 310-317.
- [29] **Çelebi M** (2017) Belediye Atıklarından Çöp Gazı (LFG-LANDFILL GAS) Elde Edilerek Elektrik Enerjisi Üretilmesi ve Ülkemizdeki Örneklerinin İncelenmesi. *Uzmanlık Tezi*, İller Bankası Anonim Şirketi, İstanbul, 108s.
- [30] **Işık A** (2014) Katı Atık Bertaraf Tesislerinde Organik Atıklardan Açığa Çıkan Depo Gazı ile Enerji Elde Edilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Karabük, 59s.
- [31] **Gürel F** (2015) Tam Ölçekli Bir Katı Atık Depo Sahasında (Odayeri) Çöp Gazından H₂S Gideriminin Araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 107s.
- [32] **Yalçın M A and Saltabaş F** (2015) Depo Gazından Enerji Üretimi. *SAU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8 (1): 44-47.
- [33] **El-Salam M M and Abu-zuid G I** (2014) Impact Of Landfill Leachate On The Groundwater Quality: A Case Study In Egypt. *Journal of Advanced Research*, 6: 579-586.
- [34] **Lee U, Han J and Wang M** (2017) Evaluation Of Landfill Gas Emissions From Municipal Solid Waste Landfills For The Life-Cycle Analysis Of Waste-To-Energy Pathways. *Journal of Cleaner Production*, 166: 335-342.
- [35] **Kankılıç T ve Topal H** (2015) Belediye Atıklarından Düzenli Depolama Sahalarında Biyogaz ve Enerji Üretimi. *Mühendis ve Makina*, 56 (669): 58-69.
- [36] **Kiriş A ve Saltabaş F** (2015) The Landfill Gas Management At Sanitary Landfill Site And Istanbul Case Study. *Journal of Engineering and Natural Sciences*, Sigma 3: 209-218.
- [37] **Sarptaş H** (2016) Katı Atık Depo Gazı Enerji Potansiyelinin Matematiksel Modelleme Yaklaşımı ile Tahmini. *TTMD Dergisi*, 48-55.
- [38] **Sarptaş H** (2016) Assessment Of Landfill Gas (Lfg) Energy Potential Based On Estimates Of Lfg Models. *Fen ve Mühendislik Dergisi*, 18 (3): 491-501.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- [39] **Fallahizadeh S, Rahmatinia M, Mohammadi Z, Vaezzadeh M, Tajamiri A and Soleimani H** (2019) Estimation Of Methane Gas By Landgem Model From Yasuj Municipal Solid Waste Landfill, Iran. *Science Direct*, 6: 391-398.
- [40] **CRA**, (2009) *Landfill Gas Generation Assessment Procedure Guidelines*, Prepared for British Columbia Ministry of Environment, E-Kitap, 81s.
- [41] **Ouda O K M, Raza S A, Al-Waked R, Al-Asad J F and Nizami A S** (2015) Waste-To-Energy Potential İn The Western Province Of Saudi Arabia. *Journal of King Saud University – Engineering Sciences*, 29: 212-220.
- [42] **Üstün A K ve Kurban M** (2011) Elektrik Enerjisi Üretiminde Kentsel Katı Atık Potansiyel Analizi ve Uygulaması. *6th International Advanced Technologies Symposium*, 16-18 May 2011, Elazığ, Turkey, 243-247.
- [43] **Karagözoğlu M B, Özyonar F, Yılmaz A ve Atmaca E** (2009) Katık Atıkların Yeniden Kazanımı ve Önemi. *Türkiye’de Katı Atık Yönetimi Sempozyumu*, 15-17 Haziran 2009, Türkiye katı atık yönetimi sempozyumu Türkay 2009 bildiriler kitabı, ISBN 9789754614527 9754614520, İstanbul, Türkiye, 501-508.
- [44] **Altan H S** (2015) The Effects Of Biodegradable Waste Diversion On Landfill Gas Potential In Turkey. *M.Sc. THESIS*, Istanbul Technical University, *Graduate School Of Science Engineering And Technology*, İstanbul, 114pp.
- [45] **Özaktaç Ş** (2004) Düzenli Depolama Tesislerinde Depo Gazı Üretimine İlişkin Modelleme Olanaklarının Araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı İstanbul, 128s.
- [46] **Kaya T** (2005) *Türkiye’de Atık Yönetimi ve Finansmanı*, Kaya T, ISBN: 975-270-875-7, İstanbul, 980s.
- [47] **Kaushal A, Sharma M P** (2016) Methane Emission from Panki Open Dump Site of Kanpur, India. *Procedia Enviromental Sciences*, 35: 337-347.
- [48] **Dimishkovska B, Berisha A and Lisichkov K** (2019) Estimation of Methane Emissions from Mirash Municipal Solid Waste Sanitary Landfill, Differences between IPPC 2006 and LandGEM Method. *Journal of Ecological Engineering*, 20 (5): 35-41.
- [49] **Kumar A, Saharma M P** (2014) GHG Emission And Carbon Sequestration Potential From MSW Of Indian Metro Cities. *Urban Climate*, 8 (2014): 30-41.
- [50] **Ghosh P, Shah G, Chandra R, Sahota S, Kumar H, Vijay V K and Thakur I S** (2019) Assessment Of Methane Emissions And Energy Recovery Potential From The Municipal Solid Waste Landfills Of Delhi, India. *Bioresource Technology*, 272: 611-615.
- [51] **Özbay M** (2006) *Katı Atık Yönetiminde Mühendislik Sistemleri*, Özbay M (Ed.), Türk Belediyeler Birliği, Ankara, 383s.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- [52] **Çobanoğlu N, Aydoğdu İ B** (2011) *Tıbbi Atıkların Oluşturduğu Sorunların Çevre, Sağlık ve Etik Açısından İncelenmesi*, Dilek Z (Ed.), ISBN 978-975-16-2442-0 Presmat Matbaa Gazete Sanayi Tic. Ltd. Şti., Ankara, 271-288.
- [53] **URL-1** <<http://www.sgc.se/ckfinder/userfiles/files/BasicDataonBiogas2012.pdf>>, Ziyaret Tarihi: 25.05.2019.
- [54] **URL-2** <<https://slideplayer.biz.tr/slide/2482950/>>, Ziyaret Tarihi: 27.05.2019.
- [55] **URL-3** <<https://www.iea.org/newsroom/news/2017/march/iea-finds-co2-emissions-flat-for-third-straight-year-even-as-global-economy-grew.html>>, Ziyaret Tarihi: 27.05.2019.
- [56] **URL-4** <<http://www.zonguldak.gov.tr/cografya>>, Ziyaret Tarihi: 27.05.2019.
- [57] **URL-5** <<https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/summary-for-policymakers/>>, Ziyaret Tarihi: 27.05.2019.
- [58] **URL-6** <<http://www.hurriyet.com.tr/bandirmada-coplugunde-3-yilda-14ncu-kez-cikan-40565691>>, Ziyaret Tarihi: 27.05.2019.
- [59] **URL-7** <<http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2014/07/20140722-5.htm>>, Ziyaret Tarihi: 15.06.2019.
- [60] **URL-8** <<http://www.tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=temelist> >, Ziyaret Tarihi: 09.07.2019.
- [61] **Korkutata F M** (2018) Investigation Of Greenhouse Gas Emissions Originated From Public Transportation: The Case Of Ankara. *Yüksek Lisans Tezi*, Ankara Yıldırım Beyazıt University, Department of Mechanical Engineering, Ankara, 127s.
- [62] **Türkay F** (2018) Karayolu Ulaşımından Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonunun (Karbon Ayak İzinin) Hesaplanması: Eskişehir İli Örneği. *Yüksek Lisans Tezi*, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı Sivas, 99s.
- [63] **URL-9** <<https://tr.co2.earth/22-co2-now>>, Ziyaret Tarihi: 17.07.2019.
- [64] **Güven H** (2012) Farklı Atık Yönetim Senaryolarının Sera Gazı Salımına Etkilerinin Araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı İstanbul, 141s.
- [65] **URL-10** <http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1019>, Ziyaret Tarihi: 17.07.2019.
- [66] **Sun W, Wang X, DeCarolis J F and Barlaz M A** (2019) Evaluation of optimal model parameters for prediction of methane generation from selected U.S. landfills. *Science Direct*, 91 (2019): 120-127.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- [67] **Cho H S, Ay H S and Kim J Y** (2012) Effect of quantity and composition of waste on the prediction of annual methane potential from landfills. *Science Direct*, 109: 86-92.
- [68] **Zeydan Ö** (2008) Zonguldak Bölgesi Sera Gazı Emisyon Miktarlarının Belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı Zonguldak, 107s.



EK AÇIKLAMALAR

EK A: LandGEM Modeli Depo Gazı ve Metan Sonuçları

Çizelge A.1 LandGEM modeli depo gazı ve metan sonuçları 1. lot

LandGEM CAA			LandGEM AP 42			LandGEM Saha Verisi Sabiti		
YIL	DEPO GAZI	METAN	YIL	DEPO GAZI	METAN	YIL	DEPO GAZI	METAN
	<i>(m³/yıl)</i>	<i>m³/yıl)</i>		<i>(m³/yıl)</i>	<i>(m³/yıl)</i>		<i>(m³/yıl)</i>	<i>(m³/yıl)</i>
2008	0	0	2008	0	0	2008	0	0
2009	45.528	22.764	2009	21.521	10.760	2009	41.014	20.507
2010	1.192.239	596.119	2010	563.769	281.884	2010	1.072.869	536.434
2011	2.306.161	1.153.080	2011	1.095.692	547.846	2011	2.046.233	1.023.117
2012	4.154.684	2.077.342	2012	1.979.678	989.839	2012	3.655.463	1.827.731
2013	6.184.393	3.092.196	2013	2.957.263	1.478.632	2013	5.385.404	2.692.702
2014	8.188.698	4.094.349	2014	3.931.301	1.965.650	2014	7.048.631	3.524.315
2015	10.137.662	5.068.831	2015	4.887.192	2.443.596	2015	8.622.187	4.311.093
2016	12.120.457	6.060.229	2016	5.866.525	2.933.263	2016	10.190.866	5.095.433
2017	14.199.298	7.099.649	2017	6.898.568	3.449.284	2017	11.812.575	5.906.288
2018	16.247.272	8.123.636	2018	7.923.478	3.961.739	2018	13.373.128	6.686.564
2019	18.138.727	9.069.364	2019	8.881.429	4.440.714	2019	14.762.679	7.381.339
2020	17.254.091	8.627.045	2020	8.533.183	4.266.592	2020	13.627.670	6.813.835
2021	16.412.599	8.206.300	2021	8.198.592	4.099.296	2021	12.579.925	6.289.963
2022	15.612.147	7.806.074	2022	7.877.121	3.938.560	2022	11.612.734	5.806.367
2023	14.850.734	7.425.367	2023	7.568.254	3.784.127	2023	10.719.905	5.359.953
2024	14.126.455	7.063.227	2024	7.271.499	3.635.749	2024	9.895.720	4.947.860
2025	13.437.500	6.718.750	2025	6.986.379	3.493.190	2025	9.134.900	4.567.450
2026	12.782.145	6.391.072	2026	6.712.440	3.356.220	2026	8.432.576	4.216.288
2027	12.158.752	6.079.376	2027	6.449.241	3.224.621	2027	7.784.249	3.892.124
2028	11.565.763	5.782.882	2028	6.196.363	3.098.181	2028	7.185.767	3.592.884
2029	11.001.694	5.500.847	2029	5.953.400	2.976.700	2029	6.633.299	3.316.650
2030	10.465.135	5.232.568	2030	5.719.964	2.859.982	2030	6.123.307	3.061.653
2031	9.954.745	4.977.372	2031	5.495.681	2.747.840	2031	5.652.525	2.826.262
2032	9.469.246	4.734.623	2032	5.280.192	2.640.096	2032	5.217.938	2.608.969
2033	9.007.425	4.503.713	2033	5.073.153	2.536.576	2033	4.816.764	2.408.382
2034	8.568.128	4.284.064	2034	4.874.232	2.437.116	2034	4.446.433	2.223.217
2035	8.150.255	4.075.128	2035	4.683.110	2.341.555	2035	4.104.575	2.052.288

Çizelge A.1 LandGEM modeli depo gazı ve metan sonuçları 1. Lot (devam ediyor).

2036	7.752.763	3.876.381	2036	4.499.483	2.249.741	2036	3.789.001	1.894.500
2037	7.374.656	3.687.328	2037	4.323.056	2.161.528	2037	3.497.688	1.748.844
2038	7.014.990	3.507.495	2038	4.153.546	2.076.773	2038	3.228.773	1.614.387
2039	6.672.865	3.336.432	2039	3.990.683	1.995.342	2039	2.980.533	1.490.267
2040	6.347.425	3.173.713	2040	3.834.206	1.917.103	2040	2.751.379	1.375.690
2041	6.037.858	3.018.929	2041	3.683.865	1.841.932	2041	2.539.843	1.269.922
2042	5.743.388	2.871.694	2042	3.539.419	1.769.709	2042	2.344.571	1.172.285
2043	5.463.280	2.731.640	2043	3.400.636	1.700.318	2043	2.164.311	1.082.156
2044	5.196.832	2.598.416	2044	3.267.295	1.633.648	2044	1.997.911	998.956
2045	4.943.380	2.471.690	2045	3.139.183	1.569.591	2045	1.844.305	922.152
2046	4.702.288	2.351.144	2046	3.016.094	1.508.047	2046	1.702.508	851.254
2047	4.472.955	2.236.478	2047	2.897.831	1.448.915	2047	1.571.613	785.806
2048	4.254.806	2.127.403	2048	2.784.205	1.392.103	2048	1.450.781	725.391
2049	4.047.297	2.023.649	2049	2.675.035	1.337.517	2049	1.339.240	669.620
2050	3.849.908	1.924.954	2050	2.570.145	1.285.073	2050	1.236.274	618.137
2051	3.662.146	1.831.073	2051	2.469.369	1.234.684	2051	1.141.225	570.613
2052	3.483.541	1.741.770	2052	2.372.543	1.186.272	2052	1.053.484	526.742
2053	3.313.647	1.656.823	2053	2.279.514	1.139.757	2053	972.488	486.244
2054	3.152.038	1.576.019	2054	2.190.133	1.095.067	2054	897.719	448.860
2055	2.998.311	1.499.156	2055	2.104.257	1.052.129	2055	828.699	414.350
2056	2.852.082	1.426.041	2056	2.021.748	1.010.874	2056	764.986	382.493
2057	2.712.984	1.356.492	2057	1.942.474	971.237	2057	706.171	353.086
2058	2.580.671	1.290.335	2058	1.866.309	933.154	2058	651.878	325.939
2059	2.454.810	1.227.405	2059	1.793.130	896.565	2059	601.759	300.880
2060	2.335.087	1.167.544	2060	1.722.820	861.410	2060	555.494	277.747
2061	2.221.204	1.110.602	2061	1.655.267	827.634	2061	512.785	256.393
2062	2.112.874	1.056.437	2062	1.590.363	795.182	2062	473.361	236.680
2063	2.009.828	1.004.914	2063	1.528.004	764.002	2063	436.967	218.483
2064	1.911.808	955.904	2064	1.468.090	734.045	2064	403.371	201.686
2065	1.818.568	909.284	2065	1.410.526	705.263	2065	372.359	186.179
2066	1.729.875	864.938	2066	1.355.218	677.609	2066	343.730	171.865
2067	1.645.508	822.754	2067	1.302.079	651.040	2067	317.303	158.652
2068	1.565.256	782.628	2068	1.251.024	625.512	2068	292.908	146.454
2069	1.488.917	744.459	2069	1.201.971	600.985	2069	270.388	135.194
2070	1.416.302	708.151	2070	1.154.841	577.420	2070	249.599	124.800
2071	1.347.228	673.614	2071	1.109.559	554.779	2071	230.409	115.205
2072	1.281.523	640.762	2072	1.066.052	533.026	2072	212.695	106.347
2073	1.219.022	609.511	2073	1.024.252	512.126	2073	196.342	98.171
2074	1.159.570	579.785	2074	984.090	492.045	2074	181.246	90.623
2075	1.103.017	551.509	2075	945.504	472.752	2075	167.312	83.656
2076	1.049.222	524.611	2076	908.430	454.215	2076	154.448	77.224
2077	998.051	499.026	2077	872.810	436.405	2077	142.573	71.287
2078	949.376	474.688	2078	838.586	419.293	2078	131.612	65.806

Çizelge A.1 LandGEM modeli depo gazı ve metan sonuçları 1. Lot (devam ediyor).

2079	903.074	451.537	2079	805.705	402.853	2079	121.493	60.747
2080	859.031	429.515	2080	774.113	387.056	2080	112.152	56.076
2081	817.135	408.568	2081	743.760	371.880	2081	103.530	51.765
2082	777.283	388.642	2082	714.596	357.298	2082	95.570	47.785
2083	739.374	369.687	2083	686.577	343.288	2083	88.222	44.111
2084	703.315	351.657	2084	659.656	329.828	2084	81.439	40.720
2085	669.014	334.507	2085	633.790	316.895	2085	75.178	37.589
2086	636.386	318.193	2086	608.939	304.469	2086	69.398	34.699
2087	605.349	302.674	2087	585.062	292.531	2087	64.062	32.031
2088	575.825	287.913	2088	562.121	281.061	2088	59.137	29.569
2089	547.742	273.871	2089	540.080	270.040	2089	54.590	27.295
2090	521.028	260.514	2090	518.903	259.452	2090	50.393	25.197
2091	495.618	247.809	2091	498.557	249.278	2091	46.519	23.259
2092	471.446	235.723	2092	479.008	239.504	2092	42.942	21.471
2093	448.453	224.227	2093	460.226	230.113	2093	39.641	19.820
2094	426.582	213.291	2094	442.180	221.090	2094	36.593	18.297
2095	405.777	202.889	2095	424.842	212.421	2095	33.780	16.890
2096	385.987	192.994	2096	408.184	204.092	2096	31.183	15.591
2097	367.163	183.581	2097	392.179	196.089	2097	28.785	14.393
2098	349.256	174.628	2098	376.801	188.401	2098	26.572	13.286
2099	332.222	166.111	2099	362.027	181.013	2099	24.529	12.265
2100	316.020	158.010	2100	347.831	173.916	2100	22.643	11.322
2101	300.607	150.304	2101	334.193	167.096	2101	20.902	10.451
2102	285.946	142.973	2102	321.089	160.544	2102	19.295	9.648
2103	272.001	136.000	2103	308.499	154.249	2103	17.812	8.906
2104	258.735	129.368	2104	296.402	148.201	2104	16.442	8.221
2105	246.116	123.058	2105	284.780	142.390	2105	15.178	7.589
2106	234.113	117.057	2106	273.614	136.807	2106	14.011	7.006
2107	222.695	111.348	2107	262.885	131.443	2107	12.934	6.467
2108	211.834	105.917	2108	252.577	126.289	2108	11.940	5.970
2109	201.503	100.752	2109	242.674	121.337	2109	11.022	5.511
2110	191.676	95.838	2110	233.158	116.579	2110	10.174	5.087
2111	182.328	91.164	2111	224.016	112.008	2111	9.392	4.696
2112	173.435	86.718	2112	215.232	107.616	2112	8.670	4.335
2113	164.977	82.488	2113	206.793	103.396	2113	8.003	4.002
2114	156.931	78.465	2114	198.684	99.342	2114	7.388	3.694
2115	149.277	74.639	2115	190.894	95.447	2115	6.820	3.410
2116	141.997	70.998	2116	183.409	91.704	2116	6.296	3.148
2117	135.072	67.536	2117	176.217	88.109	2117	5.812	2.906
2118	128.484	64.242	2118	169.308	84.654	2118	5.365	2.682
2119	122.218	61.109	2119	162.669	81.335	2119	4.952	2.476
2120	116.257	58.129	2120	156.291	78.145	2120	4.572	2.286
2121	110.587	55.294	2121	150.162	75.081	2121	4.220	2.110

Çizelge A.1 LandGEM modeli depo gazı ve metan sonuçları 1. Lot (devam ediyor).

2122	105.194	52.597	2122	144.275	72.137	2122	3.896	1.948
2123	100.063	50.032	2123	138.617	69.309	2123	3.596	1.798
2124	95.183	47.592	2124	133.182	66.591	2124	3.320	1.660
2125	90.541	45.271	2125	127.960	63.980	2125	3.064	1.532
2126	86.125	43.063	2126	122.943	61.471	2126	2.829	1.414
2127	81.925	40.963	2127	118.122	59.061	2127	2.611	1.306
2128	77.929	38.965	2128	113.490	56.745	2128	2.411	1.205
2129	74.129	37.064	2129	109.040	54.520	2129	2.225	1.113
2130	70.514	35.257	2130	104.765	52.382	2130	2.054	1.027
2131	67.075	33.537	2131	100.657	50.328	2131	1.896	948
2132	63.803	31.902	2132	96.710	48.355	2132	1.750	875
2133	60.692	30.346	2133	92.918	46.459	2133	1.616	808
2134	57.732	28.866	2134	89.275	44.637	2134	1.492	746
2135	54.916	27.458	2135	85.774	42.887	2135	1.377	688
2136	52.238	26.119	2136	82.411	41.205	2136	1.271	636
2137	49.690	24.845	2137	79.180	39.590	2137	1.173	587
2138	47.267	23.633	2138	76.075	38.037	2138	1.083	542
2139	44.961	22.481	2139	73.092	36.546	2139	1.000	500
2140	42.769	21.384	2140	70.226	35.113	2140	923	461
2141	40.683	20.341	2141	67.472	33.736	2141	852	426
2142	38.699	19.349	2142	64.827	32.413	2142	787	393
2143	36.811	18.406	2143	62.285	31.142	2143	726	363
2144	35.016	17.508	2144	59.843	29.921	2144	670	335
2145	33.308	16.654	2145	57.496	28.748	2145	619	309
2146	31.684	15.842	2146	55.242	27.621	2146	571	286
2147	30.139	15.069	2147	53.076	26.538	2147	527	264
2148	28.669	14.334	2148	50.994	25.497	2148	487	243
TOPLAM	446.136.715	223.068.357	TOPLAM	261.381.493	130.690.747	TOPLAM	255.255.758	127.627.879

EK B: Tabasaran–Rettenberger Modeli Depo Gazı Metan Sonuçları

Çizelge B.1 Tabasaran–Rettenberger modeli depo gazı ve metan sonuçları 1. lot.

Tabasaran & Rettenberger Saha Verisi Sabiti			Tabasaran & Rettenberger		
YIL	DEPO GAZI	METAN	YIL	DEPO GAZI	METAN
	(m ³ /yıl)	(m ³ /yıl)		(m ³ /yıl)	(m ³ /yıl)
2008	75.480	37.740	2008	50.429	25.214
2009	1.967.577	983.788	2009	1.319.238	659.619
2010	3.579.711	1.789.856	2010	2.518.130	1.259.065
2011	6.228.578	3.114.289	2011	4.500.594	2.250.297
2012	8.881.658	4.440.829	2012	6.634.323	3.317.161
2013	11.210.392	5.605.196	2013	8.688.885	4.344.443
2014	13.217.659	6.608.829	2014	10.635.710	5.317.855
2015	15.100.903	7.550.452	2015	12.578.692	6.289.346
2016	16.986.872	8.493.436	2016	14.588.859	7.294.430
2017	18.672.465	9.336.232	2017	16.525.768	8.262.884
2018	19.980.582	9.990.291	2018	18.254.090	9.127.045
2019	16.619.124	8.309.562	2019	16.879.523	8.439.762
2020	13.823.186	6.911.593	2020	15.608.464	7.804.232
2021	11.497.625	5.748.812	2021	14.433.119	7.216.559
2022	9.563.308	4.781.654	2022	13.346.278	6.673.139
2023	7.954.413	3.977.207	2023	12.341.279	6.170.640
2024	6.616.193	3.308.096	2024	11.411.958	5.705.979
2025	5.503.109	2.751.555	2025	10.552.617	5.276.309
2026	4.577.287	2.288.643	2026	9.757.986	4.878.993
2027	3.807.221	1.903.611	2027	9.023.192	4.511.596
2028	3.166.709	1.583.354	2028	8.343.729	4.171.864
2029	2.633.954	1.316.977	2029	7.715.431	3.857.715
2030	2.190.827	1.095.414	2030	7.134.445	3.567.222
2031	1.822.251	911.125	2031	6.597.208	3.298.604
2032	1.515.682	757.841	2032	6.100.426	3.050.213
2033	1.260.690	630.345	2033	5.641.053	2.820.527
2034	1.048.596	524.298	2034	5.216.271	2.608.136
2035	872.184	436.092	2035	4.823.477	2.411.738
2036	725.451	362.726	2036	4.460.260	2.230.130
2037	603.404	301.702	2037	4.124.394	2.062.197
2038	501.890	250.945	2038	3.813.820	1.906.910
2039	417.454	208.727	2039	3.526.632	1.763.316
2040	347.223	173.611	2040	3.261.070	1.630.535
2041	288.807	144.404	2041	3.015.506	1.507.753
2042	240.219	120.110	2042	2.788.433	1.394.216
2043	199.806	99.903	2043	2.578.459	1.289.229

Çizelge B.1 Tabasaran–Rettenberger modeli depo gazı ve metan sonuçları 1. Lot (devam ediyor).

2044	166.191	83.096	2044	2.384.296	1.192.148
2045	138.232	69.116	2045	2.204.754	1.102.377
2046	114.976	57.488	2046	2.038.732	1.019.366
2047	95.633	47.817	2047	1.885.212	942.606
2048	79.544	39.772	2048	1.743.252	871.626
2049	66.162	33.081	2049	1.611.982	805.991
2050	55.031	27.516	2050	1.490.597	745.298
2051	45.773	22.886	2051	1.378.352	689.176
2052	38.072	19.036	2052	1.274.560	637.280
2053	31.667	15.834	2053	1.178.583	589.292
2054	26.340	13.170	2054	1.089.834	544.917
2055	21.908	10.954	2055	1.007.767	503.884
2056	18.223	9.111	2056	931.880	465.940
2057	15.157	7.578	2057	861.708	430.854
2058	12.607	6.303	2058	796.820	398.410
2059	10.486	5.243	2059	736.818	368.409
2060	8.722	4.361	2060	681.334	340.667
2061	7.255	3.627	2061	630.028	315.014
2062	6.034	3.017	2062	582.586	291.293
2063	5.019	2.509	2063	538.716	269.358
2064	4.175	2.087	2064	498.150	249.075
2065	3.472	1.736	2065	460.638	230.319
2066	2.888	1.444	2066	425.952	212.976
2067	2.402	1.201	2067	393.877	196.938
2068	1.998	999	2068	364.217	182.108
2069	1.662	831	2069	336.791	168.395
2070	1.382	691	2070	311.430	155.715
2071	1.150	575	2071	287.979	143.989
2072	956	478	2072	266.293	133.147
2073	795	398	2073	246.241	123.120
2074	662	331	2074	227.699	113.849
2075	550	275	2075	210.552	105.276
2076	458	229	2076	194.697	97.349
2077	381	190	2077	180.036	90.018
2078	317	158	2078	166.479	83.240
2079	263	132	2079	153.943	76.972
2080	219	110	2080	142.351	71.175
2081	182	91	2081	131.632	65.816
2082	152	76	2082	121.720	60.860
2083	126	63	2083	112.554	56.277

Çizelge B.1 Tabasaran–Rettenberger modeli depo gazı ve metan sonuçları 1. Lot (devam ediyor).

2084	105	52	2084	104.078	52.039
2085	87	44	2085	96.241	48.121
2086	73	36	2086	88.994	44.497
2087	60	30	2087	82.292	41.146
2088	50	25	2088	76.096	38.048
2089	42	21	2089	70.366	35.183
2090	35	17	2090	65.067	32.533
2091	29	14	2091	60.167	30.084
2092	24	12	2092	55.637	27.818
2093	20	10	2093	51.447	25.724
2094	17	8	2094	47.573	23.786
2095	14	7	2095	43.991	21.995
2096	11	6	2096	40.678	20.339
2097	10	5	2097	37.615	18.807
2098	7,954	3,977	2098	34.782	17.391
2099	6,616	3,308	2099	32.163	16.082
2100	5,503	2,752	2100	29.741	14.871
2101	4,577	2,289	2101	27.502	13.751
2102	3,807	1,904	2102	25.431	12.715
2103	3,167	1,583	2103	23.516	11.758
2104	2,634	1,317	2104	21.745	10.873
2105	2,191	1,095	2105	20.108	10.054
2106	1,822	0,911	2106	18.593	9.297
2107	1,516	0,758	2107	17.193	8.597
2108	1,261	0,630	2108	15.899	7.949
2109	1,049	0,524	2109	14.701	7.351
2110	0,872	0,436	2110	13.594	6.797
2111	0,725	0,363	2111	12.571	6.285
2112	0,603	0,302	2112	11.624	5.812
2113	0,502	0,251	2113	10.749	5.374
2114	0,417	0,209	2114	9.939	4.970
2115	0,347	0,174	2115	9.191	4.595
2116	0,289	0,144	2116	8.499	4.249
2117	0,240	0,120	2117	7.859	3.929
2118	0,200	0,100	2118	7.267	3.634
2119	0,166	0,083	2119	6.720	3.360
2120	0,138	0,069	2120	6.214	3.107
2121	0,115	0,057	2121	5.746	2.873
2122	0,096	0,048	2122	5.313	2.657
2123	0,080	0,040	2123	4.913	2.457

Çizelge B.1 Tabasaran–Rettenberger modeli depo gazı ve metan sonuçları 1. Lot (devam ediyor).

2124	0,066	0,033	2124	4.543	2.272
2125	0,055	0,028	2125	4.201	2.101
2126	0,046	0,023	2126	3.885	1.942
2127	0,038	0,019	2127	3.592	1.796
2128	0,032	0,016	2128	3.322	1.661
2129	0,026	0,013	2129	3.072	1.536
2130	0,022	0,011	2130	2.840	1.420
2131	0,212	0,009	2131	2.626	1.313
2132	0,181	0,008	2132	2.429	1.214
2133	0,154	0,006	2133	2.246	1.123
2134	0,131	0,005	2134	2.077	1.038
2135	0,111	0,004	2135	1.920	960
2136	0,095	0,004	2136	1.776	888
2137	0,081	0,003	2137	1.642	821
2138	0,069	0,003	2138	1.518	759
2139	0,058	0,002	2139	1.404	702
2140	0,050	0,002	2140	1.298	649
2141	0,042	0,001	2141	1.200	600
2142	0,036	0,001	2142	1.110	555
2143	0,031	0,001	2143	1.027	513
2144	0,026	0,001	2144	949	475
2145	0,022	0,001	2145	878	439
2146	0,019	0,001	2146	812	406
2147	0,016	0,000	2147	751	375
TOPLAM	214.686.332	107.343.166	TOPLAM	320.443.722	160.221.861

EK C: Tabasaran–Rettenberger Modeli Depo Gazı Metan Sonuçları (2.lot)**izelge C.1** Tabasaran–Rettenberger modeli depo gazı ve metan sonuçları (2.lot).

Tabasaran & Rettenberger Saha Verisi Sabiti 2. Lot		Tabasaran & Rettenberger 2. Lot		
YIL	DEPO GAZI	METAN	DEPO GAZI	METAN
	(m ³ /yıl)	(m ³ /yıl)	(m ³ /yıl)	(m ³ /yıl)
2019	3.419.354	1.709.677	2.284.493	1.142.247
2020	6.281.711	3.140.855	4.409.161	2.204.581
2021	8.696.890	4.348.445	6.396.804	3.198.402
2022	10.740.470	5.370.235	8.257.971	4.128.985
2023	12.475.314	6.237.657	10.002.418	5.001.209
2024	10.376.514	5.188.257	9.249.217	4.624.609
2025	8.630.809	4.315.404	8.552.734	4.276.367
2026	7.178.794	3.589.397	7.908.698	3.954.349
2027	5.971.061	2.985.530	7.313.158	3.656.579
2028	4.966.512	2.483.256	6.762.464	3.381.232
2029	4.130.965	2.065.482	6.253.238	3.126.619
2030	3.435.987	1.717.993	5.782.358	2.891.179
2031	2.857.929	1.428.965	5.346.936	2.673.468
2032	2.377.122	1.188.561	4.944.302	2.472.151
2033	1.977.204	988.602	4.571.987	2.285.993
2034	1.644.567	822.283	4.227.708	2.113.854
2035	1.367.891	683.946	3.909.354	1.954.677
2036	1.137.762	568.881	3.614.972	1.807.486
2037	946.349	473.175	3.342.758	1.671.379
2038	787.139	393.570	3.091.043	1.545.521
2039	654.714	327.357	2.858.281	1.429.141
2040	544.567	272.284	2.643.048	1.321.524
2041	452.951	226.476	2.444.021	1.222.011
2042	376.748	188.374	2.259.982	1.129.991
2043	313.366	156.683	2.089.801	1.044.901
2044	260.646	130.323	1.932.435	966.218
2045	216.796	108.398	1.786.919	893.460
2046	180.323	90.162	1.652.361	826.181
2047	149.986	74.993	1.527.935	763.968
2048	124.753	62.377	1.412.879	706.440
2049	103.765	51.883	1.306.487	653.243
2050	86.308	43.154	1.208.106	604.053
2051	71.788	35.894	1.117.133	558.567
2052	59.711	29.855	1.033.011	516.506
2053	49.665	24.833	955.223	477.612

Çizelge C.1 Tabasaran–Rettenberger modeli depo gazı ve metan sonuçları (2.lot) (devam ediyor).

2054	41.310	20.655	883.293	441.647
2055	34.360	17.180	816.780	408.390
2056	28.579	14.290	755.275	377.637
2057	23.771	11.886	698.401	349.201
2058	19.772	9.886	645.810	322.905
2059	16.446	8.223	597.180	298.590
2060	13.679	6.839	552.211	276.105
2061	11.378	5.689	510.628	255.314
2062	9.463	4.732	472.177	236.089
2063	7.871	3.936	436.621	218.311
2064	6.547	3.274	403.743	201.871
2065	5.446	2.723	373.340	186.670
2066	4.530	2.265	345.227	172.614
2067	3.767	1.884	319.231	159.615
2068	3.134	1.567	295.192	147.596
2069	2.606	1.303	272.964	136.482
2070	2.168	1.084	252.409	126.205
2071	1.803	902	233.402	116.701
2072	1.500	750	215.827	107.913
2073	1.248	624	199.574	99.787
2074	1.038	519	184.546	92.273
2075	863,08	432	170.649	85.325
2076	717,88	359	157.799	78.900
2077	597,11	299	145.917	72.958
2078	496,65	248	134.929	67.464
2079	413,10	207	124.769	62.384
2080	343,60	172	115.373	57.687
2081	285,79	143	106.685	53.343
2082	237,71	119	98.652	49.326
2083	197,72	99	91.223	45.612
2084	164,46	82	84.354	42.177
2085	136,79	68	78.002	39.001
2086	113,78	57	72.128	36.064
2087	94,63	47	66.697	33.348
2088	78,71	39	61.674	30.837
2089	65,47	33	57.030	28.515
2090	54,46	27	52.736	26.368
2091	45,30	23	48.765	24.382
2092	37,67	19	45.093	22.546
2093	31,34	16	41.697	20.849
2094	26,06	13	38.557	19.279
2095	21,68	11	35.654	17.827

Çizelge C.1 Tabasaran–Rettenberger modeli depo gazı ve metan sonuçları (2.lot) (devam ediyor).

2096	18,03	9	32.969	16.484
2097	15,00	7	30.486	15.243
2098	12,48	6	28.191	14.095
2099	10,38	5	26.068	13.034
2100	8,63	4	24.105	12.052
2101	7,18	4	22.290	11.145
2102	5,97	3	20.611	10.306
2103	4,97	2	19.059	9.530
2104	4,13	2	17.624	8.812
2105	3,44	1,72	16.297	8.148
2106	2,86	1,43	15.070	7.535
2107	2,38	1,19	13.935	6.967
2108	1,98	0,99	12.886	6.443
2109	1,64	0,82	11.915	5.958
2110	1,37	0,68	11.018	5.509
2111	1,14	0,57	10.188	5.094
2112	0,95	0,47	9.421	4.711
2113	0,79	0,39	8.712	4.356
2114	0,65	0,33	8.056	4.028
2115	0,54	0,27	7.449	3.725
2116	0,45	0,23	6.888	3.444
2117	0,38	0,19	6.369	3.185
2118	0,31	0,16	5.890	2.945
2119	0,26	0,13	5.446	2.723
2120	0,22	0,11	5.036	2.518
2121	0,18	0,09	4.657	2.328
2122	0,15	0,07	4.306	2.153
2123	0,12	0,06	3.982	1.991
2124	0,10	0,05	3.682	1.841
2125	0,09	0,04	3.405	1.702
2126	0,07	0,04	3.149	1.574
2127	0,06	0,03	2.911	1.456
2128	0,05	0,02	2.692	1.346
2129	0,04	0,02	2.489	1.245
2130	0,0344	0,017	2.302	1.151
2131	0,0286	0,014	2.129	1.064
2132	0,0238	0,012	1.968	984
2133	0,0198	0,010	1.820	910
2134	0,0164	0,008	1.683	842
2135	0,0137	0,007	1.556	778
2136	0,0114	0,006	1.439	720
2137	0,0095	0,005	1.331	665

Çizelge C.1 Tabasaran–Rettenberger modeli depo gazı ve metan sonuçları (2.lot) (devam ediyor).

2138	0,0079	0,004	1.231	615
2139	0,0065	0,003	1.138	569
2140	0,0054	0,003	1.052	526
2141	0,0045	0,002	973	486
2142	0,0038	0,002	900	450
2143	0,0031	0,002	832	416
2144	0,0026	0,001	769	385
2145	0,0022	0,001	711	356
2146	0,0018	0,001	658	329
2147	0,0015	0,001	608	304
2148	0,0012	0,001	562	281
2149	0,0010	0,00052	520	260
2150	0,0009	0,00043	481	240
2151	0,0007	0,00036	445	222
2152	0,0006	0,00030	411	206
2153	0,0005	0,00025	380	190
2154	0,0004	0,00021	352	176
2155	0,0003	0,00017	325	163
2156	0,0003	0,00014	301	150
2157	0,0002	0,00012	278	139
2158	0,0002	0,00010	257	129
2159	0,0010	0,00052	520	260
TOPLAM	103.291.979	51.645.989	154.176.281	77.088.141

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Fatih KOÇ 1990 Trabzon'un Of ilçesinde doğdu; ilkokulu Zonguldak Yayla İlköğretim okulunda tamamladı, lise öğrenimini Zonguldak Fener Lisesinde tamamladı. 2008 yılında Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Çevre Mühendisliği'ni kazanmıştır. 2013 yılında mezun olduktan sonra Ocak 2014 – Aralık 2016 tarihleri arasında Kütahya Katı Atık Düzenli Depolama Sahası sorumlusu olarak çalıştı. Ocak 2017 tarihinden itibaren Zonguldak Katı Atık Düzenli Depolama Sahası sorumlusu olarak çalışma hayatına devam etmektedir. 2016 yılında Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans programına başladı.

ADRES BİLGİLERİ:

Adres: Merkez Mahallesi eski Ereğli yolu caddesi Mustafa Boran apartmanı No 305 daire 12
Kozlu/Zonguldak

Telefon: (530) 112 74 61

E-posta: k.mehmetfatih@hotmail.com