

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SAKARYA İLİ KATI ATIK DÜZENLİ DEPOLAMA
SAHASINDA DEPO GAZININ (LFG) İZLENEREK ENERJİ ELDE
ETME POTANSİYELİNİN DEĞERLENDİRMESİ**

DOKTORA TEZİ

Ernam ÖZTÜRK

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

HAZİRAN 2024

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SAKARYA İLİ KATI ATIK DÜZENLİ DEPOLAMA
SAHASINDA DEPO GAZININ (LFG) İZLENEREK ENERJİ ELDE
ETME POTANSİYELİNİN DEĞERLENDİRMESİ

DOKTORA TEZİ

Ernam ÖZTÜRK

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç.Dr. Aliye Suna ERSES YAY

HAZİRAN 2024

Ernam ÖZTÜRK tarafından hazırlanan “SAKARYA İLİ KATI ATIK DÜZENLİ DEPOLAMA SAHASINDA DEPO GAZININ (LFG) İZLENEREK ENERJİ ELDE ETME POTANSİYELİNİN DEĞERLENDİRMESİ” adlı tez çalışması 07.06.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı : **Prof.Dr. Nurtaç ÖZ**
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Doç.Dr. Aliye Suna ERSES YAY (Danışman)**.....
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Doç.Dr. Ömer Hulusi DEDE**
Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Doç.Dr. Füsun BOYSAN**
(Gerekliyse) Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Doç.Dr. Tekin YEKEN**
(Gerekliyse) Kocaeli Üniversitesi



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “SAKARYA İLİ KATI ATIK DÜZENLİ DEPOLAMA SAHASINDA DEPO GAZININ (LFG) İZLENEREK ENERJİ ELDE ETME POTANSİYELİNİN DEĞERLENDİRMESİ” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(...../...../2024).

Ernam ÖZTÜRK





Eşim 'e ithafen



TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Doç. Dr. Aliye SUNA ERSES YAY'a teşekkürlerimi sunarım.

Saha çalışmaları sırasında Sakarya katı atık düzenli depolama tesisinde, bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen; Saha Yönetici Mühendisi Yasin beye, Çevre Mühendisi Sinan beye, formen İbrahim beye ve tüm çalışanlara teşekkür ederim.

Makale çalışmalarına büyük katkı sağlayan Doç.Dr. Tekin YEKEN, Doç.Dr. Fuat KARA, Dr. Öğr. Üyesi Ömer ERKAN ve Dr. Öğr. Üyesi Serdar KIRIŞOĞLU hocalarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Her zaman manevi destekleri ile yanımda olan ve tez çalışmam boyunca sabır ve tahammül gösteren sevgili eşim Yasemin ÖZTÜRK'e çok teşekkür ederim.

Tüm eğitim hayatımda maddi ve manevi desteği olan sevgili Annem Sultan ÖZTÜRK ve Babam Yaşar ÖZTÜRK'e çok teşekkür ederim.

Ayrıca bu çalışmanın maddi açıdan desteklenmesine olanak sağlayan Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Komisyon Başkanlığına (Proje No: 2018-2-9-244 teşekkür ederim.

Ernam ÖZTÜRK



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	v
TEŞEKKÜR	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xiii
SİMGELER	xv
TABLO LİSTESİ	xvii
ŞEKİL LİSTESİ	xix
ÖZET	xxiii
SUMMARY	xxv
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Kapsamı	4
1.2. Tezin Amacı	5
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	7
2.1. Katı Atık Tanımı ve Sınıflaması	7
2.1.1. Katı atığın karakterizasyonu ve kompozisyonu	8
2.1.2. Entegre katı atık yönetimi	10
2.1.2.1. Entegre atık yönetimin özellikleri	12
2.2. Düzenli Depolama ve Stabilizasyon	14
2.2.1. Düzenli depolama alanında meydana gelen fiziksel, kimyasal ve biyolojik aktiviteler	18
2.3. Düzenli Depolamada Biyogaz Oluşumu ve Kontrol Faktörleri	20
2.3.1. Depo gazı oluşumuna etki eden faktörler	22
2.4. Depo Gazı Yönetimi	23
2.4.1. Kojenerasyon ve trijenerasyon sistemleri	24
2.4.1.1. Motor bazlı kojenerasyon sistemi	26
2.4.1.2. Türbin bazlı kojenerasyon sistemi	30
2.4.1.3. Yakıt pilli bazlı kojenerasyon sistemi	36
2.4.2. Depo gazının direkt kullanımı	38
2.5. Depo Gazı Modellemesi ve Temel Parametreleri	38
2.5.1. Gaz modelleme sınıflandırılması	43
2.5.1.1. Sıfıncı dereceden model	43
2.5.1.2. Sabit oranlı model	45
2.5.1.3. Birinci dereceden model	45
2.5.1.4. Çok fazlı model	46
2.5.1.5. İkinci dereceden model	47
2.5.1.6. LandGEM model	47
2.5.1.7. Scholl canyon model	48
2.5.1.8. Tabasaran model	50
2.5.1.9. TNO model (Tek fazlı model)	50
2.5.1.10. Afvalzorg model (Çok fazlı model)	51
2.5.1.11. LMOP model (EPA's Landfill methane outreach program)	51

2.5.1.12. WEBER model.....	52
2.5.1.13. IPCC model.....	53
3. LİTERATÜR ÇALIŞMASI	55
3.1. Depo Gazının Tahminine Yönelik Yapılan Çalışmalar.....	55
3.1.1. Voroni diagramı	55
3.1.2. Fuzzy değerlendirme	55
3.1.3. Yapay sinir ağı model	56
3.1.4. IPCC, Tabasaran/Rettenbeger, German EPER, TNO, LandGEM, Scholl canyon modeller.	56
3.2. Dünyada ve Türkiyede Biyogazlar ve Düzenli Depolama Biyogazların Önemi	58
4. MATERYAL VE YÖNTEM.....	73
4.1. Saha Çalışması.....	73
4.1.1. Saha çalışma alanı ve tanımı	73
4.1.2. Depogazı drenaj bacası.....	74
4.1.3. Depogazı ölçümü.....	76
4.2. Laboratuvar Çalışması.....	77
4.2.1. Reaktörlerin dizaynı ve sahadan örnek numune toplanması.....	77
4.2.2. Reaktörlerin işletilmesi	82
4.2.2.1. Sızıntı suyu hesaplanması ve sızıntı suyu geri devri.....	82
4.2.2.2. pH, iletkenlik ve kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) analizleri	84
4.2.2.3. Gaz kromatografisi ve gaz konsantrasyonu analizi	85
4.3. Modelleme Çalışması	86
4.4. Coğrafi Bilgi Sistemleri Haritalama Çalışması	88
5. ARAŞTIRMA BULGULARI	91
5.1. Katı Atık Sahasından Elde Edilen Gaz Ölçümleri	91
5.2. Gaz Bacalarından Yayılan (CH ₄ , CO ₂ , H ₂ S, CO, H ₂ , O ₂) Emisyonların Mekânsal Dağılımları	97
5.3. Sakarya İli Düzenli Katı Atık Depolama Sahasından ve Reaktörlerden Elde Edilen Sızıntısu Analizleri.....	103
5.3.1. Katı atık sahasından elde edilen sızıntısu analizler.....	103
5.3.2. Reaktörlerden elde edilen sızıntı suyu analizleri.....	105
5.4. Modellerdeki Sabit Değerler ve Katsayıların Belirlenmesi.....	108
5.5. IPCC 2006 Sera Gazı Envanter Yönergesinde Varsayılan (k) ve (Lo) Değerlerine Göre Model Sonuçları	108
5.6. Sahadaki Sızıntısu Verileri ve Bölgenin İklim Değerleri ile Excel Regresyon da Hesaplanan (k=0,45) ve (Lo=157) Verilerine Göre Model Sonuçları	123
5.7. Reaktörlerdeki Sızıntı suyu Verileri ile Excel Regresyon da Hesaplanan (k=0,60) ve (Lo=157) Verilerine Göre Model Sonuçları	127
5.8. Sahada Üretilen Enerji ve Model Sonuçlarından Hesaplanan Enerji.....	132
6. SONUÇLAR	155
KAYNAKLAR.....	163
EKLER.....	181
ÖZGEÇMİŞ.....	207

KISALTMALAR

AC	: Alternative Current
ARGE	: Araştırma ve Geliştirme
AFC	: Alkaline Fuel Cells
BOİ	: Biyolojik Oksijen İhtiyacı
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
DOC	: Degradable Organic Carbon
DC	: Direct Current
EG	: Emission Guess
ESRİ	: Coğrafi Bilgi Hizmetleri Firma İsmi
ETS	: Emission Trading System
EPER	: European Pollutant Emission Register
TPTZ	: Tripiridil-s-triazin
gWh	: Giga Watt Hour
GHG	: Green House Gas
GB	: Gaz Bacası
GW	: Giga Watt
GC	: Gas Chromatography
HDPE	: High Density Polyethylene
IPCC	: Intergovernmental Panel on Climate Change
ICE	: Internal Combustion Engine
IDW	: Inverse Distance Weighting
kWh	: Kilo Watt Hour
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
LMOP	: Landfill Methane Outreach Program
LEAP	: Long Energy Alternative Planing System
LDPE	: Low Density Polyethylene
LFG	: Landfill Gas
LPG	: Liquefied Petroleum Gas
MWh	: Mega Watt Hour
MW	: Mega Watt

MTEP	: Milyon Ton Eşdeğer Petrol
MSW	: Municipal Solid Waste
MCFC	: Molten Carbonate Fuel Cells
ORÇ	: Organik Rankine Çevirimi
PET	: Polietilen Tereftalat
Ppm	: Parts Per Million
PAFC	: Phosphonic Acid Fuel Cells
PEMFC	: Proton Exchange Membrane Fuel Cells
SOFC	: Solid Oxide Fuel Cells
TNO	: The Netherlands Organization
TOC	: Total Organic Carbon
TWh	: Terra Watt Hour
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
USEPA	: United States Environmental Protection Agency
UYA	: Uçucu Yağ Asidi
VOC	: Volatile Organic Compound
WMO	: World Meteorology Organization

SİMGELER

k	: Metan Üretim Sabiti [yıl^{-1}]
Lo	: Metan Üretim Potansiyeli [$\text{kg karbon/ton atık}$]
F	: Çöp gazındaki metan kısmı
t	: Zaman [Yıl]
Q	: Zamana bağlı olabilecek gaz miktarı [$\text{m}^3/\text{yıl}$]
M	: Depolanmış Atık Miktarı [Ton]
to	: Bekleme zamanı
tf	: Üretimin sonlanacağı zaman
t^{1/2}	: Yarı Ömür [Yıl]
kr	: Hızlı ayrışan atıklar için birinci dereceden ayrışma sabiti
ks	: Yavaş ayrışan atıklar için birinci dereceden ayrışma sabiti
Fr	: Hızlı ayrışan atıkların oranı
Fs	: Yavaş ayrışan atıkların oranı
i	: Zaman artışı [Yıl]
n	: Hesaplama yılı [Yıl]
j	: Yıllık zaman artışı [Yıl]
Mi	: i yılında kabul edilen atık kütlesi [mg]
tij	: i yılında kabul edilmiş atık kütlesinin j kısmının yaşıdır.
R_{avg}	: Ortalama yıllık atık kabul oranı [t/yıl]
C	: Depolama alanının kapatılmasından bu yana geçen süre [Yıl]
T	: İlk atık yerleştirilmesinden bu yana geçen süre [Yıl]
Ri	: i yılında yerleştirilmiş atığın miktarı [t/yıl]
Gorg	: Organik karbon muhtevası [$\text{kg karbon/ton atık}$]
ζ	: Düzeltme katsayısı
Co	: Atık içindeki organik karbon miktarı [$\text{kg karbon/ton atık}$]
MFC	: Metan düzeltme faktörü
f	: Depo gazı içindeki metan oranı
at	: Reaksiyon sabiti [yıl^{-1}]
fao	: Atık depolandıktan sonra ilk altı ay için düzeltme katsayısı
fa	: Ayrışma katsayısı
fs	: Gaz toplama verimi

R	: Depo sahasından elde edilmiş metan miktarı [ton/yıl]
OX	: Oksidasyon faktörü
x	: Katı atık miktarının bertarafında geçmiş yıllar
zi	: Bilinen nokta
di	: Bilinen uzaklık
p	: Hücrenin derecesi
Zp	: Hesaplanacak nokta
V	: Akış hızı [m/s]
A	: Alan [m ²]
D	: Boru iç çapı [mm]
L	: Boru boyu [km]
P	: Basınç [paskal]
S	: Gaz yoğunluğu [kg/Nm ³]
T	: Gazın sıcaklığı [°C]

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1. Türkiye'de Elektrik Üretimi (MWh) (2023) [7]	2
Tablo 2.1. Atık bertaraf sistemlerin karşılaştırılması [21]	12
Tablo 2.2. Yakıt pilleri arasındaki farklar [67]	37
Tablo 3.1. Türkiye genelinde düzenli depolama sahalarının işletme envanteri [106]..	68
Tablo 4.1. Gaz Bacalarının Derinlikleri	77
Tablo 4.2. Sızıntı suyu hesaplaması için kabüller	83
Tablo 4.3. Sızıntı suyu hesaplaması için kullanılan formüller	83
Tablo 4.4. Sahadaki yağış miktarı, buharlaşma, sızıntı suyu ve atık miktarına göre reaktörler için sızıntı suyu hesaplaması	83
Tablo 4.5. Modeller ve formülasyon değerleri	87
Tablo 5.1. Gaz bacası alanına göre ortalama metan ($m^3/saat$) değerleri	92
Tablo 5.2. Yüzey alanına göre metan debisi değişimi.....	93
Tablo 5.3. Modellerdeki sabit değerler, katsayılar, belirlenen değerleri ve kaynağı	108
Tablo 5.4. IPCC 2006 sera gazı envanter yönergesinde varsayılan metan üretim oranı [118]	109
Tablo 5.5. IPCC 2006 sera gazı envanter yönergesinde belirtilen Sıcaklık, yağış ve potansiyel bitki su tüketim değerleri [118]	110
Tablo 5.6. EPA'ya göre metan üretim potansiyeli (Lo) varsayılan değerleri [88]..	110
Tablo 5.7. IPCC 2006 sera gazı envanter yönergesinde varsayılan ($k=0,06$) ve ($Lo=157$) değerlerine göre hesaplanan metan ($m^3/yıl$) sonuçları.....	110
Tablo 5.8. IPCC 2006 sera gazı envanteri yönergesinde varsayılan ($k=0,185$) ve ($Lo=157$) değerlerine göre hesaplanan metan ($m^3/yıl$) sonuçları.....	113
Tablo 5.9. IPCC 2006 sera gazı envanteri yönergesinde varsayılan ($k=0,05$) ve ($Lo=157$) değerlerine göre hesaplanan metan ($m^3/yıl$) sonuçları.....	116
Tablo 5.10. IPCC 2006 sera gazı envanteri yönergesinde varsayılan ($k=0,09$) ve ($Lo=157$) değerlerine göre hesaplanan metan ($m^3/yıl$) sonuçları.....	119
Tablo 5.11. Sahanın sızıntı suyu verileri (KOİ-BOİ-pH) ve bölgenin iklim verileri (Ort. sıcaklık, toplam yağış, Ort. nem) ve Ort. metan salınımı [117]	124
Tablo 5.12. Saha verilerinden belirlenen ($k=0,45$) ve EPA'ya göre belirlenen ($Lo=157$) sabit değerlere göre hesaplanan model sonuçları	125
Tablo 5.13. Reaktör 1'in regresyon analizinde kullanılan değerler	128
Tablo 5.14. Reaktör 2'nin regresyon analizinde kullanılan değerler	129
Tablo 5.15. Reaktör verilerinden belirlenen ($k=0,60$) ve EPA'ya göre belirlenen ($Lo=157$) sabit değerlere göre hesaplanan model sonuçları	130
Tablo 5.16. ($k = 0,06$ ve $Lo = 157$) sabit değerlerine göre tahmini enerji miktarı (kWh)	135
Tablo 5.17. ($k = 0,185$ ve $Lo = 157$) sabit değerlerine göre tahmini enerji miktarı (kWh)	136
Tablo 5.18. ($k = 0,05$ ve $Lo = 157$) sabit değerlerine göre tahmini enerji miktarı (kWh)	140

Tablo 5.19. ($k = 0,09$ ve $Lo = 157$) sabit değerlerine göre tahmini enerji miktarı (kWh)	142
Tablo 5.20. ($k=0,45$ ve $Lo=157$) sabit değerlerine göre tahmini enerji miktarı (kWh)	146
Tablo 5.21. ($k=0,60$ ve $Lo=157$) sabit değerlerine göre tahmini enerji miktarı (kWh)	149



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Katı Atık Sınıflaması [11]	7
Şekil 2.2. Entegre atık yönetim sistemin hiyerarşisi [21]	11
Şekil 2.3. Entegre Atık Yönetimi Akış Diyagramı [22]	13
Şekil 2.4. Katı Atık Düzenli Depolama Sahası Yapım Aşamaları [23]	15
Şekil 2.5. Katı Atık Düzenli Depolama Enine Kesit [23]	17
Şekil 2.6. Katı Atık Düzenli Depolama Sahası Enine Kesiti	18
Şekil 2.7. Anaerobik ayrışma safhaları ve nemli bakteri grupları [33]	20
Şekil 2.8. Biyolojik bozunma fazları ve gaz oluşum süreçleri [34]	21
Şekil 2.9. Kojenerasyon ve Tjinereasyon sistemleri [49]	25
Şekil 2.10. Belli yakıt kaynaklarından kojenerasyonun elektrik ve ısı üretimi	25
Şekil 2.11. Yakıt Pili Bazlı Kojenerasyon sistemlerin şematik gösterimi [50]	26
Şekil 2.12. Kojenerasyon sistemlerin şematik gösterimi [51]	26
Şekil 2.13. İçten Yanmalı Pistonlu Motorun Genel Görünümü [52]	27
Şekil 2.14. İçten yanmalı Pistonlu Motor kojenerasyon sistemi [52]	27
Şekil 2.15. Tipik, dört zamanlı bir devir, içten yanmalı pistonlu motorun piston bileşenleri [53]	28
Şekil 2.16. Stirling motor genel görünüm [55]	29
Şekil 2.17. Stirling Motor Türleri [55]	29
Şekil 2.18. Gaz Türbin [58]	30
Şekil 2.19. Gaz Türbin Genel İşletimi [58]	31
Şekil 2.20. Buhar Türbini Genel Görünümü [59]	32
Şekil 2.21. Buhar Türbinleri Çalışma Prensibi [60]	32
Şekil 2.22. Mikrogaz Türbin Kesit Görünüm [61]	33
Şekil 2.23. Mikrogaz Türbin Genel Görünüm [62]	33
Şekil 2.24. Mikrogaz Türbin Genel İşletim [62]	34
Şekil 2.25. Organik Rankine Çeviriminin elemanları [64]	35
Şekil 2.26. Organik Rankine Çeviriminin Çalışma Prensibi [64]	35
Şekil 2.27. Proton dönüşüm zarlı yakıt pilli ve bileşenleri [65]	36
Şekil 2.28. Tek Bir Yakıt Hücresi [65]	37
Şekil 2.29. Birinci dereceden model ile gaz oluşum tahmini [45]	43
Şekil 2.30. Sıfırıncı dereceden model ile yapılmış bir modelleme [45]	44
Şekil 2.31. Sabit Oranlı Model	45
Şekil 3.1. Dünya bölgelerinde gelecekte birikecek Atık Miktarı [97]	59
Şekil 3.2. Dünya Atık Bileşimi [97]	59
Şekil 3.3. Sera gazına etki eden emisyonlar [97]	60
Şekil 3.4. 2016 Yılı için İsveç’de kurulmuş biogaz tesis sayısı ve bu tesislerden üretilmiş gaz oranlarının ülke genelinde üretilmiş toplam gaz miktarına oranları [101]	62
Şekil 3.5. 2016 Yılı için İsveç’de kurulmuş biyogaz tesislerinden üretilen toplam biyogazın sektörel olarak kullanımı [102]	63

Şekil 3.6. 2011 ve 2019 yılları arasında Almanya da biyogaz tesis sayısı ve elektrik üretim potansiyelleri [103]	63
Şekil 3.7. 2015 yılı için Almanya'nın biyogaz üretimin sektörel olarak kullanımı [103]	64
Şekil 3.8. Almanya da yenilebilir enerji kaynakların oransal dağılımı [103]	64
Şekil 3.9. Almanya da biyogaz enerjinin oluşum türleri [103]	65
Şekil 3.10. 2016 yılı için Güney Kore biyogaz tesis envanteri [104, 105]	65
Şekil 3.11. Güney Korede 2016 yılı için üretilen biyogazın kullanımı [104, 105]....	66
Şekil 3.12. 2016 yılı için Türkiye'nin yenilebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi [107]	67
Şekil 3.13. Türkiye'nin düzenli depolama sahası envanteri ve işletme seviyeleri [106]	68
Şekil 3.14. Türkiye'nin Düzenli depolama sahalarında elektrik üretimi yapan santraller [106, 110]	69
Şekil 3.15. Türkiye'nin Düzenli depolama biyogaz tesisleri hariç diğer biyogaz tesis envanteri [106, 110]	69
Şekil 3.16. (2000-2016) yılları arası biyogazdan 5000 GWh üstü elektrik üretimi yapabilen G-20 ülkeleri [107]	70
Şekil 3.17. (2000-2016) yılları arası biyogazdan 5000 GWh altı elektrik üretimi yapabilen G-20 ülkeleri [107]	71
Şekil 4.1. Sahanın Genel Görünümü ve Sahanın Animasyon Görünümü	73
Şekil 4.2. Sahada gaz bacaların konumları	74
Şekil 4.3. Sahanın uydu resmi.....	74
Şekil 4.4. HDPE jeogrid örneği	75
Şekil 4.5. Depo Gazı Drenaj Bacası Tip Kesiti.....	75
Şekil 4.6. Depo Gazı Bacaları	75
Şekil 4.7. Sahada emsiyon gaz ölçümü a) sünger kılıf geçirilmesi b) Kablo ve pet şişe yerleştirilmesi c) Portatif gaz cihazı d) Gaz ölçümü	76
Şekil 4.8. Sahadan örnek numune toplanması	77
Şekil 4.9. Reaktörlerin alt sızıntısu haznesi	78
Şekil 4.10. Örnek Katı numunelerin istiflenmesi a) Kesimi b) Ayırımı c) Tartımı ç) Harmanlaması.....	78
Şekil 4.11. Reaktörlerin alt tabanı.....	79
Şekil 4.12. Katı atık örnek numunelerin reaktörlere yerleşimi	79
Şekil 4.13. Reaktör kapakların kapatılması ve üst aparatların yapımı	80
Şekil 4.14. Reaktörlerin bağlantı noktaların köpüklenmesi	80
Şekil 4.15. Reaktörlerde gaz sızıntı kontrol	80
Şekil 4.16. Reaktörlere saf su eklenmesi ve ısıtıcı suyun doldurulması	81
Şekil 4.17. Reaktörlere gazbaglerin takılması ve reaktörlerin işletilme sürecin başlaması	81
Şekil 4.18. Reaktörlerin enine kesit çizimi	82
Şekil 4.19. Sızıntı suyunda pH ölçümü	84
Şekil 4.20. Sızıntı suyun da iletkenlik ölçümü.....	84
Şekil 4.21. Sızıntı suyun da KOİ ölçümü.....	85
Şekil 4.22. Gazbaglerden alınan gaz verileri ile gaz konsantrasyonunun ölçümü.....	86
Şekil 4.23. Gazbaglerde biriken gaz miktarının ölçümü.....	86
Şekil 4.24. Örnek EPA modelleme hesaplaması [114]	88
Şekil 4.25. Topoğrafik alanda belirlenen üç nokta [115]	89
Şekil 5.1. Emisyonların akış hızı ve geçiş alanları [116]	91
Şekil 5.2. Gaz bacalarında ölçüm aparatları	92

Şekil 5.3. Alana göre ortalama toplam metan değerleri.....	93
Şekil 5.4. (2013 ile 2018) yılları arasında gaz bacaların toplam metan($m^3/saat$) değerleri ve gaz bacaların derinliği (m)	94
Şekil 5.5. Artış miktarı olan ortalama metan değerleri.....	95
Şekil 5.6. Azalış miktarı olan ortalama metan değerleri	96
Şekil 5.7. (2013 ile 2018) yılları arasında toplam CH_4 'ün mekânsal dağılımı.....	98
Şekil 5.8. (2013 ile 2018) yılları arasında toplam CO_2 'nin mekânsal dağılımı.....	99
Şekil 5.9. (2013 ile 2018) yılları arasında toplam H_2S 'in mekânsal dağılımı	100
Şekil 5.10. (2013 ile 2015) yılları arasında toplam CO 'nun mekânsal dağılımı	101
Şekil 5.11. (2016 ile 2018) yılları arasında toplam H_2 'nin mekânsal dağılımı	102
Şekil 5.12. (2013 ile 2018) yılları arasında toplam O_2 'nin mekânsal dağılımı	103
Şekil 5.13. Sahada sızıntı suyun'dan elde edilen 2014 ile 2017 yılları arasındaki KOI ve $BOİ$ değerleri.....	104
Şekil 5.14. Sahada sızıntı suyun'dan elde edilen 2014 ile 2017 yılları arasındaki pH değerleri.....	104
Şekil 5.15. İkili reaktör sisteminin ölçülen sıcaklık ($^{\circ}C$) değerleri.....	105
Şekil 5.16. İkili reaktör sisteminin ölçülen pH değerleri	105
Şekil 5.17. İkili reaktör sisteminin ölçülen iletkenlik (ms/cm) değerleri	106
Şekil 5.18. İkili reaktör sisteminin ölçülen KOI (mg/L) değerleri	106
Şekil 5.19. İkili reaktör sisteminin ölçülen gaz miktarı (ml) değerleri.....	107
Şekil 5.20. İkili reaktör sisteminin ölçülen metan($\%CH_4$) değerleri	107
Şekil 5.21. ($k=0,06$ ve $Lo = 157$) değerlerine göre 59 yıllık model sonuçları.....	112
Şekil 5.22. ($k=0,185$ ve $Lo = 157$) değerlerine göre 59 yıllık model sonuçları.....	115
Şekil 5.23. ($k=0,05$ ve $Lo = 157$) değerlerine göre 59 yıllık model sonuçları.....	118
Şekil 5.24. ($k=0,09$ ve $Lo = 157$) değerlerine göre 59 yıllık model sonuçları.....	120
Şekil 5.25. Model sonuçları, gaz bacası konumları ve 6 yıllık Metan(CH_4) gazı emsiyon verileri ve mekansal dağılımı ve sahaya gelen çöplerin dağıtım yönleri	121
Şekil 5.26. Model değerleri ile saha değerlerin karşılaştırması	123
Şekil 5.27. ($k=0,45$ ve $Lo = 157$) değerlerine göre 59 yıllık model sonuçları.....	126
Şekil 5.28. ($k=0,60$ ve $Lo=157$) değerlerine göre 59 yıllık model sonuçları.....	131
Şekil 5.29. Çöp sahasının yer altından gelen yatay gaz borular	133
Şekil 5.30. Yatay boruların birleşip tek gaz borusu halinde çıkışı	133
Şekil 5.31. Gaz motorları ve koruyucu konteynırlar.....	133
Şekil 5.32. Tesis de gaz emsiyon değerini gösteren ekran görüntüsü	134
Şekil 5.33. Saha verileri ile modeller arasındaki (2013 ile 2018) yılları arasında 6 yıl için toplam elektrik enerji değerleri (kWh) ($k=0,06$ ve $Lo=157$ ye göre)	138
Şekil 5.34. Modellerin (2013 ile 2018) yılları arasında 6 yıl için toplam elektrik enerji değerleri (kWh) ($k=0,185$ ve $Lo=157$ ye göre).....	138
Şekil 5.35. Metan üretim sabiti ($k=0,06$) ve ($Lo=157$)'ye göre 2019 yılı için modellerin enerji dönüşümü ve Tesisde üretilen enerji	139
Şekil 5.36. Metan üretim sabiti ($k=0,185$) ve ($Lo=157$)'ye göre 2019 yılı için modellerin enerji dönüşümü ve tesis'de üretilen enerji	140
Şekil 5.37. Modellerin (2013 ile 2018) yılları arasında 6 yıl için toplam elektrik enerji değerleri (kWh) ($k=0,05$ ve $Lo=157$ ye göre).....	143
Şekil 5.38. Modeller arasındaki (2013 ile 2018) yılları arasında 6 yıl için toplam elektrik enerji değerleri (kWh) ($k=0,09$ ve $Lo=157$ ye göre)	144
Şekil 5.39. Metan üretim sabiti ($k=0,05$) ve ($Lo=157$)'ye göre 2019 yılı için modellerin enerji dönüşümü ve tesis'de üretilen enerji	145

Şekil 5.40. Metan üretim sabiti ($k=0,09$) ve ($Lo=157$)'ye göre 2019 yılı için modellerin enerji dönüşümü ve tesis'de üretilen enerji	145
Şekil 5.41. Modeller arasındaki (2013 ile 2018) yılları arasında 6 yıl için toplam elektrik enerji değerleri (kWh) ($k=0,45$ ve $Lo=157$ ye göre).....	147
Şekil 5.42. Metan üretim sabiti ($k=0,45$) ve ($Lo=157$)'ye göre 2019 yılı için modellerin enerji dönüşümü ve sahada üretilen enerji.....	148
Şekil 5.43. Modeller arasındaki (2013 ile 2018) yılları arasında 6 yıl için toplam elektrik enerjisi değerleri ($k=0,60$ ve $Lo=157$ ye göre)	150
Şekil 5.44. Metan üretim sabiti ($k=0,60$ ve $Lo=157$)'ye göre 2019 yılı için modellerin enerji dönüşümü ve sahada üretilen enerji.....	151
Şekil 5.45. 2019 yılı için yüklenici firma tarafından sahada üretilen maximum elektrik enerjisi ile Saha değerine en yakın modellerin metan üretim sabitine(k) göre hesaplanan teorik elektrik enerjisi sonuçların karşılaştırması.....	152
Şekil 5.46. Modellerden hesaplanan 59 yıl için toplam elektrik enerji dönüşüm değerleri (kWh)	153



SAKARYA İLİ KATI ATIK DÜZENLİ DEPOLAMA SAHASINDA DEPO GAZININ (LFG) İZLENEREK ENERJİ ELDE ETME POTANSİYELİNİN DEĞERLENDİRMESİ

ÖZET

Bu çalışma da; Sakarya ili katı atık düzenli depolama sahasında 2013 ile 2018 yılları arasında portatif gaz ölçüm cihazı ile gaz emisyon potansiyeli her ay periyodik olarak, toplamda 58 ay boyunca izlenmiş ve elde edilen verilerden enerji dönüşümü verimliliği değerlendirilmiştir.

(2009-2068) yılları arası, 59 yıllık teorik metan potansiyeli hesaplaması da “Afvalzorg-Weber-LMOP-Scholl Canyon-Tabasaran-TNO-LandGEM-IPCC” modelleri kullanılmıştır. Hesaplamalar da kullanılan (k) katsayı değerleri “0,05-0,06-0,09-0,185” IPCC 2006 yönergesinden elde edilmiştir.

Sahadaki sızıntı suyu verileri “KOİ-BOİ-pH-Sıcaklık” sahanın yağış ve nem değerleri ayrıca sahada ölçülen metan değerleri kullanılarak excel regresyon hesaplamasında (k=0,45) katsayı değeri bulunmuştur.

Sahadan toplanan katı atık numuneleri ile laboratuvar da iki adet reaktör kurulmuştur. Reaktörlerdeki sızıntı suyu verileri “Sıcaklık-pH-KOİ-İletkenlik” ve metan değerleri kullanılarak excel regresyon hesaplamasında (k=0,60) katsayı değeri bulunmuştur. EPA’nın (Lo) değerleri dikkate alınarak model hesaplamaların da (Lo=157) değeri kabul sayılmıştır.

(2009-2068) yılları arası, 59 yıllık teorik metan hesaplaması da, tüm (k) değerlerinin karşılaştırması da; “Weber (k=0,05) göre; 1.753.212.239 – Weber (k=0,06) göre ; 1.812.523.382 – Weber (k=0,09) göre; 1.870.650.180 – Afvalzorg (k=0,185) göre; 1.924.869.601 – Afvalzorg (k=0,45) göre ; 4.682.115.245 – Afvalzorg (k=0,60) göre ; 6.242.820.326” m³/yıl en yüksek metan potansiyelleridir.

Sahada ölçülen metan miktarı ve teorik hesaplanan metan potansiyeli karşılıklı olarak değerlendirildi. Ayrıca 2019 yılında tesiste üretilen elektrik enerjisinin, modellerden hesaplanan elektrik enerji değerleri ile karşılık olarak değerlendirildi.

Saha daki 19 adet gaz bacalarından 2013 ile 2018 yılları için en yüksek metan salınımı “GB17-GB23-GB25-GB22-GB18-GB19-GB20-GB24” numaralı gaz bacalarında belirlenmiştir. Özellikle GB24 numaralı gaz bacasının grafik değeri modellerin altı yıllık grafik değerleri ile benzerlik göstermektedir.

Tesisde 2019 yılı için üretilmiş 42.000 kWh toplam elektrik enerjisi ile tüm (k) değerlerinin karşılaştırması da hesaplanan enerji dönüşümleri, özellikle (Weber (0,185) göre; 42.847,26 - Weber(k=0,45) göre; 47.948,70 – Scholl Canyon(0,185) göre; 42.119,16) kWh enerji değerleri ile Tesisdeki üretime en yakın modellerin Weber ve Scholl Canyon olduğu görülmektedir.

59 yıllık elektrik enerjisi hesaplamalarında, tüm (k) değerlerinin karşılaştırmasında; “Weber(k=0,05) göre; 1.303.226,68 – Weber(k=0,06) göre; 1.347.314,82 – Weber

($k=0,09$) göre; 1.390.522,59 – Afvalzorg($k=0,185$) göre; 1.430.825,86 – Weber($k=0,45$) göre; 3.480.387,24 – Afvalzorg($k=0,60$) göre; 4.640.516,33 “ kWh değerleri ile en yüksek verimli modeller Weber ve Afvalzorg modelleridir.

Katı atık düzenli depolama sahasında 19 adet gaz bacasından 2013 ile 2018 yılları arasında ölçülen metan gazında toplamda 44.726,33 m³/saat metan gazı salınımı olmuştur. Bu salınım tesisde şuan mevcut olan bir adet gaz motorunun 6 yılda üretebileceği 2.264.832.000 kWh’lik enerji potansiyelini karşılayabilir.



SAKARYA PROVINCE SOLID WASTE STORAGE BY MONITORING THE TANK GAS (LFG) ON THE FIELD ASSESSMENT OF ENERGY SERVICE POTENTIAL

SUMMARY

Located 15 km away from Sakarya city centre, between latitude-longitude coordinates (30.40 and 40.84), with an altitude of 31 m above sea level, established on an area of 17.6 hectares (total section area), Sakarya solid waste sanitary landfill consists of 3 sections. Is coming. The 1st section, which has an area of 9.7 hectares, started to receive waste in (2009). Its capacity is sufficient to store municipal wastes within the borders of Sakarya Metropolitan Municipality for approximately ten years. In the first section, 1,748,600 tons of trash will be stored from the start of waste acceptance until 2024.

In this study, the gas emission potential of 19 gas chimneys located in the Sakarya province solid waste landfill was monitored periodically every month with a portable gas measuring device between 2013 and 2018 for 58 months. The data obtained were used for weather modelling of the field, emission gas forecast modelling, and energy conversion efficiency evaluation.

Geotech biogas 5000 brand portable analyzer was used for landfill gas measurements. Measurements were made on gas chimneys by insulating them with sponge covers and pet covers to prevent gas leakage.

According to the six-year total methane (m^3/hour) emission values measured from 19 gas chimneys in the solid waste landfill between 2013 and 2018, Among the 19 gas chimneys, the graphs of gas chimneys numbered GB23 and GB22 first increased and then decreased again. Although there was a partial increase in the graphs of the other gas chimneys numbered "GB25-GB22-GB18-GB19-GB20", a decrease in methane emissions was generally observed. Despite the short depth of 6 m, the gas chimney numbered GB25 showed an excellent methane release performance according to the high methane release value of $3,713.19 \text{ m}^3/\text{hour}$. Gas chimney numbered GB17 is the gas chimney that gives the second highest methane emission value. Even though there is a partial decrease after the rapid increase in the graphic values, it has maintained its methane emission potential at a certain level. Gas emission release performances of gas chimneys in the field have varied. Factors such as the operation of the site, the climatic conditions of the region, the characteristics of the garbage waste, the leachate factor and the depth of the garbage layers create these differences. Gas chimney numbered GB23 is the deepest gas chimney with a depth of 32.5 m and is also the most efficient chimney with the highest methane gas emission value with a total methane gas value of $5388 \text{ m}^3/\text{hour}$. In general, when we minimize the negative factors affecting gas formation in gas chimneys, the measurement values we obtain from the field will confirm the theoretical values we will get.

ArcGIS 10.3 software was used to air-model emission gases emitted in the field. The inverse distance weighted interpolation method (IDW) was applied to the software

content. Inverse distance weighting interpolation estimates unknown values by specifying the degree of cell value at the closest points of the search distance. Interpolated points are calculated based on their distance from known cell values. Points closer to known values will be more affected than points further away. As a result of the model, when we examine the colour scale, brown and yellow are the regions with the highest gas emission density and the areas with the highest depth of the garbage layer. The blue and white regions are regions where the garbage layer depth is relatively shallow and gas emission density decreases.

Landfill gas models are numerical calculations used to estimate the amount of methane that can be obtained from solid waste collected in landfills over time. Landfill gas models can be generally divided into “Simple Empirical Models” and “Complex Models”. To classify the models in more detail, They can also be classified as zeroth order, first order, second order, multiphase, or a combination of different orders. The most crucial input data when modelling landfill gas are the methane gas potential (L_0), methane gas production constant (k), and period (t)—general input data used in the equations of the models. Specific coefficients are waste mass, total organic carbon, Methane gas potential (L_0), methane gas production constant (k), time (t) and exponential decay factor ($e^{-k \cdot t}$).

Taking into account the climatic conditions of Sakarya City and the garbage characteristics in the regular solid waste site, fixed data and solid waste are obtained from the methane production rates ($k = 0.05 - k = 0.06 - k = 0.09 - k = 0.185$) in the IPCC 2006 greenhouse gas inventory directive. In addition to the "COD-BOD-pH" data from the leachate samples in the landfill, the constant data ($k=0.45$) obtained from Excel regression calculation using meteorological data such as "Humidity-Temperature-Precipitation" obtained from the meteorology station directorate of Sakarya city was also submitted to the EPA. The methane production potential was determined as $L_0 = 157 \text{ m}^3/\text{hour}$. Also, in the Landgem model, the fixed values ($k=0.05$) and ($L_0=170$) in the EPA were used because they gave meagre results compared to the fixed values (k) and (L_0) given in IPCC 2006. Estimated methane production for the field was calculated using these fixed values on the "Afvalzorg-Weber-LMOP-Scoll Canyon-Tabasaran-TNO-Landgem-IPCC" models. Model calculations started in 2009 and were completed in 2068 for 59 years.

With the solid waste samples collected from the field, two reactors made of transparent plexiglass material, each with a diameter of 30 cm, a height of 50 cm and a volume of 35 L, were installed in the laboratory of Sakarya University Faculty of Environmental Engineering. Thirty-eight measurements of the leachate data "Temperature-pH-COD-Conductivity" and methane values in the reactors were made in two weeks. In gas concentration analysis, (He) gas is given to the Shimadzu GC-2014 brand gas chromatography (GC) device, the gas chromatography device is turned on, and the detector inside the device waits to warm up. When the detector rises to a certain temperature level (250 °C), a special syringe is used from the gas-filled gas bags in the reactors. The reading starts by drawing gas at a specific rate, injecting it into the gas chromatography device, and pressing the start button for approximately 40 minutes. Then, the reading takes place. This process is done separately for both reactors.

Regression calculations were made in Excel for two reactors separately from the "Temperature-Conductivity-pH-COD-Methane" data obtained from the reactors' analysis. The calculation results found a typical coefficient of 0.60 for both reactors.

Here, methane data is considered the dependent variable and other data is the independent variable. Additionally, organic waste was 40% of the calculations.

In the 59-year theoretical methane calculation between the years (2009-2068), comparison of all (k) values; “According to Weber (k=0.05); 1.753.212.239 – According to Weber (k=0.06); 1.812.523.382 – According to Weber (k=0.09); 1.870.650.180 – According to Afvalzorg (k=0.185); 1.924.869.601 – According to Afvalzorg (k=0.45); 4.682.115.245 – According to Afvalzorg (k=0.60); 6,242,820,326” m³/year is the highest methane potential.

The amount of methane measured in the field and the theoretically calculated methane potential were evaluated mutually. Of the 19 gas chimneys in the field, the highest methane emissions between 2013 and 2018 were determined in the gas chimneys numbered "GB17-GB23-GB25-GB22-GB18-GB19-GB20-GB24". In particular, the graphic value of the gas chimney numbered GB24 is similar to the six-year graphic values of the models.

In 2019, the electrical energy produced at the facility was evaluated in response to the electrical energy values calculated from the models. Calculated energy conversions of all (k) values with 42,000 kWh total electrical energy produced in the facility for 2019, especially according to “Weber (0.185); 42,847.26 - According to Weber(k=0.45); 47,948.70 – According to Scholl Canyon (0.185); It is seen that the models closest to the production at the Facility are Weber and Scholl Canyon, with energy values of 42,119.16 kWh.

In evaluating the electrical energy conversions of the models, Estimated methane release results calculated according to methane production constants (k=0.05 - k=0.06 - k=0.09 - k=0.185 - k=0.45 – k=0.60) show the calorific value of 5600 kcal methane. The required formulation calculation converted methane (m³/year) values (kWh) into electrical energy. In the comparison of all (k) values in 59 years of electrical energy calculations, “According to Weber (k=0.05); 1,303,226.68 – According to Weber(k=0.06); 1,347,314.82 – According to Weber (k=0.09); 1,390,522.59 – According to Afvalzorg(k=0,185); 1,430,825.86 – According to Weber(k=0.45); 3,480,387.24 – According to Afvalzorg(k=0.60); The highest efficiency models with 4,640,516.33 kWh values are Weber and Afvalzorg models.

Energy conversions obtained from models are minimum estimated values. There are currently three gas engines in the field with an energy capacity of 4.5 MW. The monthly production capacity of one of these gas engines is 31,456,000 kWh. If 31,456,000 kWh is produced monthly for six years with a total methane value of 44,726.34 m³/hour determined between 2013 and 2018, a total of 2,264,832,000 kWh of energy will be obtained in six years. If we accept 50% of this value as absolute values, we reach an energy value of 1,132,416,000 kWh. The monthly electrical energy need of an average house is 200 kWh. According to these values, the energy needs of 78,640 households can be met in six years. These results are promising.



1. GİRİŞ

Dünyanın nüfusun gelişim periyodu, insanoğlunun düzenli yaşama başladığı Neolitik zamanla başlar. İleriki zamanlarda da insanoğlunun oluşturduğu bilimsel teknik ilerlemeler sayesinde insanoğlunun ortalama ömrü uzağayarak nüfus artışı olmuştur. Günümüzden 11 bin yıl önce 80 milyon dolaylarında olan Dünya nüfusu 1650 llerde 500 milyona ulaşmıştır. Son 350 yılda ise, 500 milyondan 6,9 milyara yükselmiştir ve her yıl yaklaşık 97 milyon insan doğmaktadır. Günümüzde Dünya nüfusunun ortalama artış hızı %1,7'dir. Gelecekte aynı hızla artmaya devam edebilir. Araştırmacılara göre; 2075 yılında dünya nüfusunun 30 milyara kadar ulaşacağını belirtmektedirler [1].

Dünya nüfusunun hızla artması ve sanayi devriminin etkisi ile kentlerde sosyoekonomik değişimin sonuçlarına göre Dünya da ve ülkemizde katı atık miktarları da büyük oranda artmıştır.

Katı atıkların rastgele atılması veya vahşi depolamanın çevre ve insan sağlığı açısından zararlarından bazıları; Atıkların etrafa yaydığı kötü koku, rüzgarın etkisiyle atık parçaların çevreye dağılması, haşare fare gibi hijyenik olmayan canlıların üreme yeri olması, katı atık sahasında çevreye yayılan sızıntı suların yeraltı ve yerüstü temiz sulara karışması, katı atık sahasında biyolojik bozunma sonucu oluşan metan gazının yanıcı ve patlayıcı özelliği olarak sıralanabilir [2]. Katı atıkların insan sağlığı ve çevre problemlerine yol açmayacak şekilde bertaraf edilmesi gerekmektedir.

Türkiye istatistik kurumu verilerine göre; Türkiye de 2018 yılına kadar 34.533 milyon atık meydana gelmiştir, bu atık miktarından 32.209 milyon ton atık toplanmıştır. Bu toplanan atıklardan; %67'si düzenli depolama tesislerinde, %0,018 açıktan yakarak, %0,0006 gömerek, %0,3818 kompost, %3,104 diğer bertaraf yöntemleri, %11,946 diğer kazanım tesislerinde değerlendirilmiştir. 1994 yılından 2018 yılına kadar 24 yıl için; meydana gelen toplam atık miktarı %47 artmıştır. 2018 yılına kadar toplam kazanım %82,45 oranının, gelecek yıllar için %100 çıkartılması zorunludur [3].

1750 yılından beri Dünya'nın atmosferik metan konsantrasyonu yaklaşık %150 oranında artmıştır ve sera gazlarının toplam radyasyon etkisinin %20'sini metan gazı oluşturmaktadır [4].

Ayrıca; Dünya Meteoroloji Örgütünün (WMÖ) raporun da; Atmosferdeki iklime zararlı sera gazı oranının şu ana kadar yapılmış ölçümlere göre en yüksek seviyeye ulaştığını açıklamış ve Metan gazının oranı ise milyarda 1859 birime yükseldiği belirtmiştir. Bu da sanayileşme öncesi döneme göre, yüzde 257'lik bir artışa tekabül ettiğini saptanmıştır [5].

Metan gazı, karbondioksit oranla atmosferde artış düzeyi az da olsa, atmosferdeki zararlı etkisi karbondioksit göre 21 kat daha etkilidir [6].

Ülkemizde modern hayatın sürdürülebilmesi ve muasır medeniyetlerle rekabet edilebilmesi için enerji en önemli konudur. Dünya da fosil yakıtların hızla tükenmesi ayrıca fosil yakıtların küresel ısınmaya etkisi gibi insanoğlunun en önemli çevre felaketiyle karşı karşıya kalmasından dolayı küresel endüstri enerji kazanım politikasını yenilebilir enerji kaynaklarına yöneltmiştir, özellikle günümüzde hibrit ve elektrikli araçların zamanla çoğalması ve ülkelerin bu araçların kullanımını teşvik etmesi yenilebilir enerji kaynaklarının kullanımının önemi geri dönülmez bir gerçekliktir.

Tablo 1.1. Türkiyede Elektrik Üretimi (MWh) (2023) [7]

KAYNAK			Üretim (MWh)	Oran (%)
Yerli	Yenilebilir	Hidroelektrik	63.854.222	19,66
İthal	Fosil	İthal Kömür	72.123.040	22,21
İthal	Fosil	Doğalgaz	68.562.811	21,11
Yerli	Fosil	Taş Kömürü, Linyit ve Asfalt	46.168.575	14,21
Yerli	Yenilebilir	Rüzgar	34.069.728	10,49
Yerli	Yenilebilir	Güneş	18.606.601	5,73
Yerli	Yenilebilir	Jeotermal	10.997.593	3,29
Yerli	Yenilebilir	Biyogaz	9.706.500	2,99
İthal	Fosil	Fuel-Oil ve Motorin	704.781	0,22
Yerli	-	Toplam	183.403.219	56,47
İthal	-	Toplam	141.390.632	43,53
-	Yenilebilir	Toplam	137.234.644	42,26
-	Fosil	Toplam	187.559.207	57,74

Ülkemiz de 2023 yılı elektrik üretim verileri için, yukardaki tablo 1.1. incelediğimizde; Elektrik üretim kaynakları % 57,74 fosil yakıtlarından ve % 42,26 yenilebilir kaynaklardandır. İthal fosil yakıtların kullanımı % 43,53 olarak görülmektedir, Ülkemizin % 43,53'lık oranla dışa enerji bağımlılığı çok ciddi bir orandır. Küresel ısınmanın getirdiği tehlike, fosil kaynak rezervlerin tükenmesi, bölgemizde yaşanan askeri ve siyasi gerilimlerin sebeplerinden dolayı ülkemiz enerjide dışa bağımlılığını tamamen sonlandırıp yenilebilir enerji kaynaklarına yönelmesi, ülkemizin ve milletimizin istikrarı için hayati derecede önemli olduğunu göstermiştir [7].

Küresel ısınmanın sonuçlarına göre dünyada su kaynakları hızla tükenmektedir, Ülkemizde elektrik üretimi % 19,66 oranla hidroelektrik santrallerden sağlanmaktadır, su kaynakların tükenmesinden dolayı bu oranı zamanla düşmesi öngörülmektedir. Diğer yenilebilir enerji kaynaklarına baktığımızda; Rüzgar % 10,49, güneş %5,73, jeotermal %3,39, biyogaz %2,99 oranlarla fosil kaynaklara göre çok düşük olduğu görülmektedir. Özellikle % 2,99 oranla biyogaz kaynağı en düşüktür.

Biyogaz kaynaklarından çöpgazı metanın(CH_4) potansiyel kullanım miktarı artırılabilir. Ülkemizde yaklaşık kayıtlı 29 adet çöp gazı elektrik santrali vardır, bu santrallerin 2019 verilerine göre toplamda aylık 184 MW kurulu gücün üzerinde kapasiteye sahiptir. Örneğin; İstanbul şehrinden bulunan Odayeri çöp gazı santralinin aylık 45 MW kurulu güce sahiptir [7].

Tesis ayrıca Türkiye'nin en büyük biyogaz tesisi'dir. Odayeri çöp gazı santrali ortalama 225.983.513 kilovatsaat elektrik üretimi ile 68.273 kişinin günlük hayatında ihtiyaç duyduğu (konut, sanayi, metro ulaşımı, resmi daire, çevre aydınlatması gibi) tüm elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayabilir. Tesisin 2016 yılı için 299.815.110 kilovatsaat ürettiği elektriğin İstanbul için tüketim oranı % 0,67 ve ülke tüketimine oranı ise % 0,11 'dir [8].

Ülkemizde genel olarak çöp gazı kurulu tesislerin gelecekte sayılarının sürekli artış göstereceği ve şuan aktif devrede olan tesislerin elektrik üretimine katkıları önemli boyutlara ulaşması gibi faktörler. Ülkemizin enerjide dışa bağımlılığının azalmasında gelecek vaad etmektedir.

1.1. Tezin Kapsamı

Sakarya ili katı atık düzenli depolama sahası; Şehir merkezine 15 km uzaklıkta, deniz seviyesinden 31 m yükseklikte ve 17,6 hektar alanda kurulu bir düzenli depolama sahasıdır. Saha 2009 yılında atık almaya başlamış ve her yıl ortalama 20.000 ton atık gelerek günümüzde sahada yaklaşık 1.748.600 ton atık birikimi olmuştur. Bu tez çalışmasının genel kapsamı aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

a) Öncelikle kaynak araştırması yapılmıştır. Katı atığın tanımı – sınıflaması, entegre katı atık yönetimi, atığın karakterizasyonu ve kompozisyonu, depo gazı oluşumu, depolama sahasında meydana gelen kimyasal ve biyolojik aktiveler, biyogaz oluşumunu kontrol eden faktörler, depo gazı yönetimi özellikle kojenerasyon ve trijenerasyon sistemlerin genel tanıtımı, depo gazı modellemeleri ve temel parametreleri gibi konular araştırılmıştır. Literatür araştırmalarında akademik çalışmalara değinilmiş ayrıca ülkemizde ve yabancı ülkelerde kurulu olan düzenli depolama tesis envanteri hakkında bilgileri verilmiştir.

b) Saha çalışmasında; Landtec GEM5000 serisi portatif gaz ölçüm cihazı ile sahada bulunan 19 adet gaz bacalarından 2013 yılından başlanarak 2018 yılına kadar her ay periyodik olarak, toplam da 58 ay boyunca özellikle CH₄ emisyon gazı ve diğer gazlar (CO₂-O₂-H₂S-CO-H₂) ölçümleri yapılmıştır.

c) Laboratuvar çalışmasında; Sahadan toplanan katı atık numuneleri istiflenmiş. Sakarya Belediyesinin 2015 yılında yapmış olduğu katı atık karakterizasyon bilgisine göre, toplanan katı atık örnekleri düzenlenmiştir. Her biri 30 cm çapında 50 cm yüksekliğinde ve 35 L'lik hacme sahip şeffaf pleksi glass malzemeden yapılmış iki adet reaktör kurulumu yapılmıştır. Reaktörlerden bir tanesi geri devirli olarak işletilmiştir. Reaktörlerin işletilmesi 2018 yılın ekim ayında başlanmış, ölçüm periyodu iki hafta bir olacak şekilde toplamda 38 adet ölçümler yapılmış, 2020 yılın nisan ayında reaktörlerin işletilmesi sonlandırılmıştır. İşletilme sırasında sızıntısuyu verileri (Sıcaklık-İletkenlik-pH-KOİ), gaz miktarı ve metan miktarı ölçülmüştür.

d) Ofis çalışmasında; Sahada ölçülen gaz emisyon (CH₄-CO₂-O₂-H₂S-CO-H₂) verilerini kullanarak ArcGIS coğrafik bilgi sistemi yazılım programında emisyon gazların hava modelleri yapılmıştır. 2009 ile 2068 yılları arası 59 yıllık teorik metan potansiyel model çalışması yapılmıştır. Hesaplamalarda “Afvalzorg-Weber-LMOP-Scholl Canyon-Tabasaran-TNO-Landgem-IPCC” modelleri kullanılmış. Modellerin

enerji dönüşümleri metanın kalorifik değerine bağlı kalarak formülasyon hesabına göre yapılmıştır. Modellerde kullanılan (k) ve (Lo) değerleri IPCC 2006 yönergesi ve EPA'ya bağlı kalarak belirlenmiştir. Ayrıca Sahadaki sızıntısu verileri ve reaktörlerdeki sızıntısu verileri kullanarak excel regresyon analizinde ($k=0,45$) ve ($k=0,60$) istatistiksel katsayı değerleri bulunmuştur.

e) Bulgular; ArcGIS hava modellerinde en verimli baca gazları görselleştirilmiştir. 59 yıllık metan tahminlerinde en verimli modeller belirlenmiş ve bu verimli modellerin enerji dönüşümleri yapılmıştır. Saha ölçüm değerleri ile 59 yıllık model sonuçları karşılıklı değerlendirilmiş, saha sonuçlarının modelleri desteklediği görülmüştür. 2019 yılında tesiste üretilen elektrik enerjisi değeri ile modellerin değerleri karşılaştırılmış. 2019 yılı için tesisin üretimini destekler modeller saptanmıştır. Saha ölçümündeki toplam metan değerinin, gaz motorunda üretilebilecek toplam enerji eşdeğeri vurgulanmıştır.

1.2. Tezin Amacı

Bu tez çalışmasının amacı; Sakarya katı atık düzenli depolama sahasındaki biyogaz oluşum potansiyelini ve kompozisyonu, çöp sahası içerisinde yerleştirilmiş 19 adet gaz bacalarından ölçerek emisyon envanteri çalışması yapmak ve atıktan enerji elde etme potansiyelini Sakarya ili için belirlemektir. Atıkların sahada ayrışması sırasında oluşan biyogaz içerisindeki metan yüzdelerini ölçmek, bunu takiben zamana bağlı olarak metan miktarındaki artışı izlemek tezin ana çalışması olmuştur. Sakarya Katı Atık Düzenli Depolama sahasında oluşmuş emisyon envanterini konuyla ilgili uluslararası kurumlar tarafından onaylı modeller yardımıyla çıkartılmıştır ve sahadan alınan örnekler ile Laboratuvar ortamında reaktör içinde anaerobik bozunma süreci izlenmiş ve reaktörlerden alınan sızıntısu örneklerinden “pH-KOİ-İletkenlik-“ gibi değerlere ulaşılmıştır. Ayrıca sahadaki bacalardan çıkan noktasal kaynaklı kirletici olan metanın ve diğer emisyonların Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yardımıyla mekânsal dağılımı düzenlenmiştir.



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Katı Atık Tanımı ve Sınıflaması

Katı atık kavramı “Kullanıcısının istemediği, ancak ekonomik değeri olan ve toplumun çevre sağlığı gereği toplanıp, bilimsel kriterlere ve mühendislik kurallarına göre yok edilmesi gereken katı maddeler” olarak tanımlanabilir [9].

Katı atık madde oluşumu hangi malların satın alınıp nerede kullanılmasına bağlıdır. Özetle katı atık madde oluşumunu kültür, iklim, din, ekonomi, gibi kavramlar etkiler. Bu nedenle katı atık oluşumu ve miktarı, konum ve zamana bağlı olarak değişir [10].

Üretilen atıklar birçok kriterlere göre sınıflanabilir, aşağıdaki şekil 2.1. incelediğimizde; Atıkları “Oluştugu ortama, atığın bileşenine, atığın kaynağına, organik atık ve inorganik atık” olarak dört grupta sınıflayabiliriz [11].



Şekil 2.1. Katı Atık Sınıflaması [11]

Birçok kriterlere göre sınıflanabilen atıklar genel olarak üç ana grupta toplayabiliriz

Bunlar; [12 , 13]

a. Belediye Atıklar

b. Tehlikeli Atıklar

c. Tıbbi Atıklar

a. Belediye atıkları şehir yaşamın içinde bulunan konutlar, pazarlar ve sokak süprüntüsü gibi sosyal yaşam faaliyetleri sonucu katı veya sıvı halinde meydana gelmektedir [12, 13]. Tipik bir belediye atığı organik veya inorganik bileşenlerde oluşur. Organik atık bileşenleri; gıda atıkları, bahçe atıkları, kağıt, karton, tekstil, deri ve ahşap gibi malzemeleri içerir. İnorganik atık bileşenleri ise cam, seramik, plastik, kauçuk ve metalleri içermektedir ve bunlar geri dönüştürülebilir [12, 13].

b. Tehlikeli atıklar genellikle kimyasal üretim yapan fabrikalar ve hastanelerde oluşan atıklar, çevre ve insan sağlığını olumsuz etkileyen zehirli maddeler tehlikeli atık olarak sınıflanabilir. Konutlar da istenmeyen; eski piller, ayakkabı cilası, boya tenekeleri, eski ilaçlar ve ilaç şişeleri tehlikeli atık olarak görülür. Hastanelerde ise; Kimyasallarla kirlenmiş katı maddeler tehlikeli atık olarak görülür. Bu kimyasallar, dezenfektan olarak kullanılan formaldehit ve fenoller ve tansiyonu ölçen termometreler veya ekipmanlar da kullanılan cıvaları içerir. Endüstriyel faaliyetler de; metal, kimya, kağıt, böcek ilacı, boya, rafinaj ve kauçuk gibi maddelerin fason ürünleri tehlikeli atık olarak nitelendirilir. Cıva ve siyanür gibi maddelere doğrudan maruz kalmak ölümcül olabilir [12, 13, 14].

c. Tıbbi Atıklar enfeksiyon atıklar, insan veya hayvanların teşhisi, tedavisi ve aşılması sırasında, bu alanlardaki araştırma faaliyetlerinde, biyolojik ürünlerin üretiminin test edilmesinde ortaya çıkan hastane atıklarıdır. Bu atıklar şırınga, tek kullanımlık maddeler, anatomik atık, kültürler, atılan ilaçlar, kimyasal atıklar, temizleme bezleri, bandajlar, vücut sıvıları içerebilir. Enfeksiyon atıklar bulaşıcıdır ve bilimsel ve ayrımcı bir şekilde yönetilmezlerse insan sağlığına ciddi bir tehdit oluşturabilirler [12, 13, 14].

2.1.1. Katı atığın karakterizasyonu ve kompozisyonu

Atık Karakterizasyonu; Bir katı atık birikiminde atık türlerinin ayrışmasının oransal hesaplanmasıdır. Karakterizasyon; Atığın tabiattaki hali ve atığın değişik koşullarda davranışının anlaşılması için yapılır. Atığın bu özelliği fiziksel ve kimyasal analizi ile belirlenir [15, 16].

Katı atığın en önemli fiziksel analizleri aşağıdaki gibidir:

a. Veri analizi

b. Dane boyutu dağılımı

c. Yoğunluk

d. Nem İçeriği

a. Veri Analizi; Güncel geri dönüşüm iş akış sürecini planlamak veya yeni tasarımlar yapmak için meteryal hakkında bilgi toplamak amacıyla yapılır.

b. Dane Boyutu Dağılımı; Dane boyutu dağılımı fiziksel ayrışma için atığın durumunu ve atığın sıkıştırabilirliğini ayrıca diğer fiziksel özelliklerin anlaşılması için kullanılır. Analiz danelerin farklı kütleli konumlarındaki ağırlıkların yüzdesini hesaplanmasını içerir.

c. Atık yoğunluğu; Yoğunluk katı atık düzenli depolama ve bertaraf tesislerin planlanması ve tasarlanması için kullanılır. Yığın yoğunluğu, belirli bir hacimde sıkıştırılmış ıslak atık ağırlığıdır. Evsel atık kütle yoğunluğu 180 kg/m^3 civarındadır, sıkıştırılmalı toplama kamyonunda kütle yoğunluğu $(350-420) \text{ kg/m}^3$ aralığında olabilir [17].

d. Nem içeriği; Atığın kurutmadan önce ve sonrasındaki ağırlık farkıdır. Kurutma işlemi $(77 \text{ veya } 105)^\circ\text{C}$ de sıcaklıklarda yapılır. Nem muhtevası genel olarak ıslak ağırlığının bir yüzdesidir [17].

Katı atıkların en önemli kimyasal analizleri şunlardır:

a. pH ve alkalinite

b. Organik Madde

c. İnorganikler

d. Isıl değer/Kalorifik değer

a. pH ve Alkalilik; pH atıkların özütleme de(ekstraksiyon) kilit bir role sahiptir. Bir katı atığın pH düzeyi, proton hareketini belirleyen bir elektrot sayesinde bir su süspansiyonu içinde ölçülür. Alkalinite ve asidite, sırasıyla asit ve bazların nötrale edilmesi için kullanılabilir potansiyellerdir ve bunlar pH'ın uzun süreli izlenmesinde faydalıdır.

b. Organik Madde; Organik madde içeriğini bilinmesinde değişik yollar vardır. Uçucu katılar numunenin tutuşması üzerine kuru madde (ağırlık) kaybı olarak

belirlenir ki bu organik madde olarak kabul edilir. Genel iş akış süreci, 105 °C’de örneği kurutmak ve havanın bulunduğu bir ortamda 550 °C’de 2 saat boyunca örneği bir kül fırınında tutmaktır. Yanmadan sonra kalan kısma kül içeriği denir.

c. İnorganikler bir çok maddeleri temsil ederler; Bunlardan besinler, tuzlar ve ağır metaller en önemli olanlarıdır. Geçerli tüm analitik yöntemler, analiz edilecek maddenin özütlenmesini veya katı halin yok edilmesi için öncelikle katı halin sıvı veya gaz haline çevrilmesi gereklidir [18].

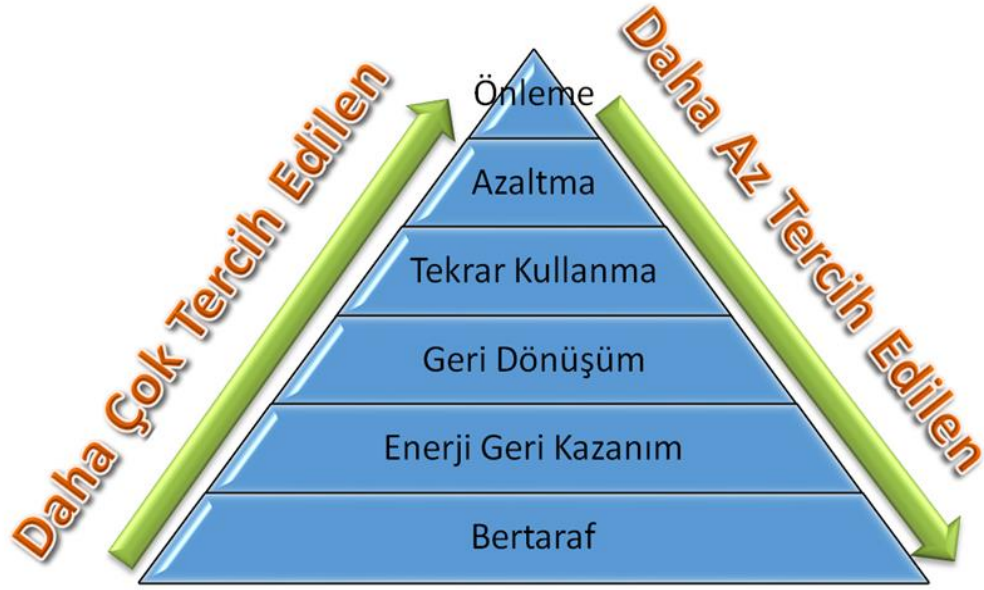
d. Isıl Değer/Kalorifik Değer; Atık enerji içeriği, biyolojik ve ısıl işlem faaliyetlerinde çok önemlidir. Ayrıca ısıl değeri, çoğunlukla bir kalorimetre vasıtasıyla laboratuvar ortamında hesaplanır. Miktarı bilinen bir atık, oksijen ile yakılır ve yanmadan kaynaklı açığa çıkan enerji, iyi yalıtılmış kalorimetredeki sıcaklık artışı ile belirlenir. Birimi MJ/kg’dır [18].

Katı atıkların kompozisyonu; Katı atık birikimi içerisinde farklı türdeki maddelerin orantılı dağılımın (%) ağırlık cinsinden açıklamasıdır [19].

Atık kompozisyonu, atık yönetiminde bütün kriterlerin belirlenmesinde kilit role sahiptir. Konutlarda, fabrikalarda veya hastanelerde meydana gelen atıklar kompozisyon olarak birbirinden çok farklıdır [20].

2.1.2. Entegre katı atık yönetimi

Entegre atık yönetimi; Başarılı bir atık yönetimin gerçekleştirilmesi için uygun görülen metod, teknoloji ve çalışma planının seçilmesi ve sürdürülebilir hale getirilmesidir. Entegre atık yönetiminde, atık yönetiminin her aşamasını bir bütün olarak değerlendirilerek çevresel ve ekonomik yönden devamlılığın sağlanması hedeflenir. Sonuç olarak; Entegre atık yönetimi tek bir atık türü ve kaynağa bağlı değildir. Entegre atık yönetimi hiyerarşisine göre; Atığın oluşumu ve zararları kaynağında önlenmeli ve azaltılmalıdır ancak atık istenmeyen durumlarda meydana geldiğinde tekrar kullanım, geri dönüşüm olarak değerlendirmeli diğer prosedürlerde geri kazanılması ve enerji kaynağı olarak kullanılmalıdır (Şekil 2.2.) [21].



Şekil 2.2. Entegre atık yönetim sistemin hiyerarşisi [21]

Entegre atık yönetim hiyerarşisi aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- a. Atık Önleme; Fabrikasyon ürünlerin yeniden kullanılması veya kullanım ömürlerinin uzatılması ile atık miktarının azaltılması ve üretilen atığın çevre ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerinin en aza indirilmesi yönünde kaynak madde veya malzemeler atık haline gelmeden önce alınacak tedbirlerdir.
- b. Atık Azaltma ; Daha az kaynak hammadde ile üretim yapılmalı ve tüketim israfı en az indirilmesini içermektedir.
- c. Tekrar Kullanma ; Ürünlerin veya atık sayılmayan malzemelerin üretildiği şekilde aynı amaçla tekrar kullanıldığı herhangi bir faaliyeti izah eder.
- ç. Geri Dönüşüm ; Organik maddelerin tekrar işlenmesi dâhil atıkların işlenerek asıl kullanım amacı ya da diğer amaçlar enerji geri kazanım , yakıt, dolgu yapmak doğrultusunda atıkların faydalı ürünlere, malzemelere veya maddelere dönüştürüldüğü herhangi bir geri kazanım işlemi olarak tanımlanır.
- d. Enerji Geri Kazanımı ; Oksijensiz çürütme ve termal yöntemlerle yakıt, ısı ve elektrik geri kazanımıdır.
- e. Bertaraf ; Üretilen ürünler veya malzemelerin tekrar kullanma ve geri dönüşüm işlevselliğini kaybederek o maddelerin atıl vaziyetlerin çevre ve insan sağlığına olan zararlarının sıfıra indirilmesi çalışmasıdır.

Atık miktarı, atık karakterizasyonu, toplama şekli, taşıma şekli, geri dönüşüm/kazanım faaliyetleri, yasal mevzuat, yerel şartlar, teknik imkanlar, maliyete göre bertaraf yöntemi belirlenir ve farklı yöntemlerde atık bertaraf sistemleri vardır.

Tablo 2.1. Atık bertaraf sistemlerin karşılaştırılması [21]

	Düzenli Depolama	Termal Sistemler	Biyolojik Sistemler
Maliyet	Düşük	Yüksek	Orta
Hacimsel Azalma	Düşük	Yüksek	Yüksek
Çevresel Riskler	Yüksek	Orta	Düşük
İşletme Hassasiyeti	Kolay	Zor	Zor

2.1.2.1. Entegre atık yönetimin özellikleri

Başarılı bir entegre katı atık yönetim sistemi başlıca aşağıdaki özellikleri taşımaktadır [22].

a. Kapsayıcı bir sistem olmalı

b. Ekonomik değer olmalı

c. Esnek olmalı

d. Bölgesel planlama yapılmalı

a. Kapsayıcı Sistem ; Entegre katı atık yönetimi şehir yaşamında meydana gelen katı atığın kompozisyonunu oluşturan tüm malzemeler ve bu malzemelerin üretim kaynaklarını içerecek şekilde tasarlanmalıdır [22].

b. Ekonomik Değer ; Bir katı atığın ekonomik değeri, kazanılabilir malzemelerden, komposttan ve biyogazdan elde edilir. Bu ekonomik gelir, piyasa şartları ve yatırım maliyetleri ile ilişkilidir. Bu nedenle projelendirme aşamasında ekonomik analizin çok iyi yapılması zorunludur.

c. Esneklik ; Katı atık yönetim sistemi, çevresel, iklimsel, ekonomik ve atık özelliklerinde zamana bağlı olarak meydana gelebilecek farklı değişimlere belirli oranda uyum sağlayabilecek nitelikte olmalıdır.

d. Bölgesel Planlama ; Bir şehirde nüfus arttıkça atık miktarıda çoğalmaktadır, atık yönetim projelendirmesinde nüfus dikkate alınmalıdır. Dolayısıyla şehirler dışındaki planlamalarda daha büyük bölgesel planlamalar yapılmalıdır [22].



Şekil 2.3. Entegre Atık Yönetimi Akış Diyagramı [22]

2.2. Düzenli Depolama ve Stabilizasyon

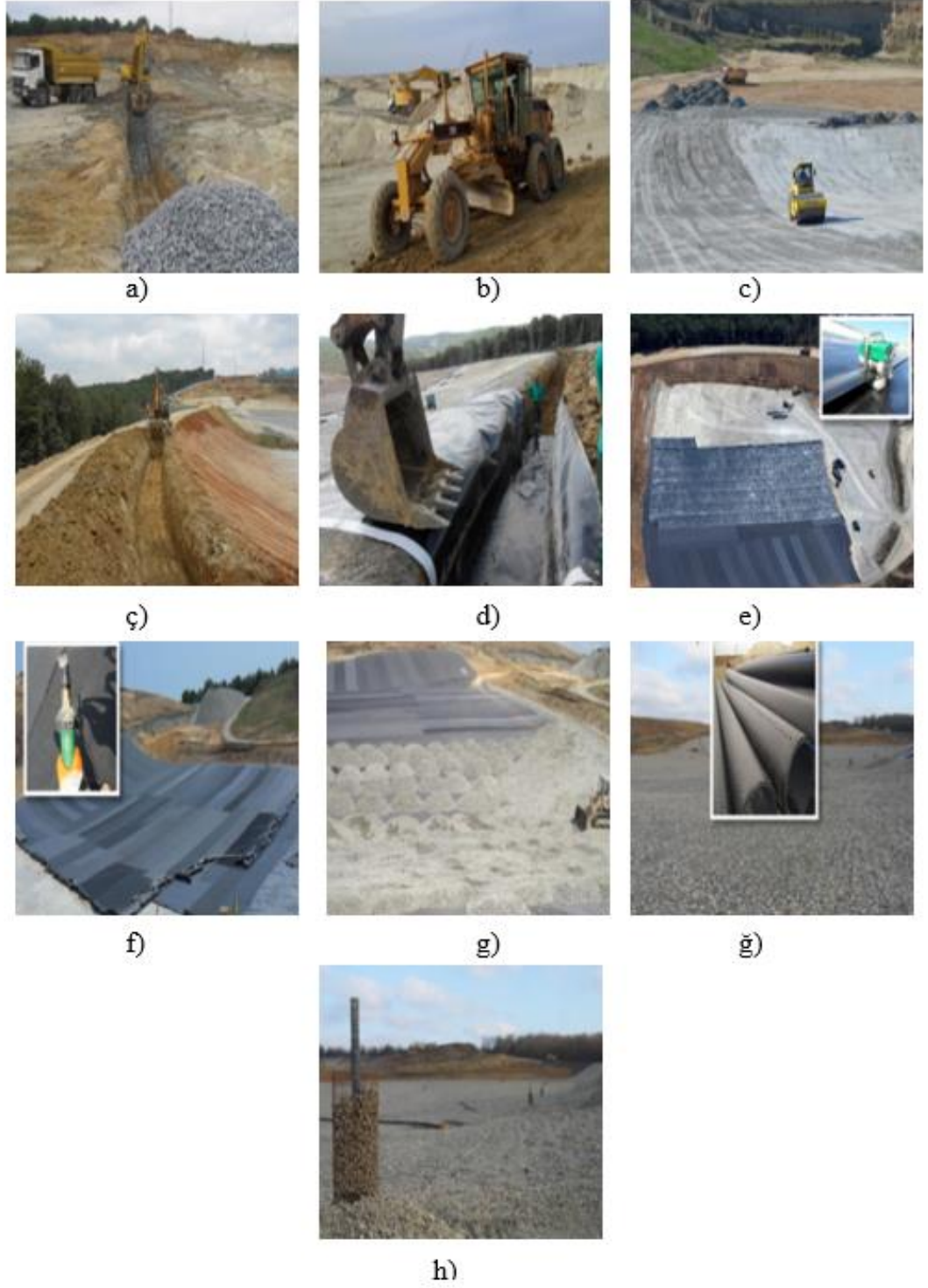
Katı atıklar düzenli depolama yönetmeliğine göre, düzenli depolama tesisi; Atığın ön işlem, geri kazanım veya bertaraf amacıyla geçici veya ara depolandığı birimler hariç olmak üzere atıkların yeraltı veya yer üstünde belirli teknik standartlara göre uzun süre boyunca bertaraf edildiği sahalar olarak tanımlanmaktadır.

Söz konusu güncel yönetmelikte düzenli depolama sahaları üç sınıfa ayrılmıştır. Birinci sınıf düzenli depolama sahası sadece tehlikeli atıkları kabul eden sahalardır. İkinci sınıf düzenli depolama sahası Belediye atıkları ile tehlikesiz atıkları kabul eden sahalardır. Üçüncü sınıf düzenli depolama sahaları sadece inert atıkları kabul eden sahalardır.

Düzenli depolama sahalarında; Tehlikeli atıkları kabul eden sahalarda yerleşim yerlerine en az 1 km uzaklıkta olmalı. Tehlikesiz atıklar ve inert atıkları kabul eden sahalarda yerleşim yerlerin en az 250 m uzaklıkta olmalıdır.

Katı atıklar düzenli depolama yönetmeliğine göre sahaların yer seçiminde; Tesisin hava ulaşım güvenliğini etkileyip etkilemediği, orman alanlarını ve yaban hayatını etkileyecek tabiat alanlarına olan uzaklığı, bölgede yeraltı ve yerüstü su kaynaklarına olan uzaklığı ayrıca su akış yönlerine göre konumu, sahanın topografik-jeolojik-jeomorfolojik-jeoteknik ve hidrojeolojik durumu, taşkın-heyelan-çığ-erozyon ve yüksek deprem riski, hâkim rüzgâr yönü ve yağış durumu, bölgenin doğal veya kültürel miras durumu gibi konularda dikkat edilmelidir.

Aşağıdaki şekil 2.4. de İstanbul Büyükşehir Belediyesinin katı atık yönetimi çalışmalarını da. Katı atıklar düzenli depolama yönetmeliği kriterleri baz alınarak seçilen bir arazinin aşama aşama düzenli depolama sahasına dönüşümü gösterilmektedir.



Şekil 2.4. Katı Atık Düzenli Depolama Sahası Yapım Aşamaları [23]

Katı atık düzenli depolama sahasının yapım aşaması aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

a. Zemin Sularının Drenajı;

Sahada yeraltı suları var ise uygun eğimli drenaj kanalları yapılarak su dışarı verilir.

b. Sahanın Tesviye edilmesi;

Varsa nebati toprak alınır, Gevşek zemin alınır, Sağlam toptak ile kontrollü sıkıştırma yapılır, Kil-membran-sızıntı suyu drenajına uygun boyuna en az %3 eğim tesviyesi yapılır.

c. Kil Serimi ve Sıkıştırılması;

Kil tabakası iki aşamalı (25cm+25cm) olmak üzere toplam 50cm kalınlığında serilir. Kompaktör ve dozer yardımıyla kil tesviye edilir ve sıkıştırılır, uygun nem muhtevası için kil sulanır, vibratörlü silindirler tam sıkıştırma yaparken olası oturma en aza indirilir.

ç. Ankraj hendekleri (Kilitleme Kanalı);

Geomembran serilmeden önce ankraj hendekleri, kazılır, geomembranın yırtılmaması için hendek köşeleri yuvarlatılır, keskin kıvrımlı köşeler önerilmez, Ankraj hendekleri dolgu malzemesi sıkıştırılır, dolgu malzemeleri yuvarlak çakıllar önerilir.

d. Geomembran Kilitleme; (2mm) kalınlığında geomembranlar, rulolar halinde kilitleme yapılacak şekilde ankraj hendeklerine serilir.

e. Geomembran Serimi;

Rulolar halinde serilen ve çift dikiş kaynağı ile birleştirilen geomembranlar gözle kontrol edilerek, delinme ve yırtıkları elektro füzyon kaynağı ile onarım yapılır ayrıca hava basıncı testi ile geomembranların birleşme noktaları kontrol edilir.

f. Geotekstil Serimi;

Geotekstilin uzama özelliği sayesinde aşırı yüklere dayanır ve geomembrana koruyucu örtü tabaka olur, gözenekli olan geotekstil suyu geçirir ancak ince malzeme olan kil ve silt suyu tutar, geotekstil füzyon kaynağı ile geomembranlara yapıştırılır böylece geotekstilin kayması önlenir.

g. Sızıntısu drenaj tabakası;

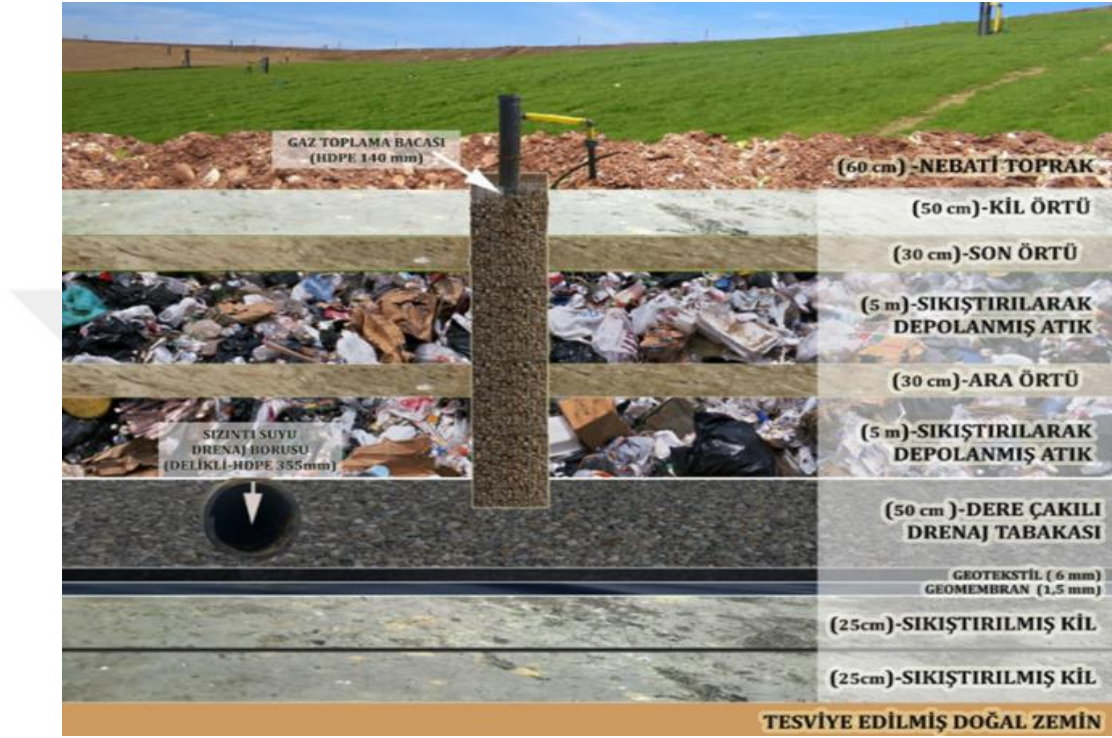
Sızıntısu drenajı için en az 50 cm kalınlığında dere çakıl malzemesi serilir, eğim en az %3 olmalıdır. Geçirimsiz hale gelen tabaka üzerine sızıntı sularını bir noktada toplamak için dren boruları döşenir.

ğ. Sızıntısu drenaj sistemi teşkili;

dren boruları dış basınca dayanıklı olmalı, boruların hidrolik ve statik hesabı yapılmalı, boruların içi temizlenebilmelidir.

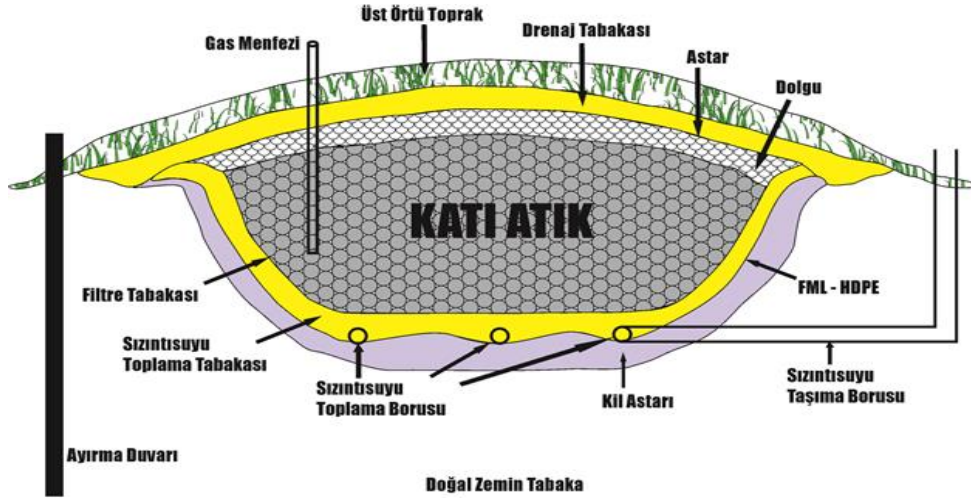
h. Pasif gaz toplama sistemi teşkili;

Çöp gazını kontrol etmek için ve ileriki zamanlar da enerji dönüşümünü sağlamak için gaz bacaları dikilir [23].



Şekil 2.5. Katı Atık Düzenli Depolama Enine Kesit [23]

Yukardaki şekil 2.5. de İstanbul Büyükşehir Belediyesinin katı atık yönetimi çalışmalarının da; Katı Atık Düzenli depolama taban kesiti görülmektedir, burada sıkıştırılmış kil tabakası (25cm + 25cm) iki katman biçimde toplamda 50cm olarak yapılabilir. Katı atıklar düzenli depolama yönetmeliğine göre; Tesviye edilen doğal zemin geçirimsiz olan kil ve siltden seçilmelidir ayrıca tehlike atık alan sahada doğal zemin en az 5 m devam etmeli, tehlikesiz ve inert atık alan sahalarda en az 1 m doğal zemin devam etmelidir [23].



Şekil 2.6. Katı Atık Düzenli Depolama Sahası Enine Kesiti

Şekil 2.6. da; Katı atık düzenli depolama sahasının enine kesiti görülmektedir. Burada katı atıklar sahada yükseldikçe gaz bacalarında aynı oranda yükselmektedir.

2.2.1. Düzenli depolama alanında meydana gelen fiziksel, kimyasal ve biyolojik aktiviteler

Katı Atık Düzenli depolama arazilerinde biriken atıklar birtakım reaksiyonlar yoluyla çeşitli kimyasal, fiziksel ve biyolojik proseslerle ayrışır. Ayrışmanın sonucunda katı, sıvı ve gaz halinde yan ürünler oluşur [24]. Çöpün içerisindeki organik maddelere etkiyen biyolojik prosesler çöpün depolama sahasına dökülmesinden hemen sonra faaliyete başlar [25]. Fiziksel, kimyasal ve biyolojik prosesler birbirlerini etkileyen süreçler olduğu için ortak değerlendirmelidir. Örneğin; fiziksel ve kimyasal prosesler biyolojik faaliyetler için gerekli nutrientlerin mevcudiyetini etkiler [26].

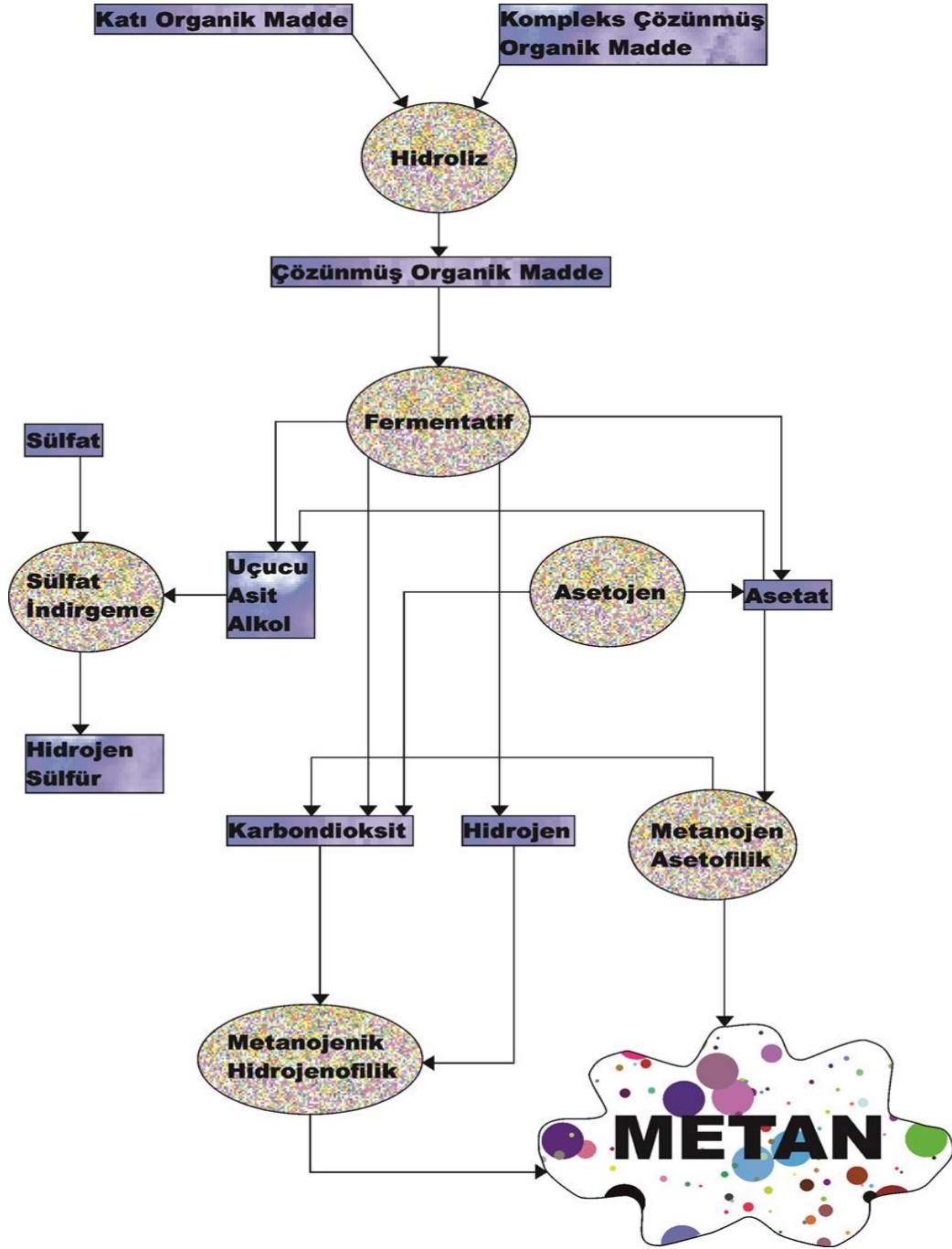
Katı atıkların fiziksel ayrışması, atığın fiziksel bozunması ve su hareketi ile çökmesi ve yer değiştirmesi ile meydana gelir [27].

Fiziksel ayrışma, değişik maddelerin atıklardan ayrılması sonucu meydana gelir. Atık malzemelerinin su ile etkilenmesi sonucunda atık bileşenler bozunarak fiziksel ayrışma oluşur. Katı atıkların ayrışmasında rol oynayan kimyasal prosesler ise hidroliz, çözünme/çökelme, sorbsiyon/desorbsiyon ve iyon değişimidir [28]. Kimyasal reaksiyonlar sonucunda atık içerisindeki kompleks bileşikler daha stabil ve basit bileşiklere dönüşür [29].

Kimyasal ve fiziksel prosesler çöpün ayrışmasına katkı sağlamaktadır. Fakat ayrışmada en önemli proses biyolojik ayrışma prosesidir. Bunun nedeni metanın biyolojik ayrışma sonucu oluşmasıdır [30].

Biyolojik ayrışma ortamda bulunan bakteriler tarafından gerçekleştirilen doğal bir süreçtir. Biyolojik parçalanma sürecinde; atık ilk depolandığında oksijen ihtiva eder ve oluşan prosesler aerobiktir. Bunun sonucu olarak su ve karbondioksit oluşur. Bu olay ortamdaki oksijen tükeninceye kadar devam eder. Ortamdaki oksijen tükendiğinde ise anaerobik şartlar meydana gelir ve bir kısım zincirleme reaksiyonlar sonucunda organik kısımlar ayrışır (Şekil 2.7.) [31]. Ayrışmaya, katı atığın özellikleri, sıcaklık, pH ve su içeriği gibi bazı faktörler etki ederler [32].

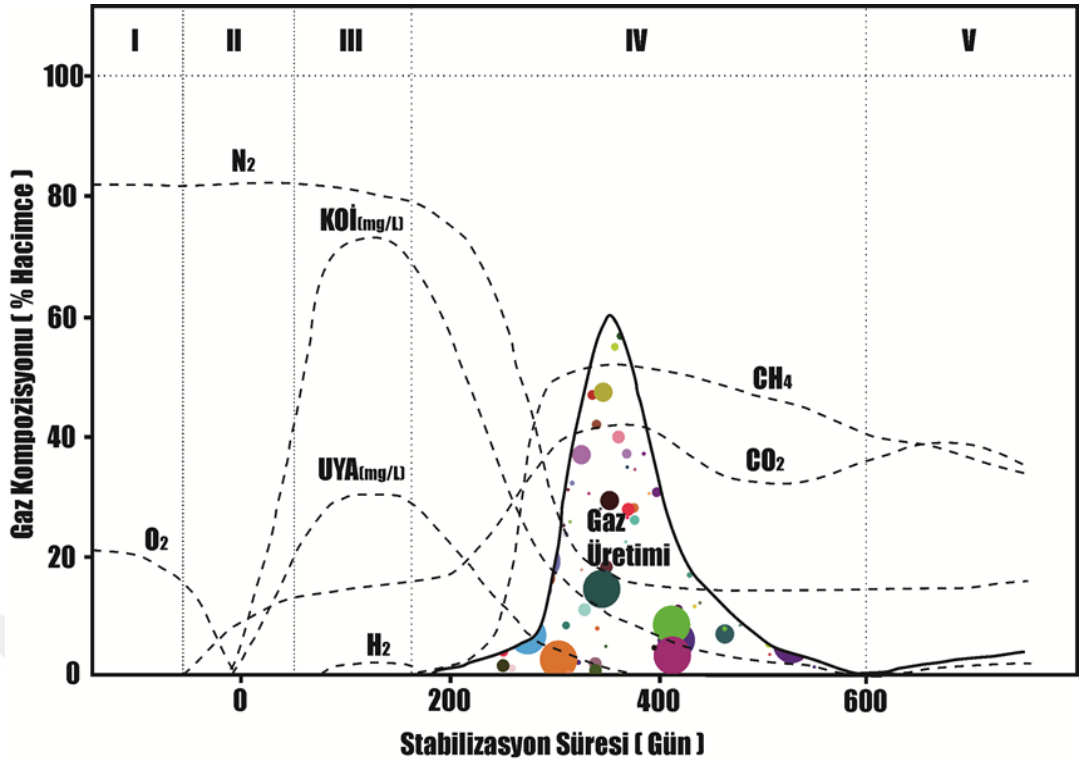




Şekil 2.7. Anaerobik ayrışma safhaları ve nemli bakteri grupları [33]

2.3. Düzenli Depolamada Biyogaz Oluşumu ve Kontrol Faktörleri

Katı atık düzenli depolama sahalarında organik madde bozunması birkaç yıldan, yüzyıla kadar devam eder. Sahalarda (10-20) yıl içinde gaz oluşumun çoğunluğu meydana gelir ve sahanın kapatılmasından sonra organik madde ayrışması yavaş olur ve uzun sürer [33]. Düzenli depolama sahalarında oluşan biyolojik bozunma fazları ve gaz oluşum süreçleri Şekil 2.8.'de gösterilmiştir [34].



Şekil 2.8. Biyolojik bozunma fazları ve gaz oluşum süreçleri [34]

Gaz oluşum aşamaları aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

a. I FAZ (Aerobik Safha) ; I. Faz aerobik safha da katı atıkların sahada çoğalması ile su muhtevası artmaya başlar. Bu safhanın en belirgin özelliği atıkların birikmesi ile birlikte sahada O_2 'nin bulunmasıdır. Biyolojik olarak bozunabilir organik maddelerin reaksiyon süreci başlamasıyla bakterilerin O_2 kullanmasıyla kısa sürede tükenir ve aynı oranda CO_2 üretilir. Ayrıca Azot (N_2) gazın da çok az bir azalma görülür. Bu safhada çok fazla ısı üretilir ve depo gövdesinin sıcaklığı (60-70) °C'ye kadar çıkabilir [35].

b. II FAZ (Anaerobik Metanojenik olmayan safha) ; Bu safhada O_2 'in tamamen tükenmesiyle birlikte aerobik ortamdan anaerobik ortama geçiş sağlanır. Bu oksijensiz safha da; Organik asitlerin meydana gelmesi ile daha fazla miktarlarda CO_2 üretilmeye başlar ve anaerobik ayrışma safhası başlamış olur. CO_2 'in üretimi depolama ve çevre şartlarına bağlı olarak (11-40) gün zaman dilimlerinde %(70-90) kadar ulaşabilir. Bu safhada hidrojen (H_2) gazı miktarı (% 20) düzeyindedir [36].

c. III FAZ (Anaerobik Metanojenik Kararsız Safha) ; Bu safha da depolama süresi bitmesiyle birlikte ilk defa CH_4 gazı meydana gelir ve artmaya başlarken CO_2 ve N_2 gazlarında azalır ve H_2 tamamen biter. Redox potansiyelleri düşer. Diğer safhaların

bitme süreçleri (10-50) gün arasında meydana gelirken bu safha da süreç (200-500) gün arasında tamamlanır. Ayrışma süreleri arasındaki bu değişkenlik, ayrışma prosesi her zaman gerçekleşirken çevre şartlarının prosesi etkilemesinden kaynaklanır [37].

ç. IV FAZ (Metanojenik Kararlı Safha) ; Bu fazda gaz üretimi % (40-70) CH_4 ve % (30- 60) CO_2 arasındadır. IV fazda CH_4 oluşumu %70 lere ulaşması ile bu safha çok önemlidir. Yapılan saha çalışmalarında CH_4 'ın molar fraksiyonu % 50'nin altında olduğu için ayrıca gaz içerisinde H_2 de bulunduğu için CH_4 üretiminin yavaş olduğu saptanmıştır. Bu safha gaz bileşimi sabit olmakla birlikte, gaz oluşum hızı zamanla düşer. Ancak, yinede depo gazı basıncı atmosferik havanın depo sahasının içerisine girmesini engelleyecek seviyelerdedir. Bu safhada gaz miktarının yavaş yavaş azalması (10-20) yılda tamamlanır. Atık içerisindeki katı haldeki organik maddelerin sıvı hale çok uzun sürede dönüşmesinden dolayı bu fazın reaksiyon süreci uzun sürmektedir [38].

d. V FAZ (Aerobik Şartlara Geçiş Safhası) ; Bu fazda ayrışma prosesi ve depo gazı oluşumu büyük miktarda azalır. İlk fazdaki atmosferik koşullar yeniden etkili olmaya başlar, eski sahalardan elde edilen verilere dayanarak mevcut organik karbon kullanıldıktan sonra metanojenik faaliyetin azaldığı CH_4 ve CO_2 gazlarının hızla düştüğü söylenebilir. Sonuçta kalan artık madde ise biyolojik olarak inert ve stabil durumdadır [39].

2.3.1. Depo gazı oluşumuna etki eden faktörler

Depo gazı oluşumuna etki eden faktörler aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

a. Su İçeriği ; IV faz metanojenik safhayı etkilemektir, atık ve mikrobiyal bakteriler arasında substrat ve nutrient dağılımı az su içeriğinde sınırlı olmaktadır. Bir çok depolama alanlarında gaz oluşum hızını sınırlayan en önemli faktör düşük su içeriğidir. Su içeriği, ayrışmayı hızlandıran kriter olarak değerlendirilmektedir. Su ilavesi veya sızıntı suyu geri devri bazı koşullarda faydalıdır, Ancak tam doygunluğa erişmiş depo gövdesinde metanlaşma fazı için gerekli değildir. Ayrıca yüksek su içeriği ön metanlaşma fazında aşırı asitleşmeye sebep olur ve metanojenleri inhibe ettiği için, su ilavesi eklenmesinde dikkatli olmak gerekir [40].

b. Sıcaklık ; Diğer mikrobiyal ayrışma proseslerinde olduğu gibi, depolama sahalarında da anahtar parametrelerden biridir. Sıcaklığın 20 °C'den 30 °C'ye

çıkartılması durumunda metanlaşma hızı 2 kat artar. Bu nedenle organik maddenin hızlı ayrışması için depolama sahalarında sıcaklığın artırılması önerilmektedir [41].

c. Oksijen ; IV faz metanojen safhayı inhibe eder. Oksijen, depolama sahasının üst tabakalarında (1-2)m kadar sahaya girse de, bu tabakadaki aerobik bakteriler tarafından hızla tüketilir. Üst kısımda yer alan bu kısmı aerobik tabaka kalınlığı, toprak örtü tabakası ve etkili sıkıştırma işlemi ile azaltılabilir [42].

d. Hidrojen ; Fermentatif ve asidojenik bakteriler tarafından üretilir. Bu iki grup bakterinin aktivitesi arttıkça, gazın içerisindeki hidrojen basıncı yükselir. Hidrojen basıncı belli değerin üzerine çıktığı zaman bütirik ve propiyonik asit gibi bazı uçucu yağ asitleri, kolay parçalanan basit asitlere dönüştürülemez. Bu durumda UYA birikimine ve metanlaşma fazının inhibe olmasına sebep olabilir. Ancak uygulamada bu nadir görülen bir durumdur [43].

e. Sülfat ; Örnek olarak hafriyat atıklarından (alçı) ve taban külünden ortaya çıkar ve organik madde veya metanın oksidasyonu esnasında sulfite (HS^-) indirgenir. Sülfatın sulfite indirgenmesi düşük pH değerlerinde metanın miktarının azalmasına, CO_2 oluşumunun artmasına ve H_2S formunda toksik gazların açığa çıkmasına sebep olur. Çoğu zaman az miktarda sülfat içeren atıklardan, önemli miktarda H_2S oluşmaz çünkü indirgenen sülfürün büyük bir kısmı metal sülfidler (ör., demir sülfid) olarak çöker [44].

2.4. Depo Gazı Yönetimi

Çöp gazın; Doğal gaza işlenmesi veya yakıt olarak kullanılması özellikle metan gazını elektriğe dönüşümün yapılmasından dolayı enerji üretimi için değerlendirilir. Tükenmesi tahmin edilen fosil kaynakların yerine temiz yenilebilir enerji kaynağı olarak çöp gazı çözüm olabilir. Ayrıca çöp gazın sahada yüksek miktarda elde edilmesi, kaliteli olması ve verimli olması yararlı kullanım sağlar. Endüstriyel teknolojilerde kullanılabilmesi için; Saha ve piyasa koşullarına bağlıdır.

Bir LFG kullanım teknolojisinin belirlenmesinde önemli kriterler aşağıda tespit edilmiştir:

a. Katı atık düzenli depolama sahası kapatma yılı

b. Çöp gazı projesinin tasarım tesis inşaa maliyeti, bakım, onarım ve işletme maliyetleri ve enerji satışlarından elde edilen gelirler,

c. Çöp gazı kullanım ekipman ve motorların hacim ölçüleri

Ham çöp gazı, kullanılmadan önce belirli düzeyde işlenmesi gerekir. Ham çöp gazın bileşenleri ve gazdaki iz bileşiklerin konsantrasyon oranları değerlendirilip ham gazın kullanım performansının ve işletme maliyetinin profili ortaya çıkarılmalıdır.

Ham çöp gazında ön işlem gerektiren ana bileşenler aşağıdaki gibidir

- Serbest nem / su buharı – Partiküller - Kükürt bileşikler (örneğin, Hidrojen sülfid)

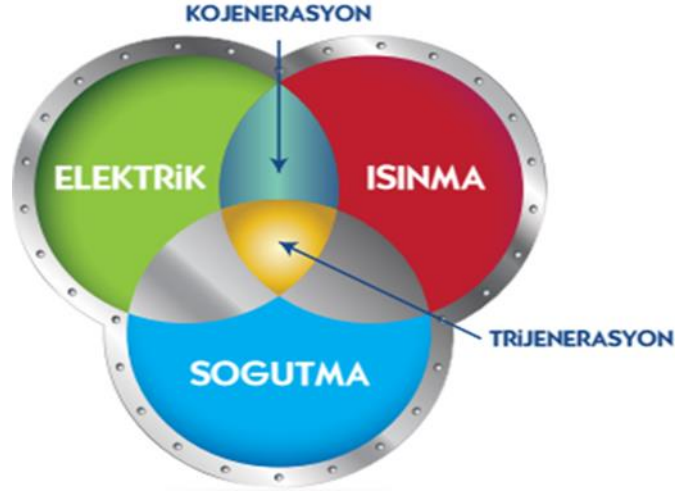
Siloksanlar - Halojenlenmiş organik bileşikler – Karbondioksit [45].

2.4.1. Kojenerasyon ve trijenerasyon sistemleri

Kojenerasyon kelime olarak “Combined Generation” terimlerinin kısaltılmasından oluşmuştur. Isı ve elektriğin birlikte üretildiği “birleşik üretim” anlamına gelmektedir [46].

Kojenerasyon; Doğalgaz, biokütle, biogaz gibi bir yakıt türlerinden, yüksek verimli olarak elektrik ve ısı enerjisinin birlikte üretimidir. Böyle bir sistemde, elektrik, sıcak su ve buhar, eş zamanlı olarak birlikte üretilerek kullanıcıya sağlanır (Şekil 2.9.) (Şekil 2.10.). Termik santrallerde elektrik üretim verimi %(30-40) arasında iken kojenerasyon sistemlerinde %(80-90) düzeylerinde yüksek verim sağlanır. Kojenerasyon sistemleri; Yakıtı, elektrik ve ısıya dönüştürmenin en etkili yoludur. Kojenerasyon sistemi enerji üretim maliyeti %40 düşürerek yüksek oranda tasarruf sağlanır [47].

Trijenerasyonun kojenerasyondan farklı olarak sisteme entegre edilen soğutma sistemi sayesinde, üretilen ısıyı dönüştürerek, soğutma ihtiyaçları için de kullanılabilmesidir. Trijenerasyon sistemleri mevsimsel veya sürekli soğutma ihtiyacı olan işletmelere uygulanarak tasarruf ve verimlilik elde edilmektedir [48].



Şekil 2.9. Kojenerasyon ve Tjinereasyon sistemleri [49]



Şekil 2.10. Belli yakıt kaynaklarından kojenerasyonun elektrik ve ısı üretimi

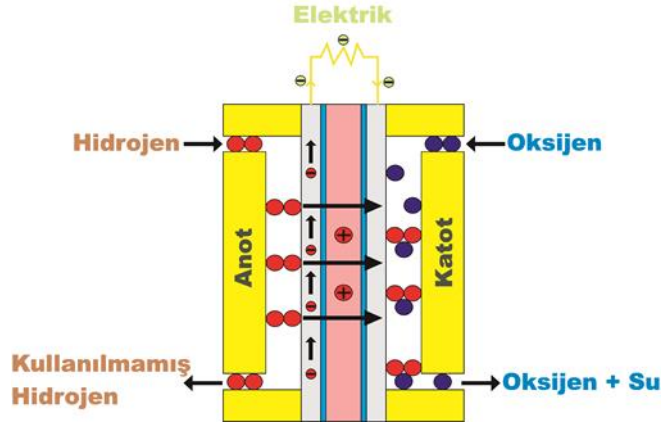
Kojenerasyon elektrik üretim sistemlerini kullandığı ekipmanlara göre; Motor bazlı, türbin bazlı ve yakıt pili bazlı olarak üç ana gruba göre ayrılabiliriz (Şekil 2.12.).

Motor Bazlı Mekanizma; Pistonlu motorlar olarak da bilinen motorlar, yanma sonucu silindir içinde artan basıncın pistonu hareket ettirmesi, yani mekanik güç elde edilmesi prensibine dayanarak çalışan makinelerdir ve kendi içerisinde içten yanmalı pistonlu motor, dıştan yanmalı stirling motor olarak da adlandırılırlar.

Türbin Bazlı Mekanizma; Türbinler, akışkanın enerjisini yararlı mekanik enerjiye dönüştüren elemanlar olarak bilinir ve genel olarak gaz türbini, buhar türbini, mikro türbin olarak da isimlendirilirler.

Yakıt Pili Bazlı Mekanizma; Yakıt pillerinde, herhangi bir yanma işlemi ve hareketli parça olmaksızın, elektrokimyasal bir proses ile hidrojen ve oksijenden doğrudan

elektrik enerjisi üretilmektedir. Bu sistemlerde erimiş karbonat yakıt hücresi ve katı oksit yakıt hücresi olarak da kullanılırlar (Şekil 2.11.).



Şekil 2.11. Yakıt Pili Bazlı Kojenerasyon sistemlerin şematik gösterimi [50]



Şekil 2.12. Kojenerasyon sistemlerin şematik gösterimi [51]

2.4.1.1. Motor bazlı kojenerasyon sistemi

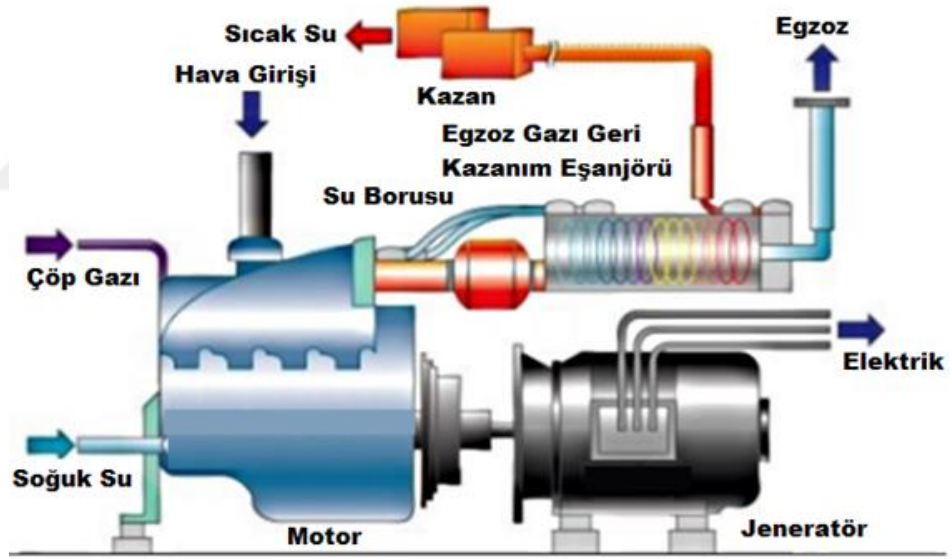
- **İçten yanmalı pistonlu motor**

İçten yanmalı pistonlu motorlar (ICE: Internal Combustion Engine); Uygun yakıtı yakarak, yakıtın bünyesinde barındırdığı kimyasal enerjiyi kullanmak üzere mekanik harekete dönüştüren motorlardır. Buhar makinelerinden farklı kullanılan yakıtı motorun içinde bulunan yanma odasında yakarak veya oksitleyerek enerji üretme prensibine dayanır. Bu motorların en yaygın yakıtı benzin olup benzin veya dizel motoru olarak da

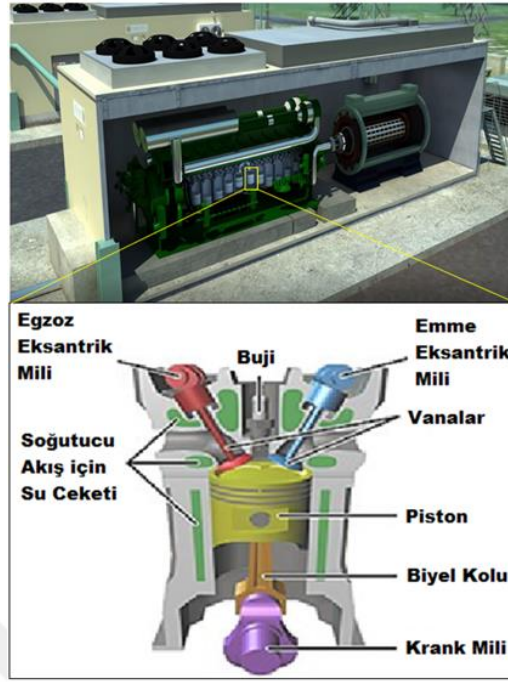
adlandırılır. Ayrıca metan, hidrojen, propan da bu tür motorlarda yakıt olarak kullanılabilir (Şekil 2.13.) (Şekil 2.14.) [52].



Şekil 2.13. İçten Yanmalı Pistonlu Motorun Genel Görünümü [52]



Şekil 2.14. İçten yanmalı Pistonlu Motor kojenerasyon sistemi [52]



Şekil 2.15. Tipik, dört zamanlı bir devir, içten yanmalı pistonlu motorun piston bileşenleri [53]

Pistonlu içten yanmalı motor çöp gazından elektrik üretimi için tercih edilebilen bir teknolojidir (Şekil 2.15.). Teknolojinin ekonomik uygunluğu ve enerji verimliliği gibi kriterler dikkate alarak içten yanmalı motorlar tercih edilir. ICE motorlarda (İçten yanmalı motorlar) (1-3) MW elektrik enerjisi üretimi kapasitesine sahiptir ve bu enerji kapasitesi ICE motorların yatırım maliyeti için kayda değer bir kapasitedir. Ayrıca ICE motorlar diğer teknolojilerle karşılaştırıldığında ekonomik riski çok düşük olması ve kolay taşınabilmesi önemli avantajlarıdır. Diğer yandan ICE motorların yüksek hava kirliliği oluşturması temel dezavantajıdır [53].

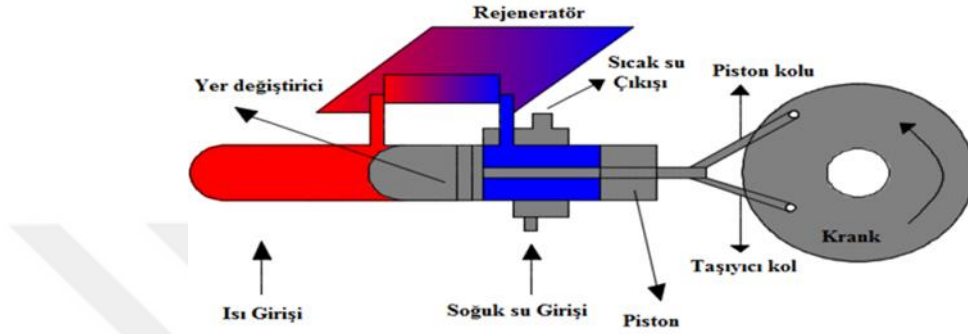
- **Dıştan yanmalı stirling motor**

Stirling motoru, kapalı bir haznenin dışardan ısıtılmasıyla oluşan enerjiyi mekanik enerjiye dönüştüren makinedir. Sıcak hava motoru olarak da bilinir. Isınan havanın genişleyip sıkışmasıyla motor hareket etmeye başlar. Stirling motoru, yalıtılmış olarak bir miktar çalışma gazının (genellikle hava veya helyum, hidrojen gibi gazlar) ısıtılma ve soğutulma işleminin tekrar edilmesi ile çalışır.

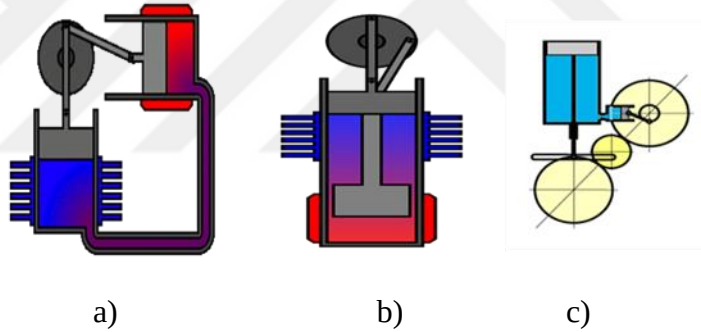
Kapalı bir ortam içinde gaz ısıtıldığında basınç yükselir pistonu etkileyerek hareket üretir. Gaz soğutulduğunda basınç düşer ve bunun sonucunda piston dönüş hareketinde gazı tekrar sıkıştırmak için oluşan işin bir kısmını kullanır. Ortaya çıkan net iş, mil üzerinde güç oluşturur. Çalışma gazı sıcak ve soğuk ısı eşanjörleri

arasında periyodik olarak akar. Çalışma gazı piston silindirleri içinde yalıtılmıştır. O yüzden burada egzoz gazı yoktur. Diğer tip pistonlu motorlardan farklı olarak valflere ihtiyaç yoktur [54].

Şekil 2.16.'yı incelediğimizde stiling motorun genel görünümü görülmektedir. Burada; Rejeneratör, iş yapan akışkana verilen ısıyı tutarak ikinci çevrimde tekrar ısı vermek için daha az yakıt kullanılmasını sağlamaktadır.



Şekil 2.16. Stirling motor genel görünüm [55]



Şekil 2.17. Stirling Motor Türleri [55]

Stirling motorlar üç gruba ayrılırlar (Şekil 2.17.). Burada;

a. Alfa Tipi Stirling Motor;

İki adet piston, bir adet volan, pistonların bulunduğu kapalı bir gaz haznesi, ısı eşanjörleri, ısı üretici, bir adet volandan oluşmaktadır. Üst kısma yerleştirilmiş olan pistonun etrafı ısı kaynağıyla ısıtılarak içerisinde bulunan gazın aktifleşmesi hedeflenir. Isınan gaz pistonu ileri geri itmeye başlar, bağlı bulunan diğer pistonda harekete başlar bu sayede sıcak ve soğuk gaz hazne içerisinde yer değiştirmiş olur. Bu iki pistonun bağlı olduğu volan yardımıyla oluşan enerji aktarılır.

b. Beta Tipi Stirling Motor ;

Aynı şaft üzerinde 2 adet piston bulunur. Bu iki piston birbirine bağlıdır. Alt tarafta bulunan pistonun bulunduğu hazne ısıtılarak kapalı hazne içerisindeki gazın ısınarak aktifleşmesi sağlanır. Bu sayede piston yukarı yönlü hareketine başlar. Bağlı bulunan diğer pistonda bununla birlikte soğuk gazı hazne içerisinde hareket etmesine yardımcı olur. Pistonların bağlı bulunduğu volan oluşan enerjiyi aktarır.

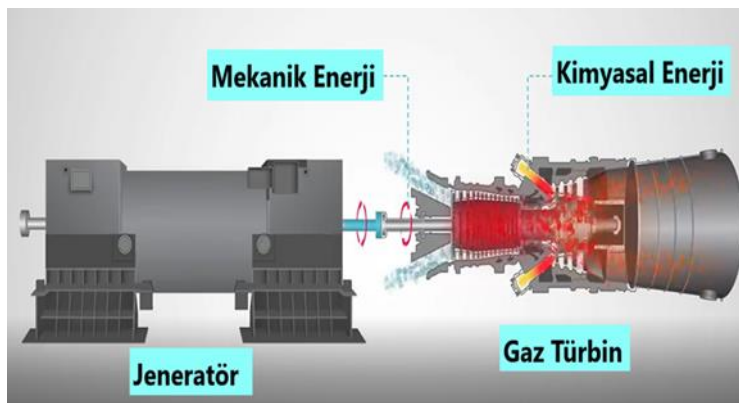
c. Gamma Tipi Stirling Motor ;

İki ayrı piston bulunur. Büyük olan pistonun bulunduğu hazne ısıtılarak içerisinde bulunan gazın aktifleşmesi sağlanır. Bu sayede volan ile birbirine bağlı olan pistonlar harekete başlarlar [55, 56].

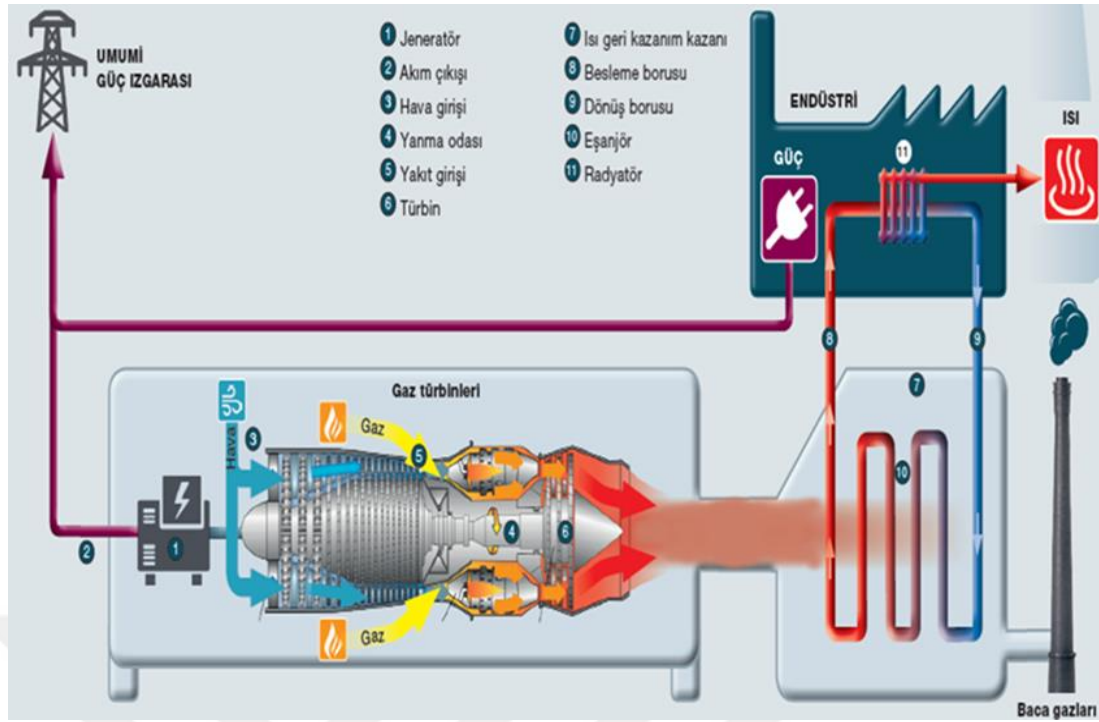
2.4.1.2. Türbin bazlı kojenerasyon sistemi

- **Gaz türbin**

Gaz türbini kojenerasyonunda; Kapalı bir ortamda sıkıştırılan hava çeşitli gaz yakıtlar bunlar doğalgaz ve çöp gazı gibi gazlardır. Yanma sonucu genişleyen sıcak gazlar bir türbinin içinden geçerek jeneratöre bağlı bir rotoru döndürür ve dönme hareketi sonucunda jeneratörde elektrik üretimi gerçekleşir (Şekil 2.18.). Türbinden çıkan sıcak gazlar sanayi alanlarında ısınma olarak kullanırlar. Bu ısıya egzost gazı ısısı denir. Egzost gazı ısısı, buhar, sıcak su, kızgın su ya da kızgın yağ üretmek için veya hava ile karıştırılarak direkt kurutma uygulamalarında kullanılabilir. Bu işlemler sayesinde toplam çevrim verimi % 80 seviyelerini yakalayabilmektedir (Şekil 2.19.) [57].



Şekil 2.18. Gaz Türbin [58]

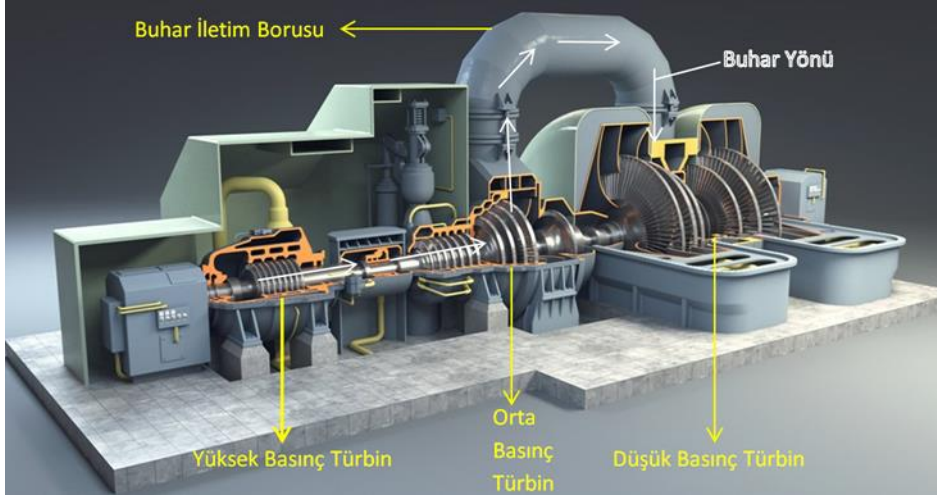


Şekil 2.19. Gaz Türbin Genel İşletimi [58]

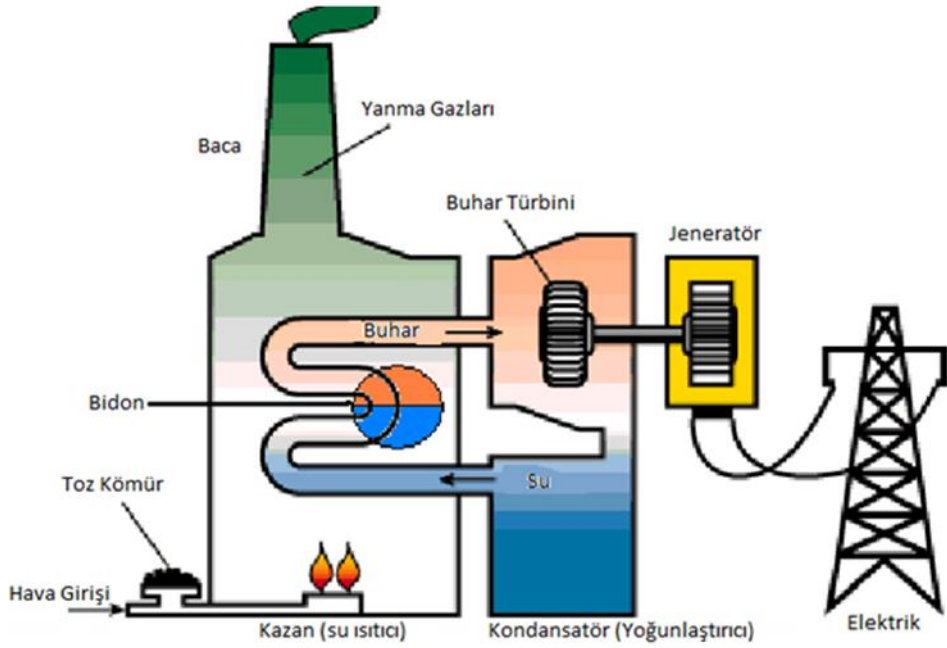
- **Buhar türbin**

Buhar türbininin işlevi; Yüksek basınç ve sıcaklık altında yüksek ısı enerjisine sahip akışkanın, (su buharı) taşıdığı kinetik enerjiyi mekanik enerjiye çeviren ısı üretici makinelerdir. Bu türbinlere bir jeneratör bağlanarak oluşan mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çevirirler.

Su yüksek derece sıcaklıklarda kaynatılarak kızgın buhar haline dönüştürülür. Elde edilen kızgın buhar ısı yalıtımlı borular yardımı ile tek akışlı bir şekilde türbin kanatlarının olduğu kısma gönderilir. Burada buharı karşılayan ilk türbin reaksiyon tipi kanatlardan oluşan yüksek basınç türbinidir. Hareket etme potansiyeli oldukça yüksek olan basınçlı buhar, yüksek basınç ve sıcaklıkla yüksek basınç türbinin kanatlarına çarparak döndürmeye başlar. Daha sonra yüksek basınç türbininde iş görmüş düşük basınçtaki buhar çift akışlı şekilde alçak basınç türbinine gönderilir ve orada da türbinin kanatlarını döndürerek mekanik bir enerji elde edilir. Oluşan bu mekanik enerji türbine bir dişli kutusu aracılığı ile bağlanan jeneratör yardımıyla elektrik enerjisine çevrilir. Termodinamiğin temel prensiplerine göre rankine çevrimiyle çalışan bu sistemde elde edilen enerji megavat düzeyinde enerji üretimi gerçekleştirmektedir (Şekil 2.20.) (Şekil 2.21.) [59].



Şekil 2.20. Buhar Türbini Genel Görünümü [59]



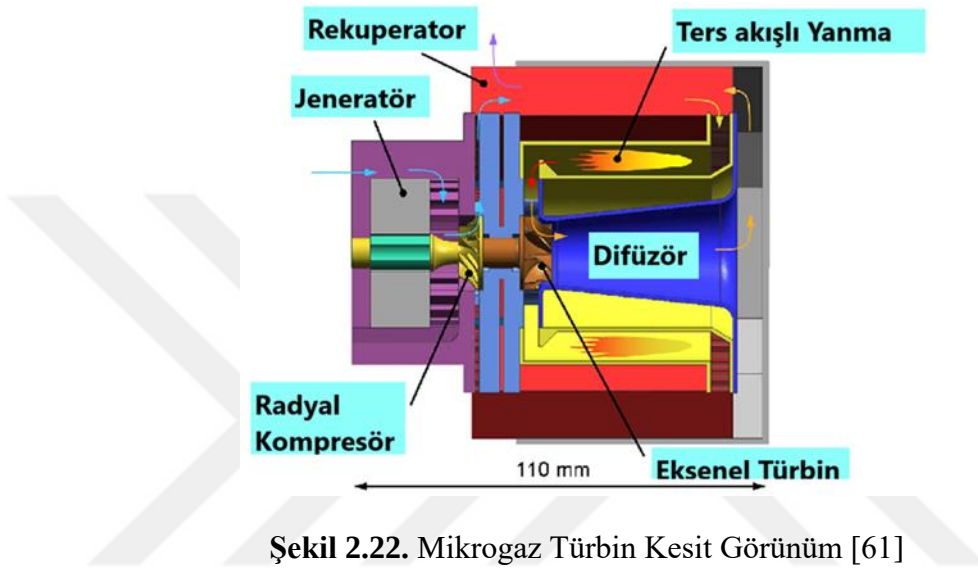
Şekil 2.21. Buhar Türbinleri Çalışma Prensibi [60]

- **Mikro gaz türbin**

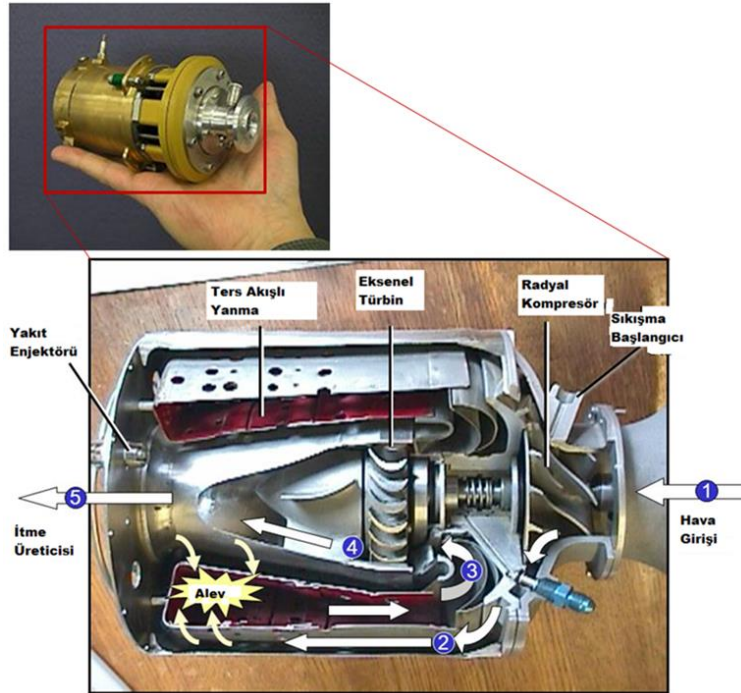
Mikro gaz türbini kompakt taşınabilir olarak üretilmiştir. Mikro gaz türbininin içerisine yerleştirilmiş bir reküparatör, opsiyonel çalışabilen bir gaz kompresörü, yanma odası ve jeneratör bulunmaktadır (Şekil 2.22.) (Şekil 2.23.). Mikro gaz türbininin genel çalışma işlevi; normal bir gaz türbinin çalışma prensibine benzemektedir. Mikro gaz türbin sistemi yanma havasını atmosferden alır. Alınan bu hava kompresörde sıkıştırarak basınç oranı artırılır. Mikro gaz türbin kompresörlerinin sıkıştırma oranı ($\Pi = 4$)'dür. Kompresör, sıkıştırılmış yanma havasının tamamını reküparatöre gönderir ve bu hava reküparatörde daha önce

yakılmış atık gaz ile ısıtılır. Böylece verimliliği artırılmış ve kullanılan yakıt miktarını düşürülmüş olur.

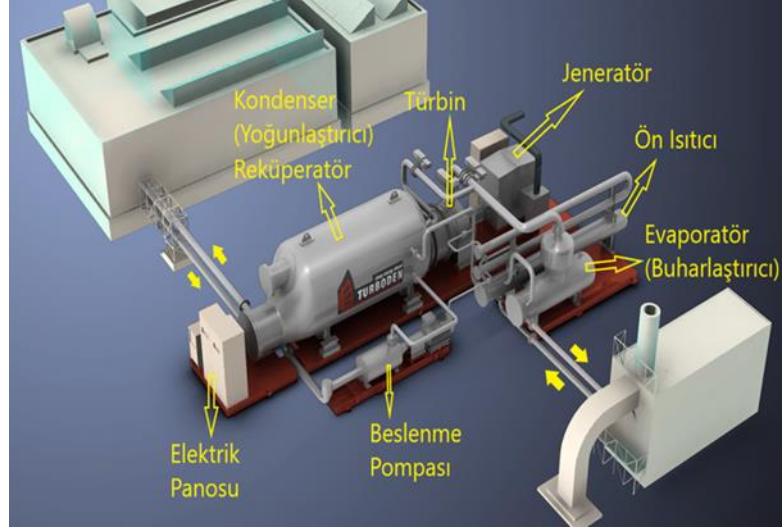
Basıncı artırılmış, reküparatörden geçirilmiş ve ısıtılmış yanma havası, yanma odasında yakıt ile yakılır. Yanmış sıcak gaz buradan türbine gönderilir ve türbinde genişletilir. Genişlemenin sonucunda gaz, türbin milini döndürür. Bu dönme sonrası oluşan torktan dolayı jeneratör çalışır ve tork burada elektrik enerjisine çevrilir (Şekil 2.24.) [57].



Şekil 2.22. Mikrogaz Türbin Kesit Görünüm [61]

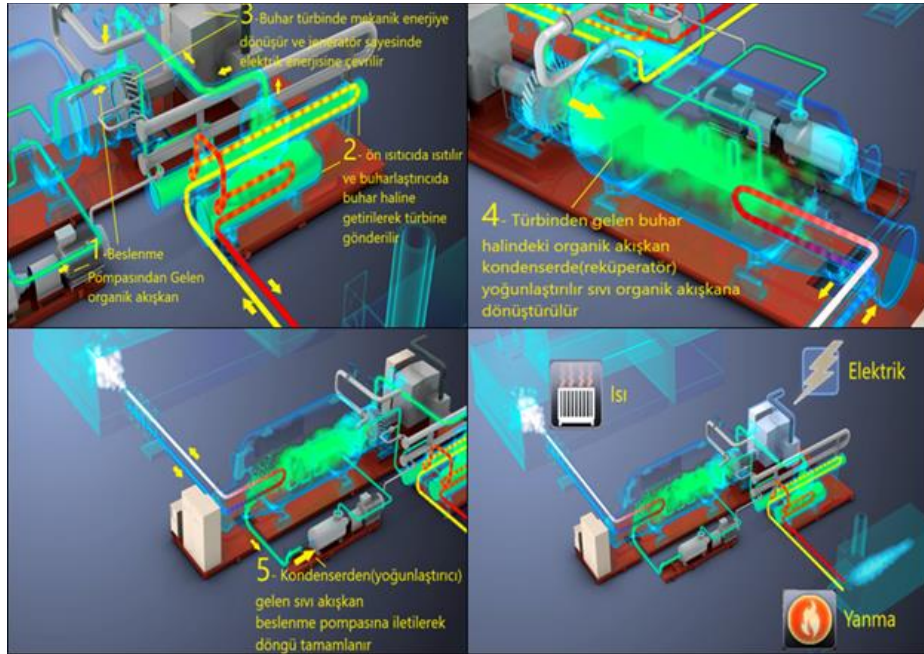


Şekil 2.23. Mikrogaz Türbin Genel Görünüm [61]



Şekil 2.25. Organik Rankine Çeviriminin elemanları [64]

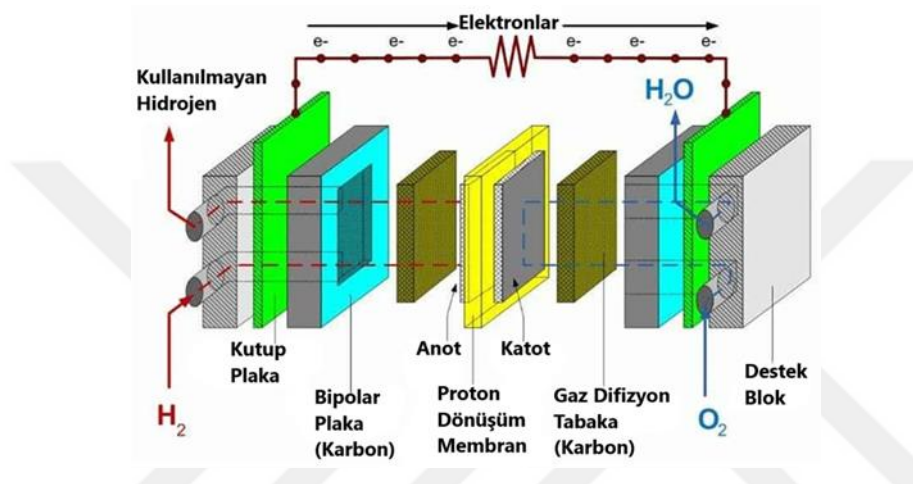
Organik rankine çevrimin çalışma prensibinde; Kullanılan organik akışkan kapalı bir devrede, tipik olarak 300 °C gibi yüksek sıcaklıkta ısıtılır. Sıcak organik akışkan beslenme pompası ile ön ısıtıcı ve buharlaştırıcı modüllerine getirilir, burada organik akışkan buharlaştırılır ve türbine gönderilir, türbinde organik buhar genişler mekanik enerji üretir daha sonra bir jeneratör vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüştürülür. Organik buhar daha sonra kondenserde yoğunlaştırılır ve termal organik akışkana geri döner, bu sıcak organik akışkan beslenme pompasına geri dönerek döngü tamamlanır (Şekil 2.26.) [64].



Şekil 2.26. Organik Rankine Çeviriminin Çalışma Prensibi [64]

2.4.1.3. Yakıt pilli bazlı kojenerasyon sistemi

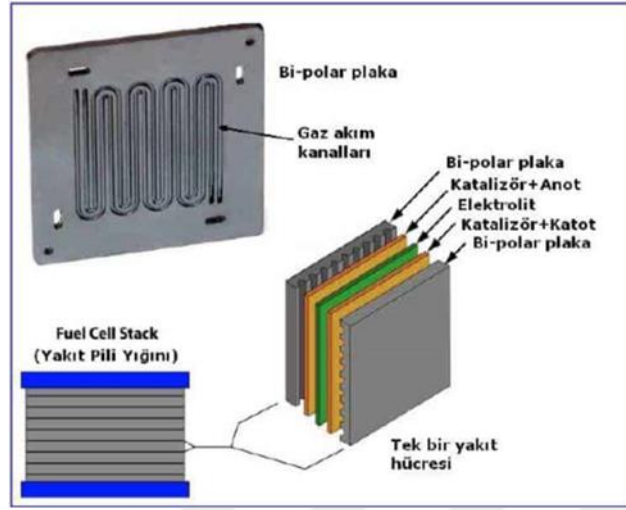
Yakıt pili; Uygun bir yakıt ve oksitleyicinin elektrokimyasal bir reaksiyonu ile elektrik enerjisi üreten bir sistemdir. Yani yakıt pili, yakıt ve havanın elektrokimyasal tepkimesi ile yakıt kimyasal enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren bir süreçtir. Elektrolizin ters reaksiyonu olarak da tanımlanabilecek olan yakıt pili reaksiyonu sonrası, doğru akım (DC) formunda elektrik üretilir. Yakıt pilleri, elektrokimyasal bir proses ile elektrik üretiliyor olmaları bakımından piller ve aküler ile benzerlik gösterirler[65, 66].



Şekil 2.27. Proton dönüşüm zarlı yakıt pilli ve bileşenleri [65]

Temel olarak bir yakıt pili; Elektrolit ve bunun her bir yüzeyi ile temas halinde bulunan geçirgen-gözenekli yapıda bulunan anot ve katot elektrotlardan oluşur (Şekil 2.27.). Yani elektrotlar geçirgen ve gözenekli (poroz) yapıdadır ve elektrotların arasında elektrolit yer alır (Şekil 2.28.). Yakıt pilinin anot (negatif) kutbu ya da elektrotuna; gaz yakıt, katot (pozitif) kutbu ya da elektrotuna ise; oksitleyici (hava ya da oksijen) gönderilir. Gönderilen bu yakıt ve havanın elektrokimyasal reaksiyonu sonucunda anot ve katot arasında oluşan potansiyel farkı bir elektron akışını ve elektriksel gerilimi meydana getirir. Reaksiyon sonrası ısı, saf su ve karbon içerikli bir yakıt kullanılıyorsa ilave olarak karbondioksit açığa çıkar. Pek çok yakıt pili gerek normal gerekse kombine çevrimlerde kullanılabilirler ve oldukça yüksek verimle enerji dönüşümü sağlarlar [65, 66]. Yakıt pilleri uygulamada, çalışma sıcaklığı, elektrolit tipi ve yakıt tipine göre sınıflandırılmaktadır. Yakıt pilinin çalışma sıcaklığı $150^{\circ}C$ 'den düşükse, “düşük sıcaklık yakıt pili”, $500^{\circ}C$ ile $1000^{\circ}C$ arasında ise “yüksek sıcaklık yakıt pili” olarak adlandırılmaktadır (Tablo 2.2.). Yakıt

hücrelerinin her ne kadar çalışma prensipleri benzer olsa da, çalışma koşulları ve uygulama alanları farklılık gösterirler.



Şekil 2.28. Tek Bir Yakıt Hücresi [65]

Tablo 2.2. Yakıt pilleri arasındaki farklar [67]

	PEMFC	AFC	PAFC	MCFC	SOFC
Elektrolit	Katı Polimer Membran	KOH	Sıvı Fosforik Asit	Sıvı Erimiş Karbonatlar	Y_2O_3 içeren zirkonya
Çalışma Sıcaklığı	80 °C	65°C-220°C	150°C-220°C	650°C	600°C-1000°C
Katalizör	Platin	Platin	Platin	Nikel	Perovskit
Trasfer edilen iyon	H^+	OH^-	H^+	CO_3^{2-}	O^{2-}
Yakıt Islahı	Pil dışı	Pil Dışı	Pil Dışı	Pil içi	Pil içi
Anot Gazı	Hidrojen	Hidrojen	Hidrojen	Hidrojen, Metan	Hidrojen, Metan
Katod Gazı	Saf oksijen veya hava	Saf oksijen	Havadan Oksijen	Havadan Oksijen	Havadan Oksijen
Isı Yöntemi	Soğutucu	Soğutucu - Koj.	Kojenerasyon	Kojenerasyon	Kojenerasyon
Verim	% (35-60)	%(50-70)	%(35-50)	%(40-55)	%(45-60)
Diğer Özellikler	Elektrolit katı olmasının getirdiği avantajlara sahiptir. Düşük sıcaklıkta çalışması diğer bir avantajdır.	Hidrojen ve oksijenle iyi performans gösterir. Uzay araştırmaları gibi kapalı uygulamalar için uygundur.	Performans AFC den düşüktür	Elektrolit korozyon ve hareket edilebilir. Pil yapısı için paslanmaz çelik gerekir. Pahalı metaller gerekmez.	Materyaller arasında ısı genleşme oranlılıkları oluşabilir.

2.4.2. Depo gazının direkt kullanımı

LFG'nin doğrudan uygulamaları, kazanlarda, kurutucularda, fırınlarda ve sızıntı suyu buharlaşması gibi diğer termal uygulamalarda olabilir. Özellikle çimento ve tuğla fırınları, seramik işleme ve cam fırınları, asfalt yapım ve ergime tesisleri, buharlaştırma ve yakma tesislerinde LFG'nin doğrudan kullanımı uygun görülebilir [45].

Depo gazının yakılması için özel gaz yakıcılar üretilmiştir. Güvenlik gereği depo gazı yakıcıların mekanizmasında; Otomatik çakmak, alev ve sıcaklık kontrol sistemi, otomatik kapatma valfi ve hava ayarlama sistemi bulunmalıdır. Konvansiyonel gaz yakıcılarda depo gazı yaklaşık 1000°C sıcaklıkta yakılır. Yüksek sıcaklıklardaki gaz yakıcılarda ise 1200°C'ye varan sıcaklıklara çıkılabilmektedir. Yüksek sıcaklıklı yakıcılarda, yakma sırasındaki dioksin oluşumu kısmen engellenebilir. Ancak bunların yatırım ve işletme giderleri konvansiyonel gaz yakıcılara göre daha yüksektir [68].

Depo gazı arıtılır ve hemen hemen saf metan haline gelene kadar saflaştırılır. Güvenlik için bazı koku verici bileşikler eklenir. Arıtma prosesleri depo gazının bileşimine, istenen gaz kalitesine ve yerel piyasa şartlarına bağlıdır. Bu yöntemde en önemli nokta doğalgaz boru şebekesine yakınlıktır. Her durumda, depo gazının bu şekilde kullanımı pahalıdır. Saf CO₂ geri kazanılıp satılsa bile sistem ekonomik olmayabilir. Bu uygulama, Amerika'da çok büyük depolama alanlarıyla sınırlı olmak üzere karlı bir uygulama olmuştur. Hollanda'da ise, şehir gazının özelliklerini depo gazını arıtarak karşılamak daha kolaydır [69].

2.5. Depo Gazı Modellemesi ve Temel Parametreleri

Depo gazı modelleri, Depolama sahalarında toplanmış katı atıktan zamana bağlı olarak elde edilebilecek metan miktarını tahmin etmede kullanılan sayısal hesaplamalardır.

Depo gaz modelleri hesaplanırken laboratuvar ölçekli verilerin, gerçek ölçekli saha verileri ile karşılaştırılıp teyid edilmesi gerekmektedir.

Modelin teyidi aşamasında, model sonuçları mevcut depo sahalarına ait veriler kullanılarak geçmişe dönük olarak yapılabilir. Bu nedenle izlenen depo sahaları (30-

40) yıl veya daha fazla uzun zaman dilimlerine kadar araştırılabilir. İzlenme zamanı ne kadar uzun tutulursa modelden o ölçüde doğru değerler alınacaktır [45].

Depo gazı modelinin formülasyonun yapılması ve gerçek saha değerleri ile uyumlu olması için bazı kriterler mevcuttur. Bu kriterler aşağıda sıralanmıştır;

a. Geçerlilik ; Sahadaki mikrobiyal kinetikler ve bakteri popülasyonunun laboratuvar ortamında çalışılması.

b. Doğrulama ; Sahada belli bir zaman aralığı süresince izlenerek elde edilen veriler ile model sonuçları arasında değerlendirme ve karşılaştırma.

c. Kalibrasyon ; Uygun sonuçları bulmak amacıyla, depo sahasına ait gerçek verileri kullanarak modelin giriş parametrelerini ayarlama.

ç. Lokasyon ; 2 ya da 3 depo sahası için kalibrasyon çalışmalarının yapılması.

d. Koşullar ve Zaman ; Biyolojik ayrışmayı etkileyecek nem içeriği, sıcaklık, atık kompozisyonu, gaz yoğunluğu, gaz bileşimi ve mikrobiyal popülasyon gibi fiziksel etkenleri zamana göre değişimini izlemek gibi ifade edilmektedir [45, 70].

Genel anlamda modeller atığın ayrışmasını ifade eden basit ampirik fonksiyonlar kullanılır. Etkin olarak biyolojik ayrışmayı ve mikrobiyal gelişmeyi baz alarak geliştirilen bu modeller sıfırıncı veya birinci dereceden kinetik modellerdir. Depo gazı modelleri, deneysel olarak hesaplanan katsayılar yardımıyla basit ama tutarlı bir tahmin olanağı verirler.

Depo gazı modellemesinde en önemli parametreler ; Metan gazı potansiyeli (L_0), metan gazı üretim sabiti (k) ve zaman(t) periyodudur.

Modelleme yapılırken karmaşık modellerde; Değişik atık türleri, depolanan atığın sürekli olup olmadığı veya atığın yerleşimi ile metan üretimi arasında zaman yönünden gecikme olması gibi koşullar göz önüne alınır. Ancak esas olarak, atığın yıllar boyunca sürekli artış olacağı ve bu gelen atığın miktar yönünden değişkenlik göstereceği tahmin edilmektedir.

Modelleme tahmin hesaplaması ile bulunan veriler ve sahadan elde edilen gerçek veriler arasındaki farklar aşağıdaki bulgular ile ifade edilir [45, 70].

a. Depo gazı modelleri depo sahasının tüm işlevini göstermezler.

b. Atığın sürekli olarak geldiği ve metan oluşumun atık yerleştikten hemen sonra başladığı veya belirli bir zaman zarfında metan üretiminde gecikme olduğu tahmin edilir.

c. Atığın fizikokimyasal bileşiği sahanın her yerinde homojen olduğu tahmin edilir.

ç. Gerçek saha verileri sahanın genelini ifade etmeyebilir.

d. Sahada oluşan metanın hangi verim ile toplandığı, kuyu sayısı, kuyular arası mesafe, bacaların hatalı yerleşimi gibi bir çok tesis işletme hatalarına bağlı olabilir.

Depo gazı modelleri ne kadar karmaşık olurlarsa olsunlar sonuç olarak 3 ortak parametresi vardır bunlar;

a. Toplam metan üretim potansiyeli (Lo)

b. Metan üretim sabiti / Atığın bozunma hızı (k)

c. Depo gazı üretim eğrisi şeklindedir

a. Toplam metan üretim potansiyeli (Lo): Toplam metan üretim potansiyeli, depo sahasında zamanla meydana gelecek toplam depo gazın miktarıdır. Depo gazı oluşumu çoğunlukla belirli bir kinetik olarak sahadaki atığın ayrışmasını esas alır. Modellerin tahmininde sahadaki atıktaki organik maddenin tamamen metan gazına ayrıştığı düşünülürse 1 kg kuru atıktan yüksek oranda metan oluşumu görülebilir [45, 70].

Parçalanabilir organik karbon (DOC) verisi, modelleme denkleminde kendi başına kullanılır veya metan üretme potansiyeli (Lo) girişine entegre edilir. Atıkların biyolojik olarak parçalanabilir özelliğinden meydana gelen parçalanabilir organik içeriğin denklemi 2.1, metan üretme potansiyeli (Lo) denklemine 2.2 katkıda bulunur. DOC'deki küçük değişiklikler, metan üretim tahminlerinde büyük değişikliklere neden olabilir, çünkü metan üretimi doğrudan parçalanabilir atık bileşenlerin kimyasal yapısına bağlıdır [71, 72].

$$DOC = (0,4.A) + (0,17.B) + (0,15.C) + (0,3.D) \quad (2.1)$$

Burada;

DOC = bozunabilir organik karbon (kg karbon/ton atık)

A= Sahada toplam atığın kağıt ve tekstil atık oranı

B= Sahada toplam atığın park veya bahçe atık oranı

C= Sahada toplam atığın yiyecek atık oranı

D = Sahada toplam atığın odun veya saman atık oranı

$$L_o = MCF.DOC.DOC_F.F.\frac{16}{12} \quad (2.2)$$

Burada;

L_o = Metan Üretim potansiyeli (kg karbon / ton atık)

MCF = Metan Düzeltme faktörü (Varsayılan=1,0)

DOC = Bozunabilir organik karbon (kg karbon /ton atık)

DOC_F = DOC un benzeşen oranı (Varsayılan = 0,77)

F= Çöp gazındaki metan kısmı (Varsayılan = 0,50)

16/12= Stokiyometrik faktör

Atıkların ayrışabilen organik karbon (DOC) içeriği, tüm depolama gazı üretim modellerinde, atık gazın mikrobiyal bozunması için mevcut atık bölümünü temsil ettiği için gereklidir.

Çelik ve alüminyum kutular, cam kaplar ve HDPE, LDPE ve PET plastikler çöplükte inert durumdadır, Bu nedenle, metan üretimi ihmal edilebilir. Kağıt, odun, yiyecek

ve bahçe atıkları gibi organik atıklar bozulur ve metan üretimine katkıda bulunur. Parçalanabilir organik karbon, belediye katı atıklarının önemli bir kısmını (% 70-80) oluşturur [73]. Belediye katı atıklarının (MSW) organik içeriği selülozdan (% 40-50), ligninden (% 10-15), hemiselülozdan (% 12) ve proteinden (% 4) oluşur. Selüloz ve hemiselüloz anaerobik koşullar altında kolayca biyolojik olarak parçalanabilir; Ancak, odun ve gazetede bulunan lignin parçalanamaz [74].

Metan üretim potansiyeli (L_o), depolama sahasında atığı ton başına üretilen metan miktarını temsil eder. Atık yoğunluğu, kompozisyon ve parçalama, L_o 'yı büyük ölçüde etkiler. Yoğunluk, metan üretim potansiyelini, üretimin herhangi bir aşamasında etkileyebilir.

b. Metan üretim sabiti / Atığın bozunma hızı (k): Bozunma hızı (k), bir depolama sahası içinde meydana gelen ayrışma hızını temsil eder. Birinci mertebe bir modelde, çürüme oranı, her yıl salınan kalan metan potansiyelinin kesirli kısmıdır. Denklem

2.3

$$k = d \cdot \frac{[CH_4]}{dt} \quad (2.3)$$

Burada;

k = Çürüme oranı ($yıl^{-1}$)

$[CH_4]$ = Metan gazı konsantrasyonu

Yarı ömür değeri, çözünebilir organik karbonun yarısının bozunması için gereken süredir. Birinci dereceden bir modelde, $k = 0.05 \text{ yıl}^{-1}$ olduğunda, bozunma hızı bu örnekte yaklaşık 14 yıla eşit olan yarı ömür denklem 2.4 cinsinden ifade edilebilir [75]. Bir çöplükte, organik maddenin yarı ömrü, atık bileşimine bağlı olarak tipik olarak beş ila yirmi beş yıl arasında değişmektedir.

$$t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{k} \quad (2.4)$$

Burada;

k = çürüme hızı ($yıl^{-1}$)

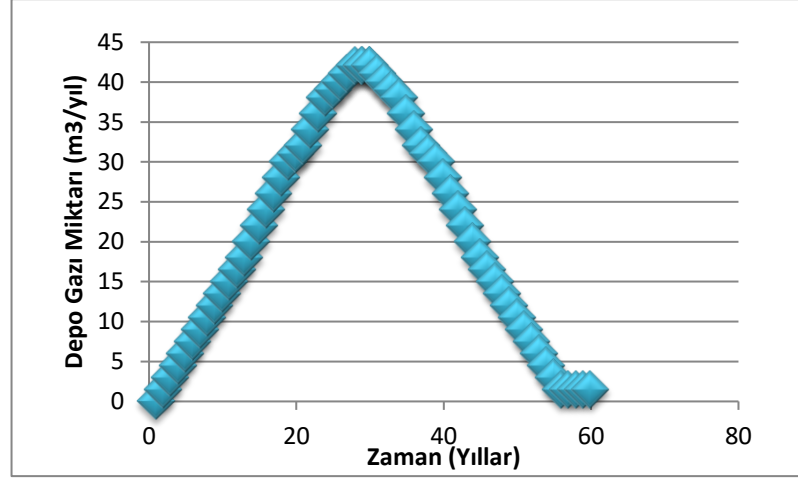
$t_{1/2}$ = yarı Ömür (yıl)

Çöp depolama bozunma oranlarının doğru bir şekilde ölçülmesi oldukça zordur çünkü birçok çevresel koşul bu sürece etki eder.

Metan üretim sabiti (k), belirli saha koşullarında metan jenerasyonunun atık akışından kaynaklanan zaman aralıklarını tanımlayan faktördür. Değeri atık bileşimine ve nem içeriğine göre değişir [72].

IPCC 2006 yönergesine göre atık ayrışma türleri üç'e ayrılmıştır ; Yüksek derecede ayrışabilir (geri konulabilir, yemek atıkları ve atık su çamuru), orta derecede ayrışabilir (Park ve bahçe atığı) ve yavaşça ayrışabilir (Kağıt-tekstil atıkları, Ahşap-saman-kauçuk atıkları)'dır [71].

c. Depo gazı üretim eğrisi : Basit ya da karmaşık modeller kullanılarak yapılan tahminlerin %100 gerçek veriler ile örtüşmesi beklenemez. Model kullanmadaki amaç emisyonların yaklaşık tahmini şeklinde olmalıdır. Şekil 2.29.'da birinci dereceden bir modelin gaz üretim eğrisi verilmiştir.



Şekil 2.29. Birinci dereceden model ile gaz oluşum tahmini [45]

Bir çok model atığın depolanacağı yere yerleştirilmesi ile atığın anaerobik olarak bozunup metan gazı oluşumunun başlaması arasına bir bekleme süresi koymaktadır. Bütün modellerde standart olarak oluşan metan miktarı belli bir süre boyunca artar. Daha sonra atık içindeki organik madde miktarındaki azalmaya ve organik maddenin türüne bağlı olarak düşüşe geçer [45].

2.5.1. Gaz modelleme sınıflandırılması

Depolama gazı üretimi üç aşamalı bir süreç izlemeye meyillidir. İlk atık yerleştirme döneminde, metan veriminde hızlı bir artış söz konusudur. Gaz üretim periyodu ve toplam saha verimi piklerinin karşılaştırılabilir periyod için bu süreci, sürdürülen en yüksek bertaraf oranı izler. Üçüncü ve son aşama, hızlı bir düşüş ve toprak dolumunun kapatılmasının ardından gaz veriminin düşmesi ile karakterize edilir [75].

Depo gazı modelleri genel olarak iki şekilde sınıfa ayrılabilir Bunlar; “Basit Ampirik Modeller” ve “Karmaşık Modeller”dir. Modelleri daha detaylı tasnif etmede; sıfırıncı dereceden, birinci dereceden, ikinci dereceden, çok fazlı veya değişik derecelerin kombinasyonu olarak da sınıflara ayrılabilir [45].

2.5.1.1. Sıfırıncı dereceden model

Bu modelde, depo gazı oluşum süreci belli bir artıştan sonra maksimum seviyede belli zaman boyunca sabittir sonra azalan evreye geçer. Toplanan atığın yaşı bir giriş parametresi değildir. Sıfırıncı derecede bir model grafiği Şekil 2.30.’de gösterilmiştir [45].

Sıfırıncı dereceden modele ait denklem 2.5’de verilmiştir.

$$Q = \frac{M.L_o}{(t_o - t_f)} \quad (2.5)$$

Burada ;

Q = zamana bağılı oluşabilecek gaz miktarı (hacim),

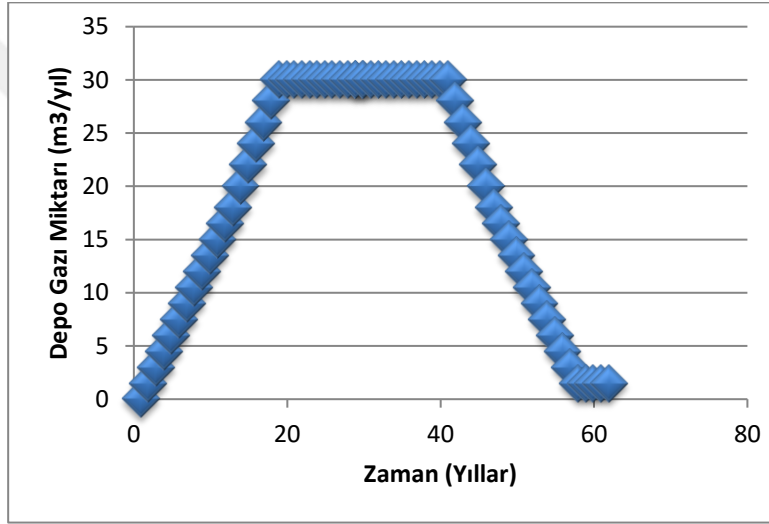
M = depolanmış atık miktarı (kütle),

Lo = metan üretim potansiyeli (birim kütle başına hacim),

t = zaman,

to = bekleme zamanı,

tf = üretimin sonlanacağı zamandır.



Şekil 2.30. Sıfırıncı dereceden model ile yapılmış bir modelleme [45]

Bu model de ihtiyaç olunan kriterler; metan üretim potansiyeli, depolanmış atık miktarı ve metan üretim süresidir [45].

Sıfırıncı dereceden modeller, zaman içinde meydana gelen değişiklikleri hesaba katmaz. Sıfırıncı dereceden modellerde, depolama ömrü sonuna doğru metan üretiminde aşırı bir düşüşü öngörür. Bu tür keskin düşüşler genellikle çöplüklerde gözlenmez, sıfır dereceli bir modelin çöp gazı üretiminin modellenmesi için olası bir seçenek değildir [75].

Sıfır dereceli modelleri, operasyonel depolama alanlarının değerlerine yaklaşmak için iyi olabilir; ancak depolama sahasının kapanmasından sonra, gaz üretimi bu model tipinde yansıtılmayan bir gerçekliği azaltır [76]. Bu model sadece şu anda atık biriktirme işleminde olan evsel ve evsel atık içeren çöplükler için uygundur. Bu

tip bir model, atık bileşiminde ve zaman içinde doldurulan atık miktarında büyük değişiklik olmaması koşuluyla, ulusal ve küresel gaz emisyonlarını tahmin etmek için iyi olabilir [72-76].

2.5.1.2. Sabit oranlı model

Bu model de; Sahada atık birikimi olduktan sonra gazın hemen oluşumundan önce bir bekleme sürecini varsaymaktadır. Saha da belli süre geçtikten sonra gaz oluşumu bir anda artar sonra belirli lineer ilerlemeden sonra gaz oluşumu bir anda düşer (Şekil 2.31.) de modelin grafiği gösterilmiştir [45].

Sabit oranlı model modelin denklem 2.6'da verilmiştir

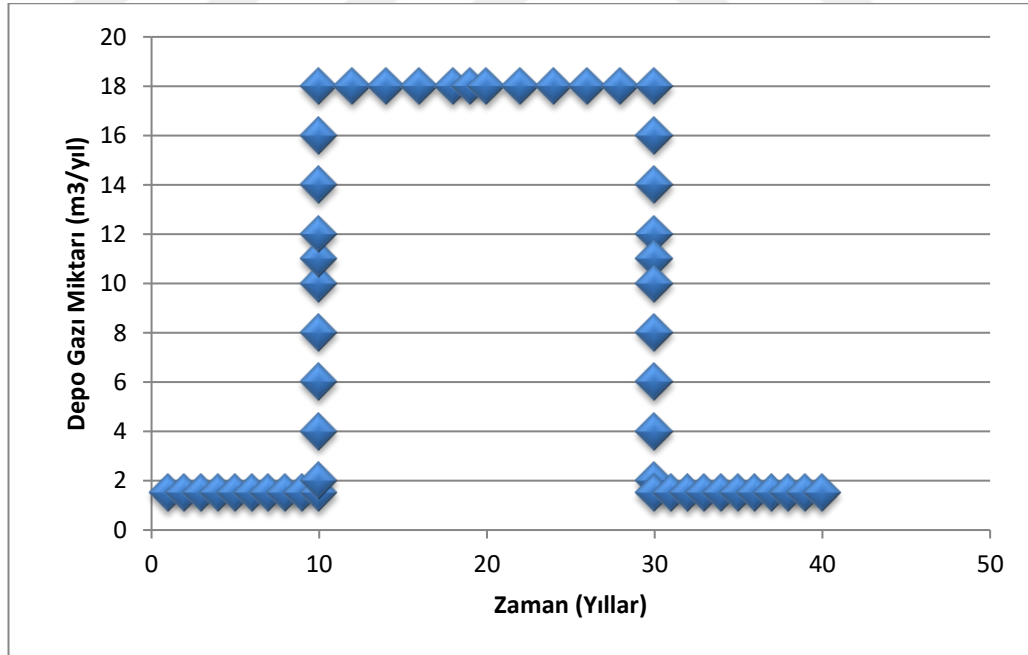
$$\frac{dc}{dt} = -k \quad (2.6)$$

Burada;

t = zaman

C = toplam metan ya da toplam substrat miktarı

k = sıfırcı dereceden ayrışma sabitidir



Şekil 2.31. Sabit Oranlı Model

2.5.1.3. Birinci dereceden model

Uygun depolama gazı üretim modellerinin değerlendirilmesi, 1970'lerde, atık depolama ayrışmasının azalan bir birinci mertebe modelini kullanmasıyla başlamıştır

[72]. Gaz üretiminin, birinci dereceden kinetikler boyunca organik maddenin parçalanmasıyla orantılı olduğu ve depolama sahasının kapanma sonrası ortaya çıkan düzenli depolama gazında kademeli bir düşüş olduğu varsayılmaktadır [77]. TNO, LandGEM ve Scholl Canyon modellerini içeren ilk birinci dereceden modelleri şu anda Danimarka, Norveç, Hollanda ve ABD tarafından kullanılmaktadır [78].

Birinci dereceden modelde atık yaşının depo gazı üretimine etkisi hesaba katılmaktadır. Atığın ayrışma hızının zamana bağlı olarak üssel olarak azaldığı varsayılmaktadır. Birinci dereceden modelin sayısal ifadesi denklem 2.7'de verilmiştir [72].

$$Q=M.Lo.k.e^{(-k(t-t_o))} \quad (2.7)$$

Burada;

k = birinci dereceden ayrışma sabitidir.

Yukarıda verilen denklem için gerekli parametreler, metan üretim potansiyeli (Lo), atığın miktarı (M) ve ayrışma hızıdır (k). Bu modelin Scholl Canyon, LandGEM gibi modifikasyonları sıkça kullanılmaktadır.

Birinci dereceden modeller, ilk atık yerleştirme için gaz üretimini taklit etmekte zorlandıklarından, metanogenezin erken ve artan aşamalarını tanımlayan başlangıçtaki bir dalı olmadığı için eleştirilmektedir [79].

2.5.1.4. Çok fazlı model

Afvalzorg veya GasSim modelleri gibi çok fazlı modeller farklı atık türlerini ve bunların fraksiyonlarını ve bozunma özelliklerini ayrı ayrı ele alır. Çok fazlı model, düzenli depolama içinde gerçekte meydana gelen reaksiyonları en iyi şekilde temsil eder, çünkü heterojen çevreyi benzer kısımlarına bölüştürür. Bu model avantajlıdır, çünkü tüm atıklar parçalanabilir malzemelerin üç fazının tipik kısımlarını içerdiğinden atık bileşimi dikkate alınabilir [80]. Ancak bu tip bir model, atıkları uygun modelleme kinetiğine sahip farklı kategorilere bölme zorluğundan dolayı büyük ölçüde eleştirilmiştir [75]. Çünkü bu ayrıntılı bilgi miktarı çoğu zaman bilinmemektedir ve düzenli depolama sahalarında kaydedilmemiştir [75].

Çok fazlı model birinci dereceden üssel modeli temel almıştır. Atığın farklı fraksiyonlarının farklı biyobozunma katsayılarına sahip olduğunu ve oluşacak depo

gazı miktarının ilk yıllarda daha fazla olacağını öngörür. Denklem 2.8’de çok fazla modelin sayısal ifadesi verilmiştir.

$$Q=M.Lo.[F_r.k_r e^{-kt(t-t_o)}+F_s.K_s.e^{-ks(t-t_o)}] \quad (2.8)$$

Burada;

k_r = hızlı ayrışan atıklar için birinci dereceden ayrışma sabiti

k_s = yavaş ayrışan atıklar için birinci dereceden ayrışma sabiti

F_r = hızlı ayrışan atıkların oranı

F_s = yavaş ayrışan atıkların oranıdır

2.5.1.5. İkinci dereceden model

Bu model, çok sayıda birinci dereceden reaksiyonun entegre olduğu bir modeldir. Atıkta oluşan karışık reaksiyonları izah edecek durumda farklı katsayılar kullanılır. Denklem 2.9’da ikinci dereceden modele ait formülasyon aşağıda verilmiştir [45].

$$\frac{dc}{dt}=k.C^2 \quad (2.9)$$

Burada;

t = zaman

k = ikinci dereceden ayrışma sabitidir

2.5.1.6. LandGEM model

Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı(USEPA) tarafından depo gazı tahmini için LandGEM modelini geliştirmiştir, mayıs 2005’te piyasaya sürülen 3.02 versiyonu en güncel yazılım’dır. LandGEM, düzenli depolama alanlarındaki atığının ayrışmasından kaynaklanan gaz emisyonların miktarını belirlemek için birinci dereceden ayrışma kinetiğine dayanmaktadır. LandGEM Yazılımı, depolama sahası gazı emisyonlarını tahmin etmek için nispeten basit bir yaklaşım sağlar. Model parametreleri düzenli depolama alanlarından gelen ampirik verilere dayanmaktadır. LandGEM programında; girdi verileri ne kadar iyi olursa tahminler o kadar doğru olur. Model girdileri; Depolama alanının açıldığı yıl, depolama sahası kapatma yılı veya depolama sahası kapasitesi, güncel yıla veya kapanma yılına kadar yıllık atık kabul oranları, metan üretim hızı sabiti (k) ve nihai metan üretim potansiyeli (Lo)

Metan üretim oranı, aşağıdaki denklem 2.10 kullanılarak model tarafından tahmin edilmektedir [81].

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0,1}^1 k \cdot Lo \cdot \frac{M_i}{10} \cdot e^{-k \cdot t_{ij}} \quad (2.10)$$

Q_{CH_4} = hesaplama yılı içindeki yıllık metan oranıdır ($m^3 / yıl$),

i = zaman artışı (genellikle bir yıl),

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

j = (0,1) – (yıllık zaman artışı)

k = metan üretim sabiti oranı ($yıl^{-1}$)

Lo = nihai metan üretim potansiyeli (m^3/mg)

M_i = i yılında kabul edilen atık kütlesi (mg)

t_{ij} = i yılında kabul edilmiş atık kütlesinin j kısmının yaşıdır.

Model temelde aşağıdaki verileri esas almaktadır;

- a. Depo sahası dizayn kapasitesi
- b. Depolanmış toplam atık miktarı veya yıllık olarak depolanmış atık miktarları
- c. Metan üretim sabiti (k) ve metan üretim potansiyeli (Lo)
- ç. Toplam organik maddeler ile metanojenik olmayan bileşenlerin konsantrasyonları
- d. Atık yaşı
- e. Depo sahasına tehlikeli atık kabul edilip edilmediği [81]

2.5.1.7. Scholl canyon model

Scholl Canyon Modeli, depo gazı üretiminin birinci dereceden kinetiğin bir fonksiyonu olduğunu varsayan bir modeldir. Bu model, bakteriyel aktivitenin ilk iki aşamasını göz ardı eder ve sadece substrat sınırlı bakteriyel büyümenin gözlenen özelliklerine dayanır. Anaerobik koşulların olduğu orijinal versiyon da ihmal edilebilir bir gecikme süresinden sonra depo gazı üretim hızının en yüksek pike çıktığını varsayılır ve atıkların organik içeriği tüketildikçe depo gazı katlanarak azalır. Ortalama yıllık atık yerleşim oranları kullanılır ve zaman ölçümleri yıl cinsindendir [82].

Model ilk olarak denklem 2.11 formundadır:

$$Q_{LFG} = R_{avg}.Lo. (e^{-k.c} - e^{-k.T}) \quad (2.11)$$

Burada;

Q_{LFG} = T zamanında depo gazı üretim oranı ($m^3 / yıl$)

Lo = Metan üretim potansiyeli (m^3 / t)

R_{avg} = Ortalama yıllık atık kabul oranı (t/yıl)

k = Metan üretim sabiti (1/yıl)

c = Depolama alanının kapatılmasından bu yana geçen süre (yıl)

T = İlk atık yerleştirilmesinden bu yana geçen süre (yıl)

Yıllık kabul oranlarında varyansa izin vermek için denklem 2.11'in zamana göre türevi, tek bir yılda düzenli depolama alanından (R_i) depo gazı üretimini tahmin etmek için kullanılabilir [71].

Denklemde 2.11 de, T değişkeni, atığın düzenli depolamada bulunduğu yıl sayısını temsil eden $(t-i)$ ile değiştirilir. Elde edilen denklem 2.12 formunu alır.

$$Q_{LFG,t,i} = Lo.k.R_i.e^{-k.(t-i)} \quad (2.12)$$

Burada;

$Q_{LFG,t,i}$ = Üretilen depo gazı miktarı ($m^3 / yıl$)

R_i = i yılında yerleştirilmiş atığın miktarı (t/yıl)

i = Atığın yerleşim zamanı (yıl)

t = Güncel zaman (yıl)

Tüm yıllarda yerleştirilen atıklardan elde edilen mevcut emisyonları tahmin etmek için; Denklem 2.12'deki tüm R_i değerleri ve toplanan atıklar için depo gazı üretimi denklem 2.13 ile çözülür.

$$Q_{LFG,t} = \sum_{i=ilk\ yıl}^t Q_{LFG,t,i} = \sum_{i=ilk\ yıl}^t R_i.Lo.k.e^{-k.(t-i)} \quad (2.13)$$

Anaerobik koşulların oluşmasından kaynaklanan gecikme süresi, “ t ” yerine “ $t +$ gecikme süresi” değiştirilerek modele dahil edilebilir.

Anaerobik koşulların ortaya çıktığı gecikme süresi iki yüz gün ila birkaç yıl arasında değişebilir [82].

2.5.1.8. Tabasaran model

Gaz üretimin hesabı için Tabasaran ve Rettenberger tarafından geliştirilen matematik model, atıksuyun ve arıtma çamurunun anaerobik ortamda arıtılması konusunda gelişmiş batılı ülkelerde çok kullanılan modeldir. Modelin sayısal ifadesi aşağıdaki denklem 2.14’de gösterilmiştir [83].

$$G_t = 1,868 \cdot G_{org} \cdot (0,014T + 0,28) \cdot (1 - 10^{-kt}) \quad (2.14)$$

Burada;

G_t : t zamanında kadar üretilen gaz miktarı (m^3/ton)

G_{org} : Organik karbon muhtevası (kg/ton atık)

T : Sıcaklık ($^{\circ}C$)

t : Zaman (yıl)

k : Ayırışma sabiti ($yıl^{-1}$)

Modelin başarılı olmasında en önmeli kriter parametrelerin seçimidir. (G_{org}) katı atıklarda ($170-220$) kg/t atık civarındadır. (T) depo gövdesinde çoğunlukla ($25-35$) $^{\circ}C$ civarındadır. Üstü örtülmemiş sahalarda bu sıcaklığın üzerinde çıkıldığı tesbit edilmiştir. K değeri %75 organik madde indirgemesi ve ($12-24$) yıl dolgu süresi için ($0,025-0,05$) $yıl^{-1}$ arasında seçilmektedir. Almanya’daki depo tesislerinde yapılan ölçümler sonucunda bu değer ($0,035-0,04$) $yıl^{-1}$ olarak verilmektedir [84, 85].

2.5.1.9. TNO model (Tek fazlı model)

Atık içindeki karbonun tükenmesinin zamanla etkisi birinci dereceden bir modelde açıklanmaktadır. Belli bir atık miktarından Depo gazı oluşumu zamanla üssel olarak azalır. TNO modeli, atıklardaki bozulmuş organik karbon esas alarak Depo gazı üretimini hesaplar. Birinci dereceden model aşağıdaki denklem 2.15’de sayısal ifade olarak tanımlanır [86].

$$\alpha t = \zeta \cdot 1,87 \cdot A \cdot C_o \cdot k_1 \cdot e^{-k_1 t} \quad (2.15)$$

Burada ;

αt = yıllık oluşacak depo gazı miktarı (m^3 depo gazı/yıl),

ζ = düzeltme katsayısı ($0,58$),

$1,87$ = çevirme katsayısı (m^3 depo gazı/kg bozunan karbon),

A = depolanmış atık miktarı (ton),

Co = atık içindeki organik karbon miktarı (kg karbon/ton atık),

k₁ = ayrışma katsayısı (0,094 /yıl),

t = depolama başladığından beri geçen süre şeklindedir.

2.5.1.10. Afvalzorg model (Çok fazlı model)

Birinci dereceden çok aşamalı modelde farklı atık fraksiyonları hesaba katılır. Tüm atık türleri tipik olarak yavaş, orta ve hızlı bozunur fraksiyonu içerir. Bu model 1996 yılında Wageningen Üniversitesi tarafından geliştirilmiştir. Modelin birinci dereceden sayısal ifadesi denklem 2.16'da verilmiştir [87].

$$\alpha t = \zeta \cdot \sum_{i=1}^3 c \cdot A \cdot Co_{j,i} \cdot k_{i,1} \cdot e^{-k_{i,1} \cdot t} \quad (2.6.)$$

Burada;

αt = yıllık oluşacak depo gazı miktarı (m³ depo gazı/yıl),

ζ = düzeltme katsayısı,

i = k_{1,i} ayrışma katsayısına sahip atığın toplam atık içindeki oranı,

c = çevirme katsayısı (m³ depo gazı/kg ayrışan organik madde),

A = depolanmış atık miktarı (Mt),

Co = atık içindeki organik madde miktarı (kg organik madde/ton atık),

k_{1,i} = i türündeki atık için ayrışma katsayısı (y⁻¹)

t = depolama başladığından beri geçen süre şeklindedir.

2.5.1.11. LMOP model (EPA's Landfill methane outreach program)

Depo sahasının açılış ve kapanış yılları, zaman içinde depolanan atık miktarı, atığın kompozisyonu, depo sahasının geçmiş ve güncel yapısını ifade edecek verileri kullanarak birinci dereceden kinetiğe göre model hesaplama yapar. Ayrıca spesifik koşullarda belirlenen k ve Lo değerlerindeki model kullanır [73, 88].

LMOP modeli LANDGEM modelini baz almaktadır ve bu modelin düzenlenmiş halidir. Modelin sayısal ifadesi denklem 2.17'de verilmiştir.

$$Q_{LFG} = \sum_{t=1}^n \sum_{j=0,1}^1 2 \cdot k \cdot Lo \cdot \left[\frac{Mi}{10} \right] \cdot (e^{-k \cdot t \cdot i_j}) \cdot (MCF) \cdot (f) \quad (2.17)$$

Burada;

Q_{LFG} = Oluşması beklenen maksimum depo gazı miktarı ($m^3/yıl$),

i = 1 yıllık zaman gecikme,

n = (hesap yılı – ilk atık kabul yılı),

j = 0,1 yıllık gecikme,

k = metan oluşum katsayısı (y^{-1}),

Lo = metan üretim potansiyeli (m^3/ton),

M_i = i . yılda depo sahasında depolanmış atık miktarı (ton),

T_{ij} = j hücresinde bulunan M_i kütleindeki atığın i . yıldaki miktarı,

MCF = metan düzeltme faktörü,

f = Depo gazı içindeki metan oranı [73, 88]

2.5.1.12. WEBER model

Weber modeli Tabasaran modelinden geliştirilmiştir ve meydana gelecek depo gazının zaman içinde azaldığı varsayılır ve birinci dereceden reaksiyon kinetiği kullanır. Model de; her yıl gelen atık miktarını bütünler ve birikmiş atık miktarı içinde birim atık kütle için belli bir zaman periyodunda metan gazı üretimi dikkate alarak toplam depo gazı hacmini hesaplar. Bundan dolayı zaman içinde atık depolanması sonlandıktan 1 sene sonra depo gazı üretimi zirveye ulaşır sonra azalan bir şekilde düşüşe geçer [73, 89].

Modelin sayısal ifadesi denklem 2.18’de verilmiştir.

$$G_{a,t(m^3/t)} = 1,868.M.TOC.f_{a0}.f_a.f_s.k.e^{-kt} \quad (2.18)$$

Burada ;

TOC = toplam organik karbon (kg/ton)

t = zaman (yıl)

a_t = reaksiyon sabiti ($yıl^{-1}$)

f_{a0} = atık depolandıktan sonra ilk 6 ay için düzeltme katsayısı (0,8-0,95)

f_a = ayrışma katsayısı (ayrışabilen organik karbon/toplam organik karbon) (0,5-0,9)

f_o = optimizasyon katsayısı (0,7-1)

f_s = gaz toplama verimi (0-1) şeklindedir.

2.5.1.13. IPCC model

Birinci dereceden reaksiyon kinetikleri baz alınarak IPCC model kullanılır. Bu modelin kullanımında önemli parametreler; Katı atık düzenli depolama saha koşulları, atık kompozisyonu ve içeriği ve yıllık katı atık birikimidir. Model için atığın ayrışma süresi 20-25 yıl veya daha çok yıllar gereklidir. Ek olarak model değerlendirmesinde ülkeye özgü koşullar, istatistik bilgiler gerekebilir. Ayrıca modelin formülasyonunda önemli parametreler; yarı ömür, metan üretim potansiyeli(Lo), parçalanabilir organik karbon (DOC) ve ayrışan DOC oranı (DOC_f) girdi olarakta kullanılmaktadır.

Modelde yıllara bağlı olarak metan emsiyonun hesaplanmasında aşağıdaki denklem 2.19 ile yapılmaktadır [71].

$$CH_4 = (MSW_T.MSW_F).MCF.DOC.DOC_F.F.\left(\frac{16}{12} - R\right).(1 - OX) \quad (2.19)$$

Burada;

MSW_T = toplam atık miktarı (ton/yıl)

MSW_F = depo sahasında depolanan atık içindeki evsel atığın oranı

MCF = Metan düzeltme faktörü

DOC = Depolanmış ayrışabilir organik karbon

DOC_F = Depolanmış organik karbonun anaerobik koşullarda ayrışabilen oranı

F = Depo gazının içindeki metanın oranı

R = Depo sahasından elde edilmiş metan miktarı (ton/yıl)

OX = Oksidasyon faktörü

Şeklindedir.

IPCC 2006 yönergesinde önerilen teorik olarak birinci sıra kinetik metodolojilerine bağlı olarak ülkelere tavsiye edilmiş, metan üretim sabiti (k) ve Metan üretim potansiyelini (Lo) bulunmasında özellikle 1998 yılında Norveçte uygulanmış IPCC önerdiği aşağıdaki denklem 2.20'de CH_4 emsiyonu belirlenmektedir [71].

$$CH_4 = k.MSW_T.MSW_F.MCF.Lo.e^{-k(T-x)}.F \quad (2.20)$$

Burada;

T = zaman (yıl)

x = katı atık miktarının bertarafında geçmiş yıllar

L_o = metan üretim potansiyeli (m^3/ton)

k = metan üretim sabiti



3. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Bu çalışmanın literatür kısmında; Düzenli depolama gazı tahminine yönelik akademik çalışmaların yanısıra, Ülkemizde ve Dünyada genel biyogaz tesislerin envanteri hakkında bilgi verilmiştir.

3.1. Depo Gazının Tahminine Yönelik Yapılan Çalışmalar

3.1.1. Voroni diagramı

Mackie ve Cooper çalışmaların da [90], düzenli depolama sahasının atmosferinde uçucu organik bileşik (VOC) ölçümü kullanan bir emisyon tahmini yaklaşımını önerilmiştir. Önerilen yöntem, standart Gauss dispersiyon denklemlerinin ters çözümüne dayanmaktadır. Bununla birlikte, girdi olarak sadece VOC konsantrasyonları ve kaynak konumları gereklidir. Voronoi şemaları kullanılarak nokta kaynaklarının maksimum ihtimalinin konumları tahmin edilmiştir ve konumları daha da hassaslaştırmak için önemli örnekleme yapılmıştır. Nokta kaynak güçleri, negatif olmayan en küçük kareler kullanılarak hesaplanmış ve daha sonra toplam atık emisyon oranını vermek için nokta emisyon oranları toplanmıştır. Dört adet düzenli depolama çalışmasın da önerilen yöntem dört adet düzenli depolama sahalarında uygulanmıştır. Dağılım denklemlerinin ileri ve geri çözümleri sayesinde validasyon çalışmaları için üç hipotetik depolama alanı seçilmiştir. Dördüncü vaka çalışmasının, aktif bir merkezi Florida MSW depolama alanıdır. Önerilmiş yöntem, atık gaz emisyonlarının doğru ve sağlam bir şekilde tahmin edilmesini garanti eder.

3.1.2. Fuzzy değerlendirme

Garg ve diğer araştırmacıların değerlendirmelerin de [91], çöp depolama alanlarındaki metan üretim hızı sabitini (k), tahmin etmek için bulanık/fuzzy sentetik değerlendirmeyi kullanan bir model sunulmuştur. Modele girdi olarak dört ana parametre; yağış, sıcaklık, atık bileşimi ve depolama derinliği kullanılmıştır. Bu parametreler metan üretimini etkilemektedir. Parametreler arasındaki matematiksel ilişkilerle atık depolama alanlarındaki metan üretimini tahmin etmek için gereken metan üretim hızı sabiti(k) bilinmemektedir. Metan üretim hızı sabitini(k) tahmin

etmek için fuzzy tekniği kullanılmıştır. Model 42 lokasyondan k değerleri kullanılarak kalibre edilmiş ve doğrulanmıştır. Girdi parametrelerindeki belirsizliğin üretim hızı sabiti(k) üzerindeki etkisini araştırmak için bir duyarlılık analizi yapılmıştır.

3.1.3. Yapay sinir ağı model

Özkaya ve diğer araştırmacıların çalışmaların da [92], düzenli depolama sahalarındaki biyoreaktörlerinden oluşan gazlardaki metan fraksiyonunu tahmin etmek için bir sinir ağı modeli hazırlanmıştır. Çöp biyoreaktörleri, Türkiye, İstanbul Odayeri Düzenli Depolama Sahası'nda inşa edilmiştir ve (C1) sızıntı suyu sirkülasyonu olmadan (C2) ile işletilmiştir. Test hücresinin çöp yüksekliği 5 m dir ve 1250 m² (25 m x 50 m) yerleşim alanına sahiptir. Sızıntı suyunu ve çöp gazı bileşenlerini 34 ay boyunca izlenmiştir, daha sonra yapay sinir ağıları kullanarak biyoreaktörlerden (C1 ve C2) çöp gazı içindeki metan fraksiyonunu modellenmiştir. Sızıntı suyu bileşenleri; “PH, alkalilik, KOİ, sülfat, iletkenlik, klorür ve atık sıcaklığı” girdi parametreleri olarak kullanıldı ve Depolama gazındaki metan fraksiyonu son ürünü olarak tahmin edilmiştir. Farklı zaman periyotları süresince sızıntı suyu karakteristiklerini temel alarak anaerobik dönüşümü değerlendirildi. Sinir ağının optimal mimarisini belirledi ve ağın avantajları, dezavantajları ve diğer gelişmeler tartışıldı.

3.1.4. IPCC, Tabasaran/Rettenbecker, German EPER, TNO, LandGEM, Scholl canyon modeller.

Nojedehi ve diğer araştırmacıların çalışmaların da [93], sürdürülebilir Atık Yönetimi (SWM) dahil olmak üzere; LEAP modelini kullanarak ve iki senaryo geliştirip Tahran kentinde elektrik üretimini ve çevresel yönlerini analiz etmeyi amaçlanmıştır. Planlamanın başlangıç ve son yılları sırasıyla 2012 ve 2035'tir. Tahran'ın enerji ve enerji dışı emisyonlarını tahmin etmek için IPCC modelini LEAP modelini entegre etmeye çalışılmıştır. Bu iki modeli birbirine bağlayarak, SWM senaryosunun enerji ve çevresel etkileri tahmin edilmiştir. Depolama gazı (LFG) tesislerinin güç üretimini hesaplamak için GE10'un gaz türbini modeli seçildi ve SWM senaryosunda IPCC varsayılan yönteminden elde edilen metan akış hızı ve bileşim verilerine dayanarak bir Mühendislik Denklem Çözücü (EES) kodu geliştirilmiştir. EES kodlarının ve LEAP analizinin birleşimi gösterdi ki LFG tesislerinin 0,5 GW saat güç sağlayabilmiştir, bu güç 2016 yılında toplam talebin % 1,4'üdür. Ancak 2035'te LFG

tesisin gücü 0,9 GW saate yükselecektir. LFG tesislerinin kullanılması elektrik maliyetini arttırmasına rağmen üretim için çalışılan senaryolarda 100 yıllık küresel ısınma potansiyelinin birikmiş farkı, 2012'den 2035'e kadar 81,2 Mt CO₂ eşdeğerinde olacaktır.

Sawyer ve Thompson'nun çalışmaların da [94], günümüzde ve gelecekteki Kanada'daki çöp depolama tesisin'de atık yönetimi ve azaltma stratejilerini belirlemek için; Alman EPER, TNO, Belçika, LandGEM ve Scholl Canyon gibi modeller, Kanada da 35 adet katı atık düzenli depolama sahalarında metan üretimi hesaplanmasında kullanıldı. Düzenlenmiş Scholl Canyon / LandGEM modeli ve diğer tanımlaması; "Sawyer Modeli" en iyi hesaplanan metan üretim modelidir, başlangıçta % 19'luk bir nispi yüzde hatası vermiştir ve $p = 0.2501$ 'dir. Bu model için girdiler, bozunma hızı (k) ve metan üretme potansiyeli (Lo), ölçülen verilerle en iyi uyuşması için yeniden değerlendirildi. Metan üretme potansiyelleri sahaya özgü veriler ile atık karakteristiği verileri kullanılarak değerlendirildi. Saha girdileri kullanılarak, "Sawyer Modeli", % -2'lik bir medyan/orta değer vermiştir ve $p = 0.5538$ 'dir. Lo 'daki bu değişiklik yüzde hatayı arttırmasına rağmen ölçülen ve modellenen veriler arasındaki benzerlik orta ile yüksek arasında değişmiştir. Son olarak, dört farklı atık depolama sahası, beş farklı atık sapma senaryosu altında 2025 yılına kadar modellenmiştir.

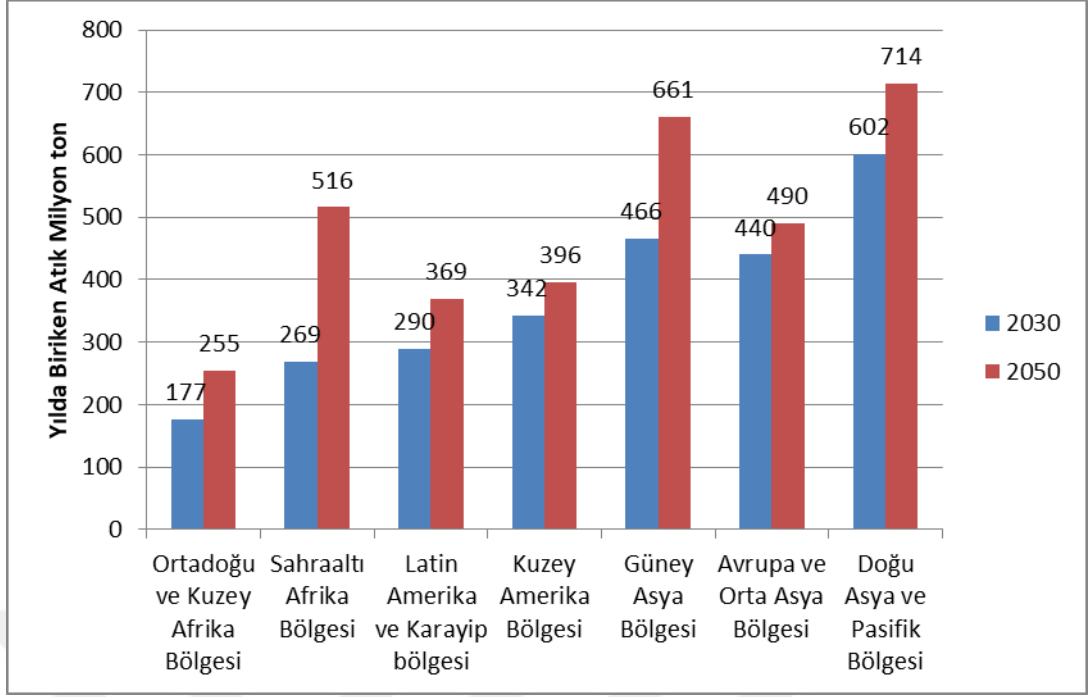
Çakır ve Günerhan'nın çalışmaların da [95], izmir mücavir alan sınırları içerisinde bulunan Harmandalı Katı Atık Düzenli Depolama Alanında depo gazı oluşumu ve depo gazının enerji verimliliği araştırılmıştır. Düzenli depolama sahasında evsel atık lotun da depolanan yaklaşık 4 milyon ton çöp için çıkacak gaz potansiyelinin (200-1.600) milyon metreküp arasında değişebileceği söylenebilir. Depo gazı tahmini için Tabasaran/Rettenberger, Multi-Phase, LandGEM, Scholl Canyon ve IPCC 2006 gibi sayısal modeller kullanılmıştır ve bu modellerde ($k=0,35$, $k=0,1$, $k=0,05$), ($Lo=50-400$) m³/ton değerleri ele alınmıştır. Modellerden elde edilebilecek depo gazı miktarı 926.378.580,20 m³ ile 291.897.215,34 m³ arasında değişmektedir. Bu depo gazı miktarından elektrik enerjisine dönüşüm ise 522.606,58 kWh ile 164.670,70 kWh arasında değişebilir. Sonuç olarak Harmandalı düzenli depolama sahasında yeterli düzeyde depo gazı miktarı bulunmaktadır.

Aguilar-Virgen ve diğer araştırmacıların çalışma amacı [96]; (a) k ve Lo sabitlerini sahadaki veri ile değiştirmek ve (b) düzenlenmiş bu sabitleri kullanarak Meksika

şehrindeki düzenli depolama sahasındaki biyogaz emisyonları tahmin etmek. Sabit biyogaz modelin değiştirilmesinde aşağıdaki veriler kullanılmıştır: (a) Atık karakterizasyon çalışması (b) Biyogaz çekme/çıkarma testleri (c) Karakteristik gözlemler ve düzenli depolama sahası işletmeciliği (d) Düzenli depolama sahası yöneticileriyle görüşmeler yapmak ve (e) Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) modelinin birkaç parametresi. Conrad and Schmidt Consulting Engineers, Inc.(SCSEngineers). Stearns tarafından önerilen version2.0 Mexico düzenli depolama Gas Model ile düzenlenmiş sabitleri (k),(Lo) kullanarak biogaz tahmini yapılmıştır. Sonuçlar gösterdi ki üretilen atığın yaklaşık %70'nin organik iken, bu da k ve Lo'nun hesaplanmasında kullanılan parametrelerin değerini etkiler. Sahada ki karakteristikler ile $k=0,0482 \text{ yr}^{-1}$ ve $Lo=94,457 \text{ m}^3/\text{t}$ değerleri elde edildi. Elektrik üretiminin 2019 yılında maksimum 2,4 MW kapasiteye ulaşabileceği tahmin edilmiştir. Bu enerji; kurulu kapasiteyi yaklaşık % 4,36 oranında artırabilir ve aydınlatma için gereken elektrik enerjisinin yaklaşık % 66'sını sağlayabilir. Ayrıca 2009'dan 2025'e kadar 2,62 milyon ABD doları tasarrufu sağlanır ve yaklaşık 1,17 MtCO₂ çevre kazancı elde edilir.

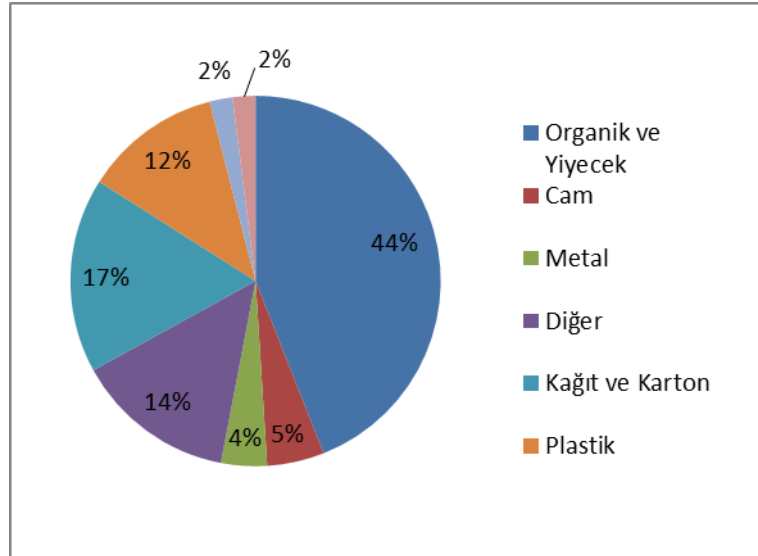
3.2. Dünyada ve Türkiyede Biyogazlar ve Düzenli Depolama Biyogazların Önemi

Dünyada yaklaşık 2.01 milyar ton belediye atığı üretiliyor, bu atıkların %33'ü çevresel olarak güvenli bir şekilde yönetilmiyor. Dünya çapında, kişi başına günde üretilen atık ortalamaları 0.74 kilogramdır fakat bu değerler (0.11 - 4.54) kilogram arasında değişmektedir. Geleceğe bakıldığında, küresel atığın 2050 yılına kadar 3.40 milyar tona çıkması ve aynı dönemde Dünya nüfusunun iki katına çıkması bekleniyor. Şekil 3.1. incelediğimizde Dünyada 2030 ve 2050 yılları için bölgesel atık artışının Doğu Asya pasifik bölgesi, güney Asya bölgesi ve Sahraaltı Afrika bölgelerinde an fazla atık oluşumu tahmin edilmektedir [97].



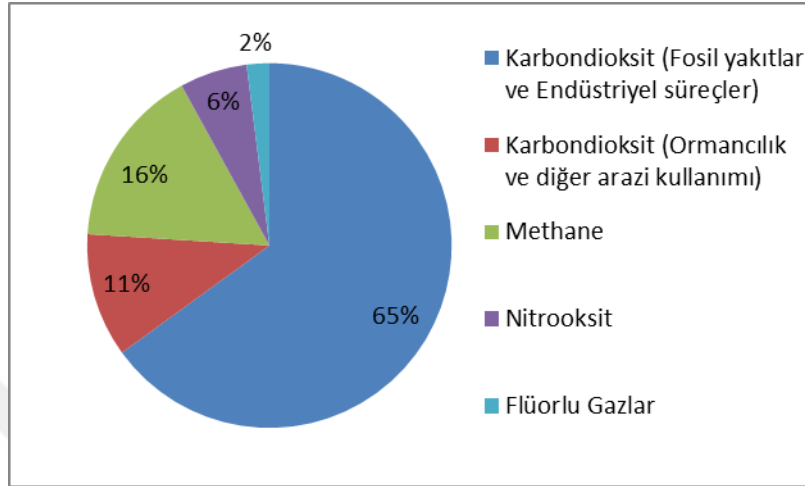
Şekil 3.1. Dünya bölgelerinde gelecekte birikecek Atık Miktarı [97]

Dünyada toplam atık miktarının şekil 3.2. de karakteristiğini incelediğimizde; %44 oranında yiyecek ve organik atıkları göze çarpmaktadır. Bu oran toplam 2.01 milyar atık tonun içerisinde 884,4 milyon ton yiyecek ve organik atık ihtiva etmektedir. Bu organik ve yiyecek atıklardan maksimum düzeyde metan potansiyeli elde edebilirsek, yenilebilir enerji kaynağı değerlendirmesinde oldukça iyimser bir tablo karşımıza çıkar [97] .



Şekil 3.2. Dünya Atık Bileşimi [97]

IPCC'nin 2014 değerlendirme raporuna göre (Şekil 3.3.); Sera gazına etki eden emisyonlar 1. Sırayı fosil yakıtlardan ve endüstriyel faaliyetler gelen % 65 oranıyla karbondioksit (CO₂) ve 2. Sırayı atık yönetimi ve tarımsal faaliyetlerden gelen %16 oranıyla Metan (CH₄) teşkil etmektedir [97].



Şekil 3.3. Sera gazına etki eden emisyonlar [97]

Küresel ısınma çağımızın en önemli doğa faciasıdır, Metan(CH₄) özellikle atmosfere etkisi perspektifine göre; Karbon dioksit(CO₂) kıyasla 25 kat daha zararlı bir gazdır. Küresel ısınmaya sebep olan bu gazların azaltılması bunların yerine yenilebilir enerji kaynakların kullanılması bir çok ülkenin temel politikasını oluşturur.

Dünya genelinde yenilebilir enerji kaynaklarını; Güneş enerjisi, Hidrojen enerjisi, Rüzgar enerjisi, Jeotermal enerjisi, Dalga enerjisi ve özellikle sanayi, bitkisel, hayvansal ve evsel atıklardan oluşan biyoenerji veya biyogaz olarak sıralayabiliriz

Biyogaz kaynağı Dünya genelinde elektrik, ısı ve araç yakıtı türünden yenilebilir enerji kaynağı olarak kullanılır. Bazı Ülkelerin ve Ülkemizin biyogaz üretimlerini incelediğimizde ;

a) ABD

ABD, 50 eyaletin toplamında biyogaz üreten 2.200'den fazla tesis vardır: Çiftliklerde 250 tane anaerobik bozunma tesisleri , anaerobik bozunumu kullanan 1.269 atık su geri kazanım tesisi (şu anda ürettikleri biyogazı kullanmaktadır), 66 adet sadece yiyecek atıklarını kabul eden anaerobik bozunma tesisleri ve 652 düzenli depolama çöp gazı tesisleri vardır [98].

Amerikanın bazı büyük şehirlerinden Newyork da 216 tane işletilen biogaz sistemleri vardır. Gelecekte tahmini mevcut organik madde miktarına göre 308 adet yeni projeler yapılabilir. 216 adet biogaz sistemlerinden 61 tanesinde faal elektrik üretimi yapılmaktadır ve 3 tanesinde biogaz potansiyel olarak mevcuttur. Bütün bu biogaz sistemlerinden tam olarak verim alınabilirse 64.629 hane ev halkının elektrik ihtiyacını (1.2 milyar kWh) karşılanabilir veya 174.202 adet araca yakıt olarak kullanabilir.

Ayrıca California da 276 tane işletilen biogaz sistemleri vardır. Gelecekte tahmini mevcut organik madde miktarına göre 1187 adet yeni projeler yapılabilir. 276 adet biogaz sistemlerinden 102 tanesinde faal elektrik üretimi yapılmaktadır ve 30 tanesinde biogaz potansiyel olarak mevcuttur. Bütün bu biogaz sistemlerinden tam olarak verim alınabilirse 182.071 hane ev halkının elektrik ihtiyacı (3.0 milyar kWh) karşılanabilir veya 435.506 adet araca yakıt olarak kullanabilir [98].

b) Kanada

Kanada'nın biyogaz üretiminin kaynakları; Tarımsal organikler, konut ve ticari bölgelerden ayrılmış organikler ve belediye atık su ürünlerinden oluşmaktadır. Bu biyogaz üretiminden elde edilmiş verim Kanada'nın doğalgaz talebinin % 3'üne eşittir veya yılda 2.420 milyon m³ yenilenebilir doğal gaza eşittir. Bu gaz miktarı, 810 MW'a kadar elektrik üretimine eşittir ve Kanada'nın elektrik talebinin % 1.3'ünü temsil eder. Ayrıca Kanada da işletilen 200 tane biyogaz tesislerinden 53 tanesi düzenli depolama tesisleridir ve bu tesislerde elektrik üretimi mevcuttur [99].

c) Brezilya

Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı verilerine göre; 2016 yılı için Brezilyada 165 biyogaz tesisi mevcuttur. Bu tesislerde üretilen toplam biyogaz üretimi yaklaşık 2,2 milyon Nm³ / gün veya enerji olarak 5,219 GWh / yıl'dır.

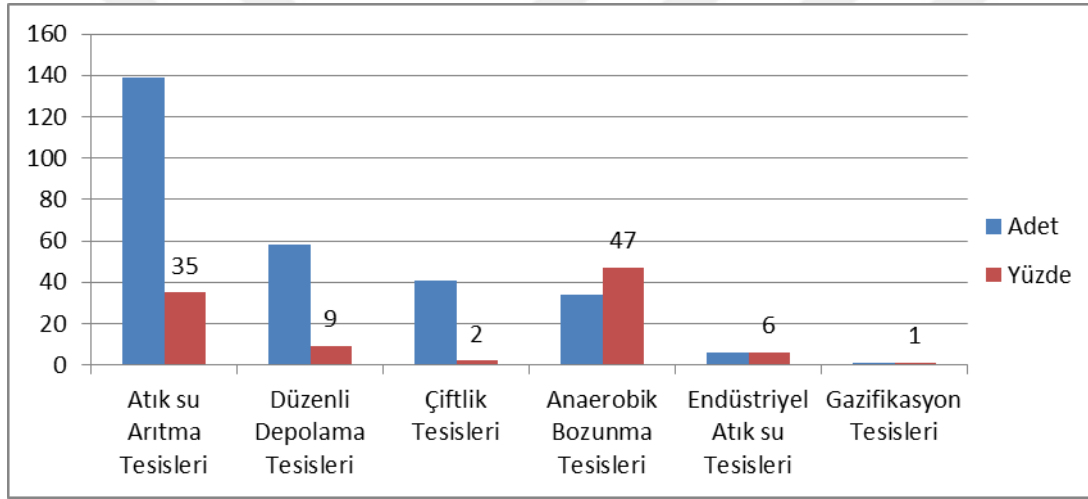
Tesislerde en çok kullanılan biyogaz kaynakları; % 49 oranında tarım atıkları ve % 33 oranında sanayi atıklarıdır. Ülke genelinde üretilen toplam biyogazın % 58'i düzenli depolama alanlarında üretilmiştir. Ek olarak şuan 165 biyogaz tesisinden 11 tane faal çalışan düzenli depolama tesisi mevcuttur [100].

d) İsveç

İsveç 282 biyogaz tesisinden 2018 yılında toplam 1,9 TWh biyogaz üretmiştir. İsveç hükümeti'nin 2030 yılında fosil yakıttan bağımsız taşıma sektörüne sahip olma iddiası vardır ve 2050 yılında ise fosil yakıtsız bir ülke olmak istemektedir.

Günümüzde İsveç'te otomotiv sektöründe araç yakıtı olarak kullanılan biyogazın % 70'inden fazlası biyometan ve % 30'undan azı doğalgazdır [101].

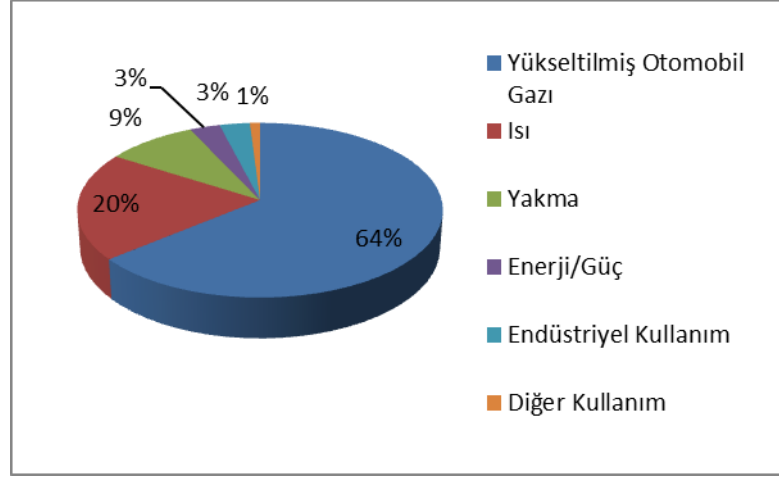
Ayrıca, İsveç Hükümeti, 2019 yılına kadar, evlerden, dükkanlardan ve restoranlardan gelen yiyecek atıklarının en az % 50'sinin, besinleri yeniden kullanmak için biyolojik olarak ayrıştırılmasına ve işlem görmesine karar vermiştir [101].



Şekil 3.4. 2016 Yılı için İsveç’de kurulmuş biogaz tesis sayısı ve bu tesislerden üretilmiş gaz oranlarının ülke genelinde üretilmiş toplam gaz miktarına oranları [101]

Yukardaki Şekil 3.4.’ü incelediğimizde 2016 yılı içerisinde İsveç’de biyogaz tesis sayısı ve üretim oranında düzenli depolama tesislerinden oluşan üretimin %9 oranıyla düşük olduğu görülmektedir [101].

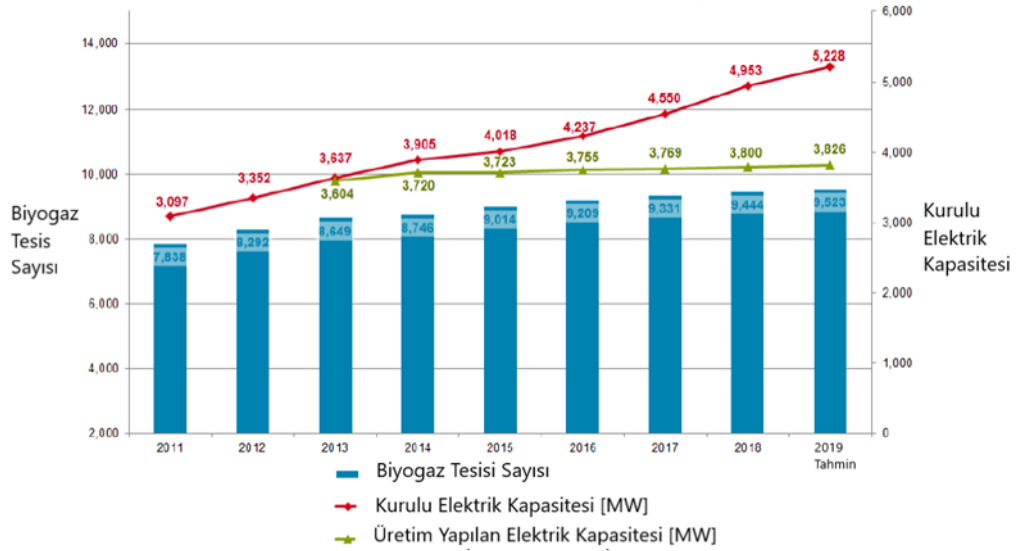
Ayrıca Şekil 3.5. de; Üretilen biyogazın sektörel olarak kullanımına baktığımızda %64 oranıyla araç yakıtı olarak kullanımı lider konumdadır. Dünya genelinde %65 oranında atmosfere etki eden fosil yakıtlı araçlardan gelen karbondioksiti(CO₂) dikkate alırsak bu oranın azalımı için İsveç önemli bir başarı yakalamıştır [102].



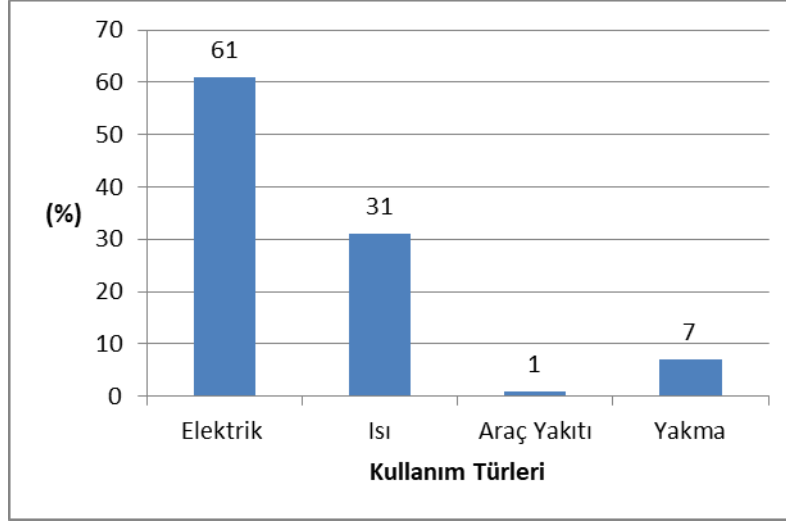
Şekil 3.5. 2016 Yılı için İsveçte kurulmuş biyogaz tesislerinden üretilen toplam biyogazın sektörel olarak kullanımı [102]

e) Almanya

Almanya da 2019 yılı için tahmini 9727 biyogaz tesisi bulunmaktadır (Şekil 3.6.) ve bu tesislerin kurulu elektrik kapasiteleri 5228 MW dır, tesislerden elektrik üretimi ise 3826 MW dır. Üretilen bu elektrikten yaklaşık olarak 9,54 milyon hane halkına elektrik desteği verilmektedir. Ayrıca 20,1 milyon ton CO₂ atmosfere salınımı azaltılmıştır ve 9,3 milyar Euro gelir tasarruf edilmiştir. Ek olarak sektör 48.000 kişiye iş istihdamı sağlamıştır [103].



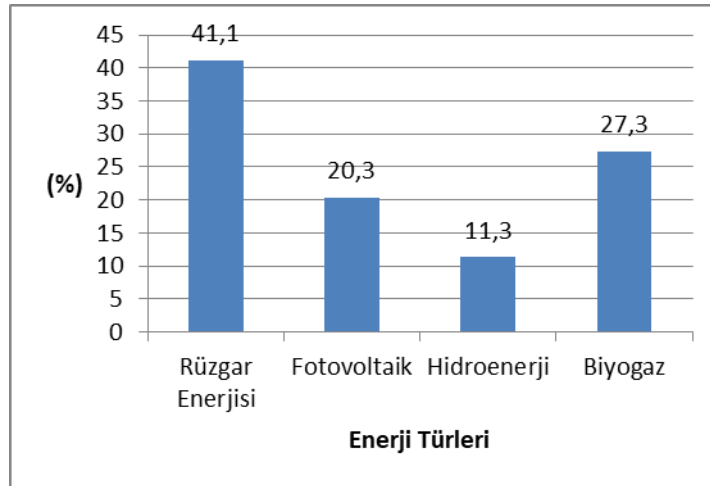
Şekil 3.6. 2011 ve 2019 yılları arasında Almanya da biyogaz tesis sayısı ve elektrik üretim potansiyelleri [103]



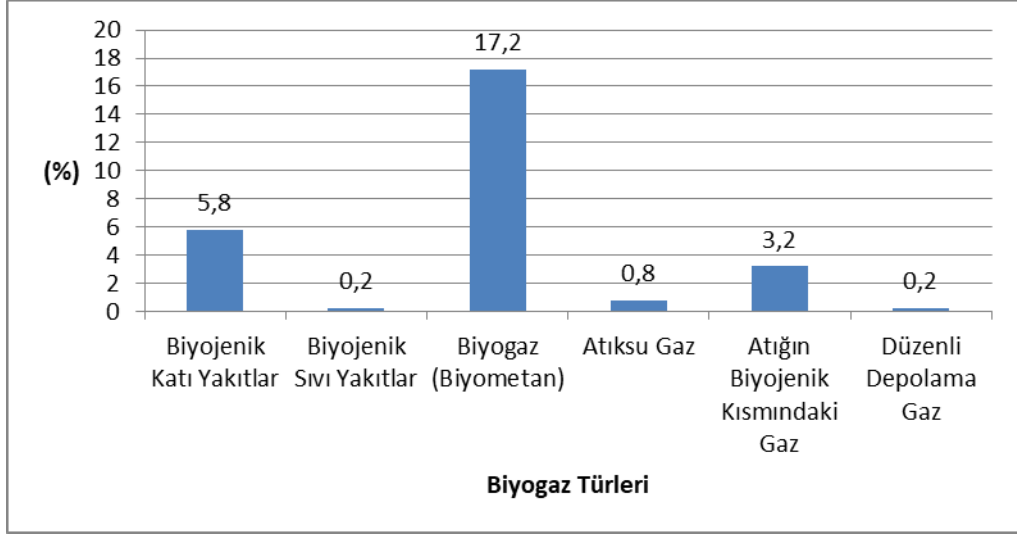
Şekil 3.7. 2015 yılı için Almanya'nın biyogaz üretimin sektörel olarak kullanımı [103]

Şekil 3.7.' ye baktığımızda; Almanya biyogaz üretiminde Dünya lideri iken biyogazın araç yakıtı olarak kullanımında %1 oranıyla düşük olduğu görülmektedir.

2017 yılı için Almanya da yenilebilir enerji kaynaklarında % 27,3 oranıyla (Şekil 3.8.) Biyogazdır. Biyogazdan elektrik kullanımı toplam da o yıl için 188,3 Milyar Kilowatt Saat olarak gerçekleşmiştir. Toplam biyogaz oranı içinde düzenli depolamada üretilen biyogaz oranı % 0,2 dir. (Şekil 3.9.) 2019 verilerine göre Almanya da 9727 biyogaz tesislerinden 440 tanesi düzenli depolama biyogaz tesisleridir [103].



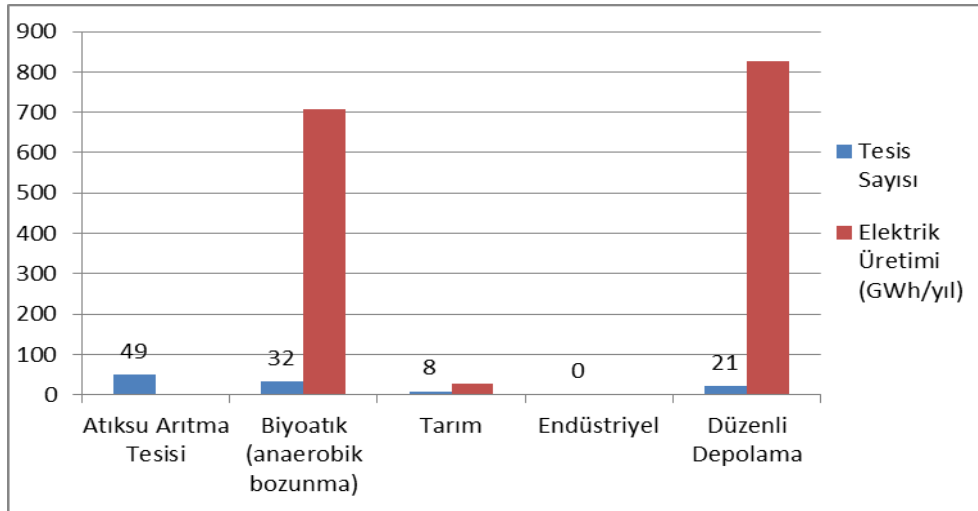
Şekil 3.8. Almanya da yenilebilir enerji kaynakların oransal dağılımı [103]



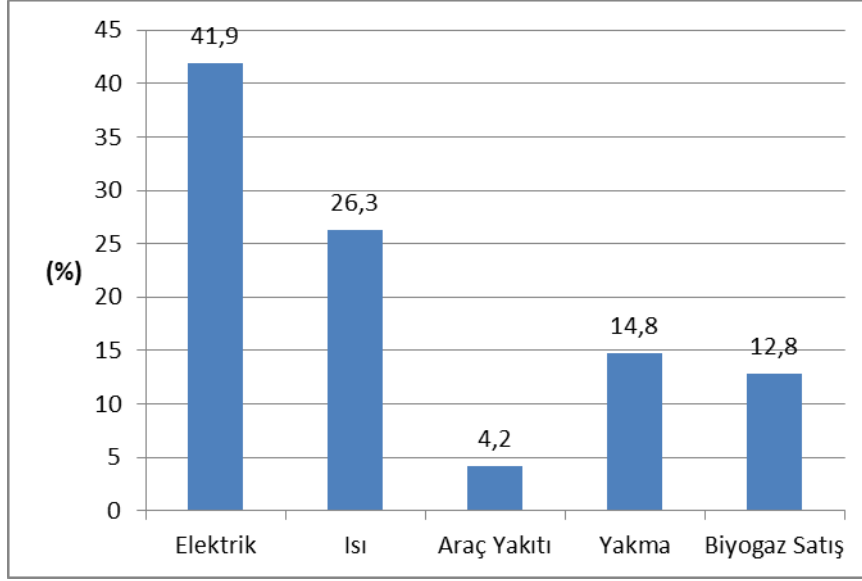
Şekil 3.9. Almanya da biyogaz enerjinin oluşum türleri [103]

f) Güney Kore

Güney Korede 2016 yılı için toplam 110 biyogaz tesisi faaliyet gösteriyor ve bu tesislerde yılda yaklaşık 2,798 GWh eşdeğer biyogaz üretiliyor. 2017 yılı için 454 GWh biyogaz üretmek üzere günlük 4.764 ton yiyecek atığı ve organik atıklı sızıntı suyunu arıtmak için 15 yeni biyogaz tesisi yapım aşamasındadır. 2024'de LFG'den elektrik üretiminin 1937 GWh'ye yükselmesi beklenmektedir. Şekil 3.10. da Güney Korede 21 adet düzenli depolama tesislerden 827 GWh/yıl elektrik üretimi ile diğer tesislere göre en fazla oranda elektrik üretimini gerçekleştiren tesislerdir. Ayrıca Şekil 3.11. de üretilen biyogazın kullanım türleri görülmektedir. Biyogaz % 41 oranıyla en fazla elektrik üretiminde kullanılmıştır ve diğer ülkelere kıyasla % 12,8 oranında biyogaz doğrudan satılmıştır [104, 105].



Şekil 3.10. 2016 yılı için Güney Kore biyogaz tesis envanteri [104, 105]

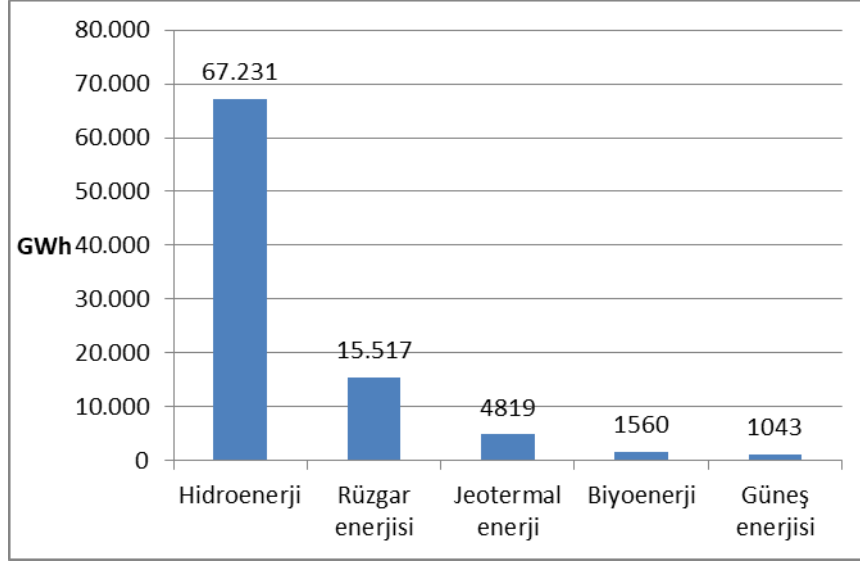


Şekil 3.11. Güney Korede 2016 yılı için üretilen biyogazın kullanımı [104, 105]

g) Türkiye

Ülkemizin 2016 yılı verilerine göre yenilebilir enerji kaynaklarından üretilen elektrik verilerini incelediğimizde (Şekil 3.12.) biyoenerjiden elde edilen elektrik verileri 1560 GWh ile yenilebilir enerji kaynakların içerisinde toplam üretimin %2 sine ve 2018 verilerine göre biyogazdan elektrik üretimi ise ülke genelindeki toplam üretimin %0,60 tekabül eder [106]. Ülkemizde zengin biyoenerji kaynakları olmasına rağmen elektrik üretimi düşük bir seviyedir [107].

Biyoenerji kaynaklarından hayvansal, endüstri ve evsel atıklarının işlemleri yapılan biyogaz tesisleri önemli bir çevreci santrallerdir. Zira, diğer yenilenebilir enerji santralleri sadece çevreye zarar vermemektedir, ancak biyogaz tesisleri doğru tasarlandıkları ve doğru işletildikleri sürece çevreye zararlı malzemelerin bertarafını da sağlamaktadırlar. Kuruldukları bölgelerdeki hayvansal, tarımsal, endüstriyel ve insan kaynaklı atıkları hammadde olarak kullanarak, bu atıkları bertaraf ederlerken bir yandan da enerji üretirler [108].



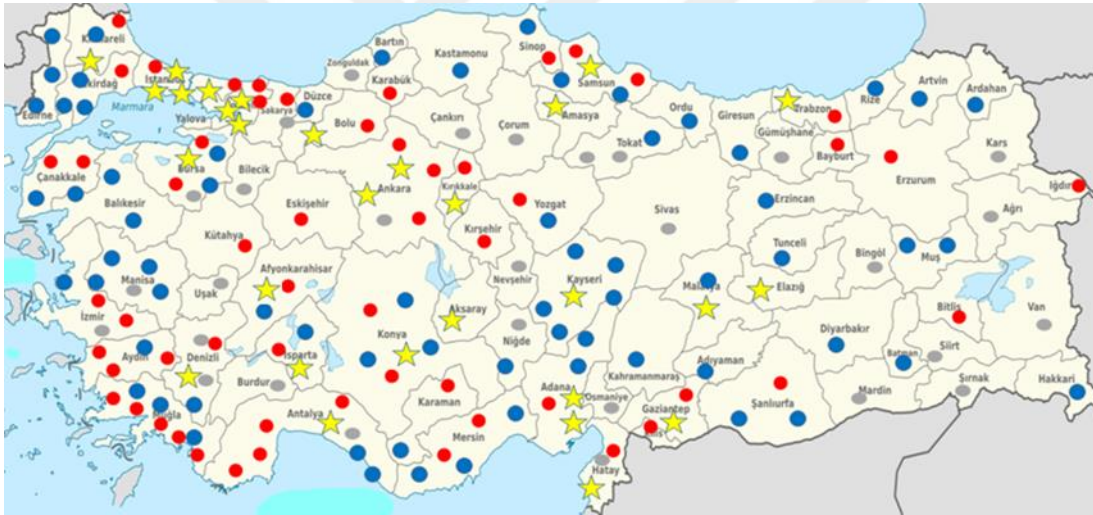
Şekil 3.12. 2016 yılı için Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi [107]

Çevre Şehircilik İklim Değişikliği Bakanlığın verilerine göre şuan ülkemizde Çöp biyogazın dan elektrik üretimi yapan 29 adet santral vardır (Şekil 3.13.)(Şekil 3.14.) ve bu santrallerin toplam kurulu kapasiteleri 184 MW dır. Önümüzdeki yıllar içerisinde İşletme safhasında olan depolama alanlarında elektrik üretimi ve plan proje, ihale safhasında olan çalışmalardan, düzenli depolama sahaları oluşturulursa Ülkemiz düzenli depolama sahaların elektrik üretiminde dikkate değer başarılar sergileyecektir.

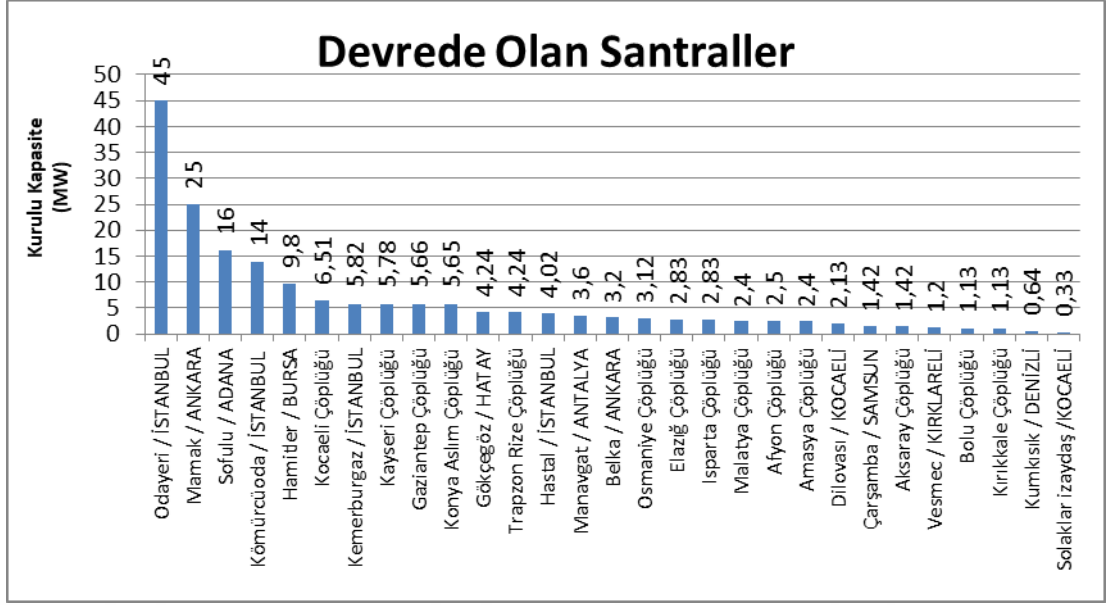
Ülkemizin en büyük çöp gazından elektrik üretim santrali Ortadoğu Enerji tarafından İstanbul ili Eyüp ilçesinde Odayeri bölgesinde kurulmuştur. Tesisin kapasitesi 45 MW olup düzenli depolama sahasına çöpler 1995-2012 yılları arasında depolanmıştır. Santral 2008 yılında elektrik üretimine başlamıştır [109].

Tablo 3.1. Türkiye genelinde düzenli depolama sahalarının işletme envanteri [106]

Sembol	Aşama	Adet
●	İşletmede	42
●	İnşaat ve ihale Safhasında	39
●	Plan Proje Safhasında	41
★	Metan Gazından Elektrik Üretimi	29

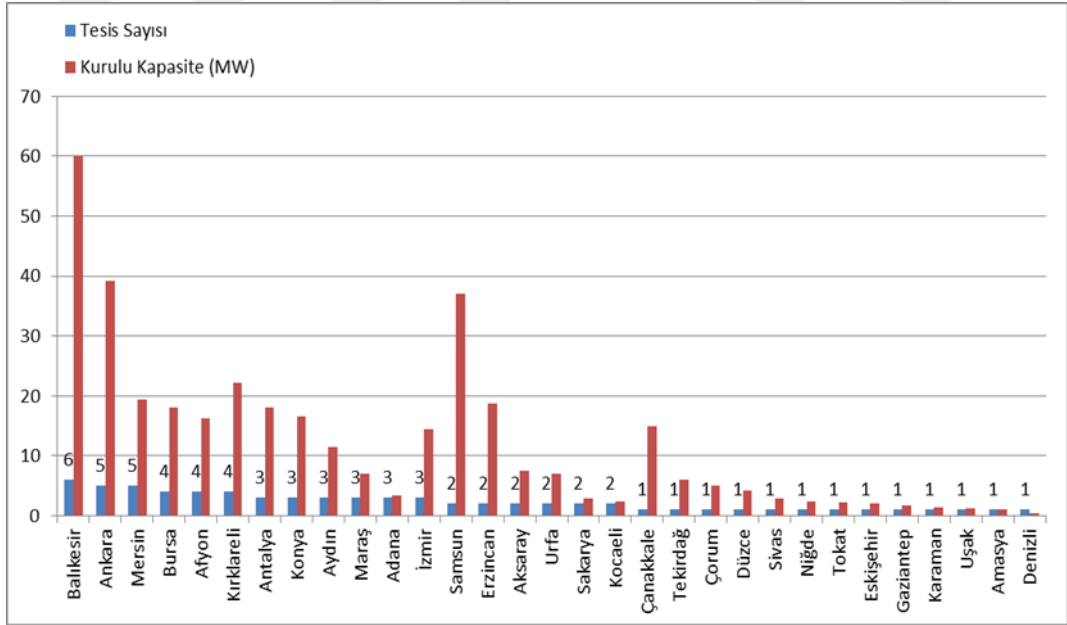


Şekil 3.13. Türkiye'nin düzenli depolama sahası envanteri ve işletme seviyeleri [106]



Şekil 3.14. Türkiye'nin Düzenli depolama sahalarında elektrik üretimi yapan santraller [106, 110]

Çöp gazı hariç Türkiyede biyogaz, biyokütle Atığı ve Pirolitik Yağ Enerji Santral profili tesis sayısı ve kurulu kapasiteleri Şekil 3.15. de resmedilmiştir. Ülke geneline yayılan toplam da 71 adet tesis vardır ve bu tesislerin kurulu kapasiteleri 367,21 MW dır.



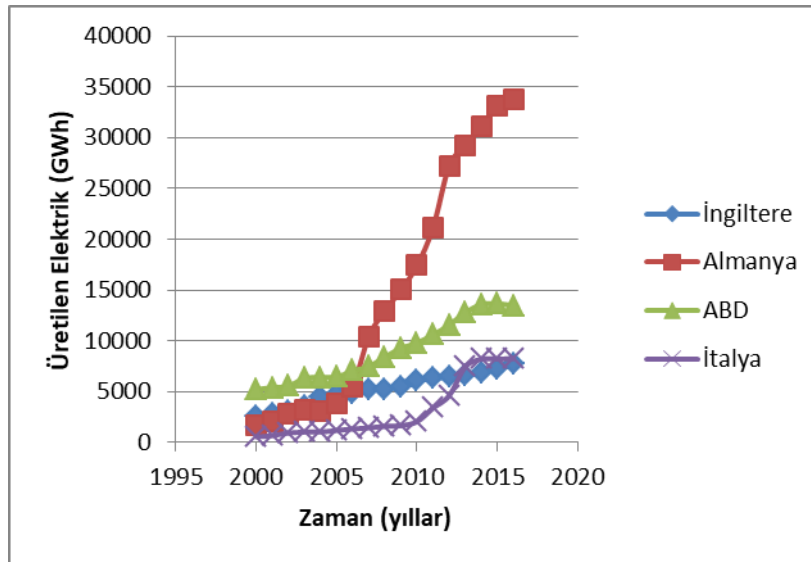
Şekil 3.15. Türkiye'nin Düzenli depolama biyogaz tesisleri hariç diğer biyogaz tesis envanteri [106, 110]

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığın araştırmalarına göre; Türkiye'nin biyokütle atık potansiyelinin 8,6 milyon ton eşdeğer petrol (MTEP) ve üretilebilecek biyogaz miktarının (1,5 ile 2) MTEP olduğu tahmin edilmektedir [110].

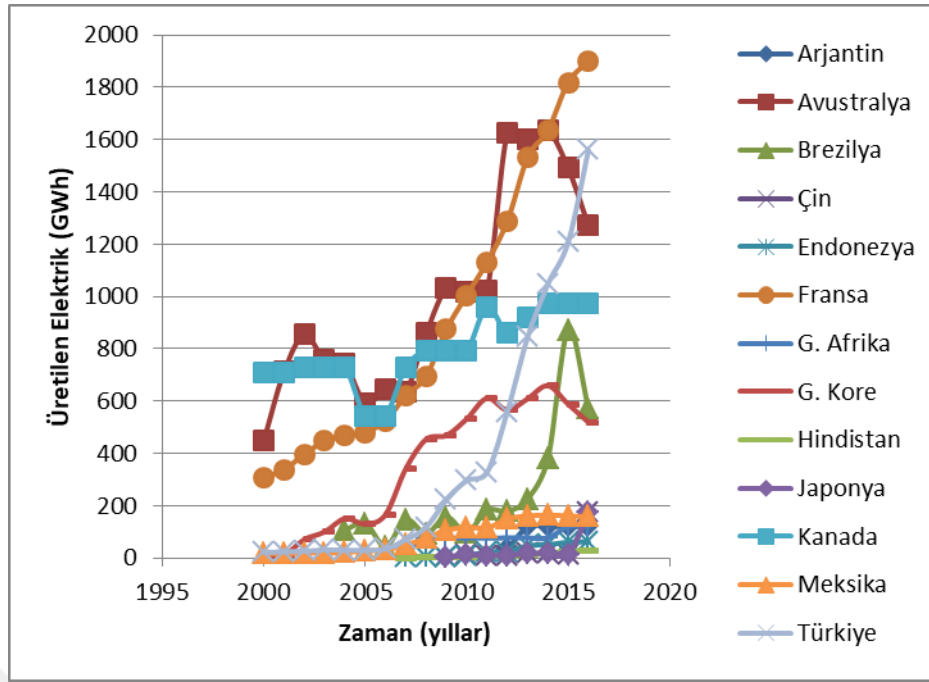
Uluslararası yenilebilir enerji ajansının (2000-2016) yılları arası verilerine göre; G-20 ülkelerin biyogazdan üretilen elektrik (GWh) potansiyeli belirlenmiştir (Şekil 3.16.). Sıralamada; Almanya'nın 440 düzenli depolama tesisi ve 9 bin küsur diğer biyogaz tesisleri (Çoğunluğu tarım atıklarını işleyen tesisler) ile 2016 yılındaki 33703 GWh elektrik üretimiyle lider konumdadır. Arkasından sırasıyla ABD, İtalya ve İngiltere gelmektedir (Şekil 3.16.) [107].

Ülkemiz özellikle 2008 yılı için 118 GWh elektrik üretimden başlayarak hızla ivme kazanıp 2016 yılı için 1560 GWh elektrik üretimini başarmıştır ve bu başarısıyla 2016 yılında biyogazdan elektrik üretiminde Sırasıyla; Almanya, ABD, İtalya, İngiltere ve Fransa hariç diğer tüm G-20 ülkelerini geride bırakarak altıncı sıraya yerleşmiştir (Şekil 3.17.) [107].

Ülkemiz de şuan; Toplamda 184 MW kurulu güce sahip 29 adet düzenli depolama biyogaz tesisi ve 367,21 MW kurulu güce sahip 71 adet hayvansal atıklı biyogaz tesisleri ile yakalamış olduğu vizyon ayrıca biyogaz tesisi işletmeciliğin karlı avantajı ve özel sektörün ilgisi gibi etmenlerden dolayı biyogazdan elektrik üretim sahasında ülkemizin başarıları katlanarak devam edecektir [107].



Şekil 3.16. (2000-2016) yılları arası biyogazdan 5000 GWh üstü elektrik üretimi yapabilen G-20 ülkeleri [107]



Şekil 3.17. (2000-2016) yılları arası biyogazdan 5000 GWh altı elektrik üretimi yapabilen G-20 ülkeleri [107]

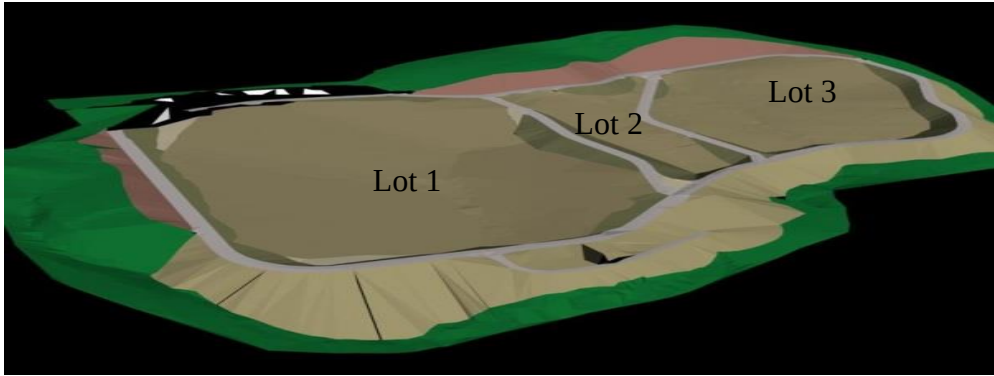


4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. Saha Çalışması

4.1.1. Saha çalışma alanı ve tanımı

Şehir Merkezine 15 km mesafede bulunan, deniz seviyesi yüksekliği 31 m olan 17,6 hektar alana kurulu (toplam lot alanı) Sakarya katı atık düzenli depolama sahası 3 lottan meydana gelmektedir (Şekil 4.1.). 9,7 hektar alana sahip Lot 1 2009 yılında atık almaya başlamış olup kapasitesi Sakarya Büyükşehir Belediyesi sınırları içindeki belediyelerin evsel atıkların yaklaşık 10 yıl süreyle depolamaya yeterlidir. Lot 1 de atık kabulü başlangıç zamanından 2024 yılına kadar toplam 1.748.600 ton/yıl atık depolanmıştır ve her yıl yaklaşık 20.000 ton atık gelmektedir. Diğer Lotlarda gelecek yıllarda planlanmak üzere henüz atık kabulü yapılmamıştır. Lot 1 de atık içerisinde 19 adet gaz bacası mevcuttur (Şekil 4.2.) 10 adet de atık içerisinde olmayan planlanmış gaz bacası yerleri mevcuttur (Şekil 4.3.).



Şekil 4.1. Sahanın Genel Görünümü ve Sahanın Animasyon Görünümü



Şekil 4.2. Sahada gaz bacaların konumları



Şekil 4.3. Sahanın uydu resmi

4.1.2. Depogazı drenaj bacası

Atık kütlesinin içinde kimyasal reaksiyonlar sonucu oluşan gaz emisyonların, yüzeye çıkması ve toplanması için atık kütlesinin yüksekliği boyunca gaz bacaları kullanılmaktadır. Düzenli depolama sahasında atık kütlesinin yüksekliği arttıkça her bir Depo Gazı Drenaj Bacası' nın yüksekliği de arttırılmaktadır. Depo Gazı Drenaj Bacaları' nda sızıntı suyunun korozif etkisine dirençli 160 mm iç çapında HDPE

boru kullanılmaktadır (Şekil 4.5.) (Şekil 4.6.). Depo Gazı Drenaj Bacaları' nın teşkilinde dıştan içe doğru aşağıdaki tabakalar uygulanmaktadır (Şekil 4.4.) (Şekil 4.5.).

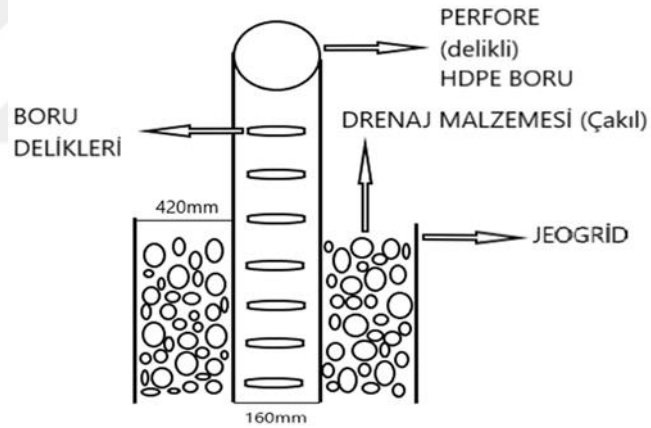
*jeogrid

*Çakıl Malzeme

*HDPE Boru (Ø160)



Şekil 4.4. HDPE jeogrid örneği



Şekil 4.5. Depo Gazı Drenaj Bacası Tip Kesiti

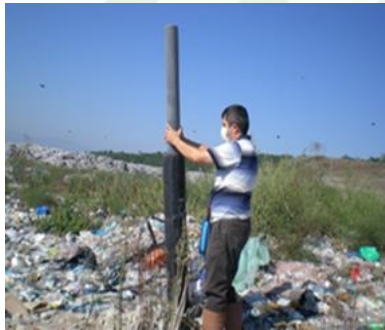


Şekil 4.6. Depo Gazı Bacaları

4.1.3. Depogazı ölçümü

Sakarya ili katı atık düzenli depolama sahası, gaz toplama bacaları çıkış gazında özellikle CH₄ emisyon gazı ve diğer gazlar (CO₂, O₂, H₂S, CO, H₂) ölçümleri yapılmış ve baca gazlarının çıkış debisi hesaplanmıştır. Depo gazı ölçümleri için Gas Data Limited tarafından imal edilmiş “Landfill Monitoring System Version 4.17 model” portatif analiz cihazı kullanılmıştır (Şekil 4.7.).

Sahada atık içerisinde(Lot 1) 19 adet gaz bacası mevcuttur, gaz bacaların çöp katmanını içerisindeki derinlikleri (Tablo 4.1.) de verilmiştir. 2013 yılından başlayarak 2018 yılına kadar her ay periyodik olarak toplamda 58 ay kadar düzenli ölçümler yapılmıştır, ölçüm sırasında kötü koku, haşere böcek, güvenli yürüme zorluğu, çöp katmanların düzenlenmesinden dolayı bazı gaz bacalarının yerlerinin kolay tespit edilmemesi gibi zorluklarla karşılaşmıştır. Çöp katmanların içinden gelen gazların, gaz bacalarının içine girebilmeleri için gaz bacaları delikli imal edilmiştir, gaz moleküllerin baca içinde kalması ve daha doğru gaz ölçümü yapılabilmesi için gaz bacalarının içine izolasyon kılıfı geçirilip, bacaların tepesi plastik pet kapakla kapatılıp ince hortum ile cihaz bağlantısı sağlanmıştır ve cihaz çalıştırılıp 90 saniye bekletilerek ölçümler yapılmıştır(Şekil 4.7.).



a)



b)



c)



d)

Şekil 4.7. Sahada emsiyon gaz ölçümü a) sünger kılıf geçirilmesi b) Kablo ve pet şişe yerleştirilmesi c) Portatif gaz cihazı d) Gaz ölçümü

Tablo 4.1. Gaz Bacalarının Derinlikleri

NO	GB 5	GB8	GB 9	GB 10	GB 13	GB 14	GB 15	GB 17	GB 18	GB 19
DERİNLİK(m)	5	-	13	17	14,6	22	14,55	15,7	21,5	16
NO	GB 20	GB 21	GB 22	GB 23	GB 24	GB 25	GB 26	GB 27	GB 28	GB 29
DERİNLİK(m)	11,7	10	20,7	32,5	17	6	8	14	18	9

4.2. Laboratuvar Çalışması

4.2.1. Reaktörlerin dizaynı ve sahadan örnek numune toplanması

Sakarya Üniversitesi Çevre Mühendisliği Fakültesi AR-GE laboratuvarında her biri 30 cm çapında 50 cm yüksekliğinde ve 35 L'lik hacmine sahip şeffaf pleksi glass malzemeden yapılmış 2 adet reaktör aşağıda maddeler halinde kullanıma hazırlanmıştır (Şekil 4.18.).

- Reaktörlerin içerisindeki ve dışındaki tortu ve kalıntı yabancı maddeler temizlenmiştir ve Reaktörlerin paslı civata parçaları yenisiyle değiştirilmiştir.
- Reaktörlerin sızdırmazlık testlerinin yapılabilmesi için her iki reaktörün içine ve dış kısmına tüm hacimlerini kaplayacak şekilde su dolduruldu ve 2 gün bekletilmiştir.
- Sakarya Büyükşehir Belediyesi tarafından 2015 yılında yapılan çed raporundaki atık karakterizasyon bilgilerine göre Sakarya ili düzenli depolama sahasında katı atık numune örnekleri toplanmıştır (Şekil 4.8.).



Şekil 4.8. Sahadan örnek numune toplanması

- Reaktörlerin üst kapakların hortum bağlantıları takılmıştır, sızdırmazlık için silikonları yapıldı, damajanların üzerlerine alttan sıfırdan başlayarak yukarı doğru (500ml - 1000ml - 1500ml....vs.) artarak ölçeklendirme yazılmıştır. Amaç; haftada boşalttığımız sızıntı sularının miktarını belirlemek için ve damajanların ağızlarına

uygun tıpaçlar hortum bağlantıları yapıldı sızdırmazlık izolasyonu silikonlar yapılmıştır (Şekil 4.9.).



Şekil 4.9. Reaktörlerin alt sızıntısıuyu haznesi

d. Sahadan karışık alınan katı atıklar kare veya dikdörtgen şeklinde küçük parçalara ayrılarak, atık türüne göre farklı poşetlerde yeniden istiflenmiştir. Küçük parçalara ayrılmış, türlerine göre farklı poşetlerde istiflenmiş katı atık malzemelerini şilte üzerinde karıştırarak harmanlanmış katı atık yığını oluşturulmuştur (Şekil 4.10.).



Şekil 4.10. Örnek Katı numunelerin istiflenmesi a) Kesimi b) Ayırımı c) Tartımı d) Harmanlaması

e. Reaktörlerin alt kısmına ince tel file reaktörün yuvarlak kesimine göre makasla kesilerek iki kat olacak şekilde reaktörün tabanına yerleştirildi, onun üzerine çakıl

taşları yerleştirildi ve onun üzerine tekrardan iki kat tel file yerleştirildi. İşlemler her iki reaktör için de ayrı ayrı yapılmıştır (Şekil 4.11.).



Şekil 4.11. Reaktörlerin alt tabanı

f. Daha önceden naylon şilte üzerinde hazırlanan katı atık numuneleri reaktörlere yerleştirilmiştir (Şekil 4.12.).



Şekil 4.12. Katı atık örnek numunelerin reaktörlere yerleşimi

g. Reaktörlerin sıcaklıklarını ölçmek için tel aparatı yerleştirilmiştir ve daha önceden hortum bağlantıları yapılmış olan reaktör kapaklarını monte edip, sızdırmazlık silikonu kapakların uygun kısımlarına sürülmüştür (Şekil 4.13.).



Şekil 4.13. Reaktör kapakların kapatılması ve üst aparatların yapımı

ğ. Gaz sızdırmazlık testi yapmak için reaktörlerin ve alt aparat sistemlerinin tüm bağlantı noktalarına köpük sürülmüştür (Şekil 4.14.).



Şekil 4.14. Reaktörlerin bağlantı noktalarının köpüklenmesi

h. Reaktörlerin her ikisine de ayrı ayrı 10 saniye azot gazı verildi amaç; Reaktörlerin içindeki oksijenin dışarı çıkması, sonra hortumlardaki tüm kilit sistemlerini kapatarak 20 veya 30 saniye azot gazı verilerek, köpüklerden hava çıkışı kontrolü yapılmıştır (Şekil 4.15.).



Şekil 4.15. Reaktörlerde gaz sızıntı kontrol

ı. Reaktörlerin ayrı ayrı her birine ölçek olarak içine 2000 ml saf su ilave edildi yarım saat sonra reaktörlerin alt kısmından 500 ml Ölçekli su alınarak üstten ilave

edilerek su döngüsü yapıldı. Ayrıca reaktörlerin dış kısım dikdörtgen bölümün içi su ile dolduruldu ve doldurulan suyu ısıtmak için Eheim Jagger marka rezistanslı ısıtıcı takılmıştır (Şekil 4.16.).

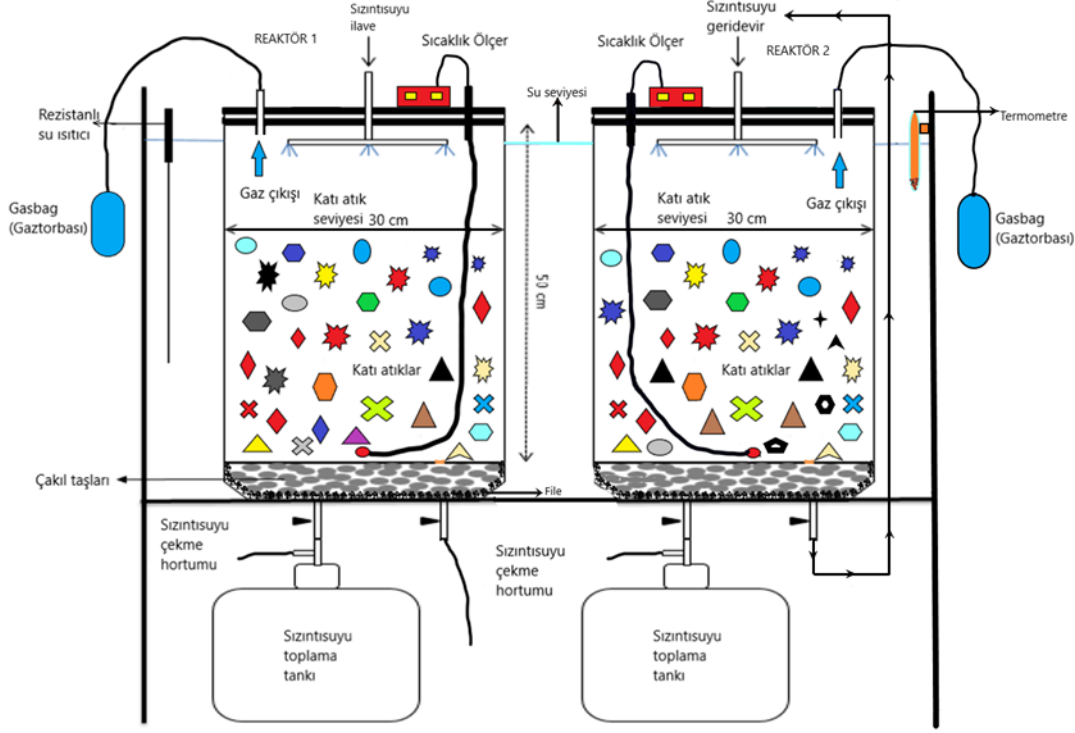


Şekil 4.16. Reaktörlere saf su eklenmesi ve ısıtıcı suyun doldurulması

i. Son olarak dört tane gasbag aparatı bağlandı reaktörlerin havuz suyu ısıtılmıştır ve gazbagların bağlantı hortumlarındaki kelepçeler açılarak gaz gözlemlenmeye başlanmıştır (Şekil 4.17.).



Şekil 4.17. Reaktörlere gazbaglerin takılması ve reaktörlerin işletilme sürecin başlaması



Şekil 4.18. Reaktörlerin enine kesit çizimi

4.2.2. Reaktörlerin işletilmesi

Reaktörlerin işletilmesi 2018 yılı ekim ayın da başlanmış ölçüm peryodu iki haftaya bir ölçüm olarak 19 aylık zaman zarfın da devam ederek 2020 yılın nisan ayında sonlandırılmıştır. Reaktörlerden toplam da 38 adet ölçümler yapılmıştır.

4.2.2.1. Sızıntı suyu hesaplanması ve sızıntı suyu geri devri

Sızıntı suyu hesaplamasında, saha verileri kullanılarak su dengesi metodu kullanılmıştır [114].

Düzenli depolama sahası üç Lot dan meydana gelmektedir şuan için bütün çöpler 9700 m² alana sahip Lot 1 de bulunmaktadır. Ancak çöp alanı Lot 1 in alanını tamamen kaplamadığı için Lot 1 alanından yaklaşık %50 değer alan 4850 m² olarak çöp alanı kabul edildi. Sakarya bölgesi için günlük maksimum yağış miktarı (0,1277 m /gün) ve günlük maksimum açık yüzey buharlaşma (0,0296 m / gün) değerleri Sakarya Meteroloji istasyonuna ait (1960-2019) yılları arası meterolojik bültenden alınmıştır. Atık içerisindeki su miktarı (%30) ve ayrışma sonucu tüketilen su miktarı (%24) sahanın çed raporundan temin edilmiştir (Tablo 4.2).

Tablo 4.2. Sızıntı suyu hesaplaması için kabüller

KABÜLLER
Lot 1 = 9,7 Hektar=9700 m ² çöp alanı tamamen kaplamadığı için %50 alındı 4850 m ²
Reaktöre yüklenen çöp ağırlık 3500 g
Reaktörün tabanın yarı çapı =15 cm ve reaktörün taban alanı 0,07065 m ²
Günlük maksimum yağış miktarı 127,7 mm ile Haziran ayıdır 127mm=0,1277 m/gün
Günlük maksimum açık yüzey buharlaşması 29,6 mm Mayıs ayındadır 29,6 mm=0,0296 m/gün
Atık içerisinde su miktarı = %30
Ayrışma sonucu tüketilen su miktarı = %24

Tablo 4.3. Sızıntı suyu hesaplaması için kullanılan formüller

FORMÜLLER
Atık yüzeyinden buharlaşma = Ortalama buharlaşma * atık yüzeyi/su yüzeyi buharlaşma oranı (%30)
Sızıntı suyuna geçen yağış miktarı = ortalama toplam yağış - atık yüzeyinden buharlaşma
SIZINTI SUYU = (DEPOLANAN ATIGIN SU MUHTEVASI- AYRIŞMA SONUCU TÜKETİLEN SU) + (YAĞIŞLA GELEN - YÜZEY BUHARLAŞMA)

Tablo 4.4. Sahadaki yağış miktarı, buharlaşma, sızıntı suyu ve atık miktarına göre reaktörler için sızıntı suyu hesaplaması

YILLAR	Depolanan Atık Miktarı (ton/yıl)	Atık İçerisindeki Su Miktarı (%30) (ton/yıl)(Depolanan Atık Miktarı x 0,3)	Ayrışma sonucu tüketilen su miktarı (%24) (ton/yıl)(Depolanan Atık Miktarı x 0,24)	Atık içerisindeki Net sızıntı suyu miktarı (ton/yıl) (Atık içerisindeki su miktarı - Ayrışma sonucu tüketilen su miktarı)	Yağış sonucu oluşan maksimum sızıntı suyu miktarı (m ³ /gün) (4850 x 0,1277)	Maksimum açık yüzey Buharlaşması (m ³ /gün)(4850 x 0,0296)	Sızıntı suyuna geçen yağış miktarı (m ³ /gün)(Yağış sonucu oluşan mak. Sızıntı Suyu Mik. - Mak. Açık yüzey Buharlaşması)
2009	153720	46116	36892,8	9223,2	619,3	143,6	475,8
2010	156600	46980	37584	9396	619,3	143,6	475,8
2011	168120	50436	40348,8	10087,2	619,3	143,6	475,8
2012	159480	47844	38275,2	9568,8	619,3	143,6	475,8
2013	159120	47736	38188,8	9547,2	619,3	143,6	475,8
2014	160920	48276	38620,8	9655,2	619,3	143,6	475,8
2015	203400	61020	48816	12204	619,3	143,6	475,8
2016	237240	71172	56937,6	14234,4	619,3	143,6	475,8
2017	250000	75000	60000	15000	619,3	143,6	475,8

Atık İçerisindeki net sızıntı suyun miktarın ortalaması= 10990,7 ton/yıl (10990,7/365=30,1 m³/gün)

Atık İçerisindeki net ortalama sızıntı suyu miktarı =30,1 m³/gün

Sızıntı suyuna geçen maksimum yağış miktarı = 475,8 m³/gün

4850 m² lik saha için atık içerisindeki toplam sızıntı su miktarı = 30,1 + 475,8 = 505,9 m³/gün

Reaktörün tabanın yarı çapı=15 cm ve Reaktörün taban alanı = 0,07065

Reaktörün taban alanına göre belirlenen sızıntı su miktarı = 0,007369451

Reaktörün içine konulacak sızıntı suyu (reaktörün taban alanına göre) = 135,7 günlük (ml/gün) ve Haftalık = 949,9 (ml/Hafta)

Yukardaki tablo 4.4. incelediğimiz de; Hesaplanan atık içerisindeki net sızıntı suyu miktarının ortalaması alınarak 365 bölünüp günlük net ortalama sızıntı suyu miktarı $30,1 \text{ m}^3 / \text{gün}$ olarak bulunmuştur. Sızıntı suyuna geçen maksimum yağış miktarı $475,8 \text{ m}^3 / \text{gün}$ olarak hesaplanmıştır.

4850 m^2 'lik saha için atık içerisindeki toplam sızıntı su miktarı $505,9 \text{ m}^3 / \text{gün}$ olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplama ile reaktörün taban alanına göre doğru oranlama yaparsak reaktör için haftalık sızıntı suyu miktarını $949,92 \text{ ml} / \text{hafta}$ olarak hesaplarız.

Yapılan bu hesaplama da reaktörlerin güvenli işletilebilmesi için her bir reaktöre hafta da ilave edilmesi gereken sızıntı suyu miktarı (900 ml/hafta) olarak belirlenmiştir. Ancak reaktörlerin doygunluk seviyesine göre iki hafta da bir sızıntı suyu verilmiş ve ileriki zamanlarda sızıntı su ilavesi $200 \text{ ml}'ye$ kadar düşürülmüştür.

4.2.2.2. pH, iletkenlik ve kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) analizleri

pH, mikroorganizmaların büyümesini ve atık ayrışmasını etkilediğinden dolayı önemli bir parametredir [111]. Reaktörlerden alınan sızıntı suyu numunelerinde portatif pH ölçüm cihazıyla ölçümler direkt olarak yapılmıştır (Şekil 4.19.).



Şekil 4.19. Sızıntı suyunda pH ölçümü

İletkenlik sızıntı suyundaki iyonların toplam konsantrasyonlarının ve bu iyonların elektrik iletkenliklerinin bir göstergesidir [112]. İletkenlik analizinde reaktörlerden elde edilen sızıntı suyu örneklerinden direkt olarak ölçüm yapılmıştır (Şekil 4.20.).



Şekil 4.20. Sızıntı suyun da iletkenlik ölçümü

Kimyasal Oksijen İhtiyacı endüstriyel ve evsel atıksuların kirlilik derecesini belirlemede kullanılan önemli bir parametredir. Belli zamanlarda reaktörlerden alınan sızıntı suyu numunelerin belli oranlarda asidik solüsyonlarla karıştırılarak örnek numune her bir reaktör için üç adet hazırlanmıştır. Hazırlanan örnek numuneler özel ısıtıcıda 2 saat süreyle ısıtıldı, numuneler oda sıcaklığına gelene kadar bekletilmiştir ve en son olarak numuneler cihaza yerleştirilerek kimyasal oksijen ihtiyacı okumaları yapılmıştır (Şekil 4.21.).



Şekil 4.21. Sızıntı suyun da KOİ ölçümü

Reaktörlerden alınan sızıntı suyu numuneleri hazırlanırken (1/2) seyreltme oranıyla ve direkt saf olarak numuneler kullanılmıştır. Reaktörlerden alınan ölçüm sonuçları Reaktör 1 ve Reaktör 2 için paralellik göstermektedir.

4.2.2.3. Gaz kromatografisi ve gaz konsantrasyonu analizi

Gaz kromatografisi çok hızlı bir ayırma yöntemidir. Oldukça kompleks karışımları ayırabilme ve çok küçük miktarları tespit edebilme yeteneğine sahiptir. Doğru ve tekrarlanabilir analiz sonuçları verir [113].

Gaz konsantrasyonu analizinde; Shimadzu GC-2014 marka gaz kromatografisi (GC) cihazına (He) gazı verilir ve gaz kromatografi cihazı açılarak cihazın içerisindeki dedektörün ısınması beklenir, dedektör belli bir sıcaklık seviyesine yükseldiğinde (250 °C) reaktörlerde bulunan içi gaz dolu gazbaglerden özel bir şırınga ile (Şekil 4.22.) gazbag içinden belli oranda gaz çekilerek gaz kromatografisi cihazına enjekte edilip cihazın start düğmesine basılarak okuma başlatılır, yaklaşık 40 dk. Sonra okuma gerçekleşir bu işlem her iki reaktör için ayrı ayrı yapılmıştır.



Şekil 4.22. Gazbaglerden alınan gaz verileri ile gaz konsantrasyonunun ölçümü

Gazbaglerin içerisindeki gaz miktarını tespit etmek için ritter marka ıslak gaz metre kullanılmıştır. Reaktörden çıkarılan gasbag'ı ıslak gazmetrenin hortumuna bağlayıp gasbag'ın içerisindeki gaz tükenene kadar belli bir oranda gasbag baskı uyguladığımızda gasbag'ın içi boşaldığında gazmetreden gaz miktarı okunmuştur (Şekil 4.23.).



Şekil 4.23. Gazbaglerde biriken gaz miktarının ölçümü

4.3. Modelleme Çalışması

Modelleme çalışmasında örnek değerler girilerek EPA modeli uygulanmıştır. Burada katı atık miktarı(M1), atık metan potansiyeli (Lo) ve metan üretim hızı katsayısı (k) örnek verilerdir.

Şekil 4.24. incelediğinde; Birinci yıldan 36500 ton/yıl kabul saydığımız atık miktarına %10 eklenerek diğer yılların atık miktarları hesaplanmıştır.

EPA modelin formülasyonu ($Q_1=2.k.Lo.M1.e^{-k.1}$) dir. Bu formülasyonda kabul verileri girerek excel programındaki formülasyon eşleniği

($=2*0,04*160*36500*ÜS(-0,04*1)$) olarak yazılır ve formülün metan üretim değerini birinci yıl için 448880 m³/yıl olarak hesaplanır. Hesaplanan bu verinin sağ

tarafındaki diğer verileri (ikinciden altıncı yıllara olan kısım için) excel formülasyonunda sadece zaman değerlerini değiştirerek bulunur.

Şekil 4.24. de; Sarı renkli olan (493768,9-543145,8-597466,5) m³/yıl gaz değerlerine ulaşmak için yukarıdaki excel formülasyonu içinde sırasıyla (40150-44165-48581,5) atık değerlerini girerek ulaşırız, diğer gaz değerlerine(Sarı renkli olmayan) ulaşmak için sırasıyla girdiğimiz atık değerlerindeki formüllerde sadece zaman değerlerini girerek ulaşırız [110].

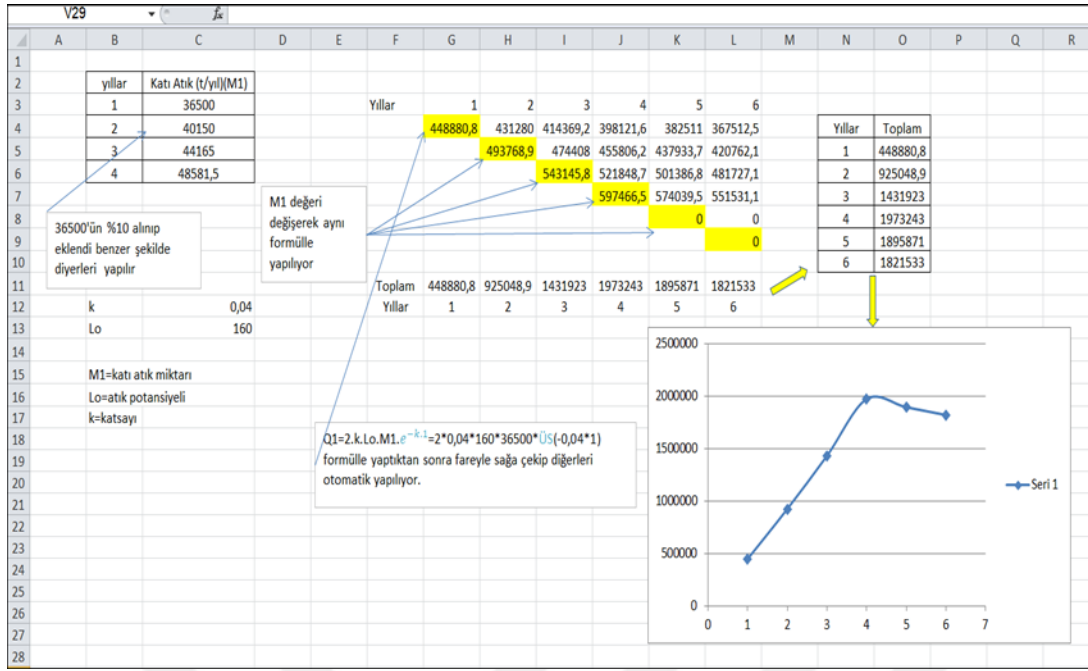
Birinci yıldan altıncı yıla kadar elde ettiğimiz gaz değerlerinin hepsini toplayarak toplam gaz değerlerini buluruz, zaman ve toplam gaz değerleri ile excel programında grafik verisi elde ederiz [110].

Tezde uygulanan modelleme metodların anlaşılması için örnek veriler kullanılarak bir model açıklanmıştır.

Gerçek teorik metan potansiyeli hesaplamasında tablo 4.5. de belirtilen modeller EPA örnek modelde olduğu gibi excel üzerinden uygulanarak hesaplanmıştır. Modeller den sadece LandGEM modeli yazılım programı üzerinden yapılmıştır.

Tablo 4.5. Modeller ve formülasyon değerleri

Model	Formülasyon
Afvalzorg	$\alpha t = \zeta \cdot \sum_{i=1}^3 c \cdot A \cdot Coj \cdot k_{i,1} \cdot e^{-k_{i,1} \cdot t}$
Weber	$G_{a,t(m3/t)} = 1,868 \cdot M \cdot TOC \cdot f_{ao} \cdot f_a \cdot f_s \cdot k \cdot e^{-kt}$
LMOP	$Q_{LFG} = \sum_{t=1}^n \sum_{j=0,1}^1 2 \cdot k \cdot Lo \cdot \left[\frac{Mi}{10} \right] \cdot (e^{-ktij}) \cdot (MCF) \cdot (f)$
Scholl	
Canyon	$Q_{LFG,t,i} = Lo \cdot k \cdot Ri \cdot e^{-k \cdot (t-i)}$
Tabasaran	$Gt = 1,868 \cdot Gorg \cdot (0,014T + 0,28) \cdot (1-10^{-kt})$
TNO	$\alpha t = \zeta \cdot 1,87 \cdot A \cdot Co \cdot k_1 \cdot e^{-k_1 t}$
LandGEM	$Q_{CH4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0,1}^1 k \cdot Lo \cdot \frac{Mi}{10} \cdot e^{-k \cdot tij}$
IPCC	$CH_4 = (MSW_T \cdot MSW_F) \cdot MCF \cdot DOC \cdot DOC_F \cdot F \cdot \left(\frac{16}{12} - R \right) \cdot (1 - OX)$



Şekil 4.24. Örnek EPA modelleme hesaplaması [114]

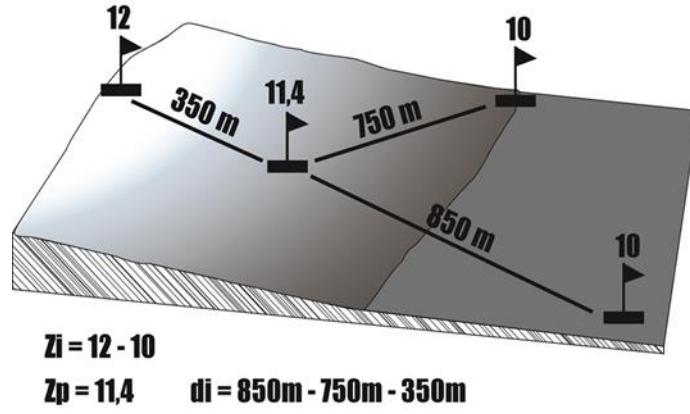
4.4. Coğrafi Bilgi Sistemleri Haritalama Çalışması

Sahada yayılan emisyon gazların hava modellemesi yapımında ArcGIS 10.3 yazılım kullanılmıştır. Yazılımın içeriğinde ters mesafe ağırlıklı enterpolasyon yöntemi (Inverse Distance Weighting-IDW) uygulanmıştır.

Ters mesafe ağırlıklandırma enterpolasyonu arama mesafesini en yakın noktaları hücre değerin derecesini belirterek bilinmeyen değerleri tahmin eder. Enterpolasyonlu noktalar, bilinen hücre değerlerinden uzaklıklarına göre tahmin edilir. Bilinen değerlere daha yakın noktalar daha uzaktaki noktalardan daha fazla etkilenecektir [115].

Aşağıdaki örnek şekil 4.25 de üç bilinen nokta ve üç uzaklık belirlenmiştir. Bilinmeyen noktayı bulmak için, denklem 4.2 kullanarak aşağıda 2. Dereceye göre hesaplama yaptığımızda sonucu (11,4) olarak buluruz. Ayrıca aynı hesaplamada 1. Dereceye göre yaparsak sonucu (11,1) olarak bulunur.

$$Z_p = \left(\frac{12}{350^2} \right) + \left(\frac{10}{750^2} \right) + \left(\frac{10}{850^2} \right) / \left(\left(\frac{1}{350^2} \right) + \left(\frac{1}{750^2} \right) + \left(\frac{1}{850^2} \right) \right) = 11,4$$



Şekil 4.25. Topoğrafik alanda belirlenen üç nokta [115]

Enterpolasyonun matematiği genel olarak aşağıdaki denklem 4.2’de belirtilmiştir.

$$Z_p = \frac{\sum_{i=1}^n z(i)/d_i^p}{\sum_{i=1}^n 1/d_i^p} \quad (4.2)$$

Bu denklem’de;

Zi : Bilinen nokta

di : Bilinen uzaklık

p: Hücrenin derecesi

Zp : Hesaplanacak nokta



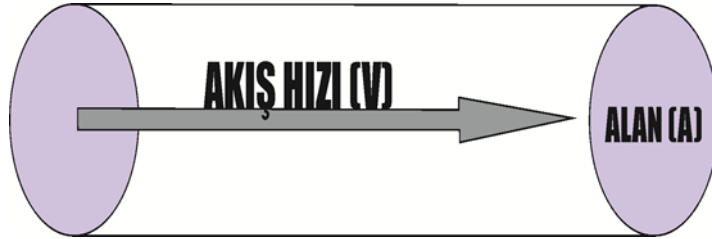
5. ARAŞTIRMA BULGULARI

5.1. Katı Atık Sahasından Elde Edilen Gaz Ölçümleri

Sakarya Belediyesi Katı Atık Düzenli depolama sahasında 2013 yılından başlanarak 2018 yılına kadar her ay 19 adet bacadan portatif gaz ölçüm cihazı ile düzenli olarak ($\text{CH}_4\text{-CO}_2\text{-H}_2\text{S-CO-H}_2\text{-O}_2$) emsiyon gaz değerleri ölçülmüştür. Ayrıca gaz yoğunluğunun debisini bulmak için farklı bir potatif el cihaz ile baca gazın molekül hızları ölçülmüştür. Hız ölçümünde dokuz aylık süreçte, hızın (4,60m/s-4,70m/s-4,80m/s...vb.) gibi değerler arasında değiştiği görülmüş ve dokuz aylık ölçüm değerlerinin genel ortalaması alınıp, gazların ortalama hızı (4,76 m/s) olarak belirlenmiştir.

Debi hesaplamalarında aşağıdaki formülde gazların debi değerleri sayısal olarak denklem 5.1’de hesaplanabilir.

Burada;



Şekil 5.1. Emisyonların akış hızı ve geçiş alanları [116]

$$Q = V \cdot A \quad (5.1)$$

Q = Hacimsel Akış (m^3/s)

V = Akış Hızı (m/s)

A = Alan (m^2)



Şekil 5.2. Gaz bacalarında ölçüm aparatları

Gaz bacalarını ölçmeden önce gazın içini sünger kılıfla örtülerek gazların deliklerden kaçması önlenmiştir ayrıca bacanın tepesine pet şişeyle kapatılarak gaz yoğunluğunun toplanması sağlanmıştır (Şekil 5.2.).

Bacaların standart tam çapları 16 cm dir ve bu bacalara kılıf geçirdiğimizde tam çapı (14 cm) kadar düşmektedir. Bacaların yüzey alanın bulmak için (Πr^2) formülünden ($0,015 \text{ m}^2$)'dir. Denklem (5.1) kullanarak ve gerekli çevirimler yapıldığında gaz emsiyonların sabit debisi ($257,04 \text{ m}^3/\text{saat}$) olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5.1. Gaz bacası alanına göre ortalama metan (m^3/saat) değerleri

Yıllar	2013	2014	2015	2016	2017	2018
GB15	60,35	41,35	35,26	26,5	14,03	31,83
GB10	0	24,47	27,18	28,6	24,7	23,13
GB20	57,06	50,25	56,29	46,26	21,53	35,56
GB19	116,31	69,91	6,96	28,05	39,31	35,3
GB18	69,99	53,74	12,92	29,35	57,19	55,26
GB23	57,71	124,77	92,56	67,6	58,65	68,84
GB22	57,91	111,77	42,82	62,57	58,07	64,2
GB17	0	112,46	62,63	90,31	110,6	99,45
GB21	0,51	5,8	26,69	50,04	46,44	47,96
GB28	3,75	2,21	11,48	20,09	14,05	29,95
GB26	0,77	2,76	8,85	15,4	15,48	22,53
GB27	2,8	2,7	8,4	36,69	13,88	16,93
GB24	21,59	12,25	26,65	66,42	64,28	76,19
GB14	2,21	4,07	6,32	20,76	27,76	44,89
GB13	3,37	6,85	21,59	75,23	91,72	103,7
GB25	129,24	75,08	34,96	35,45	16,54	39,71
GB29	0	0	0	15,86	20,93	17,17
GB5	0	0	0	13,83	12,96	15,68
GB9	0	0	0	53,53	30,97	43,18
Toplam	583,58	700,50	481,50	782,53	739,03	871,43

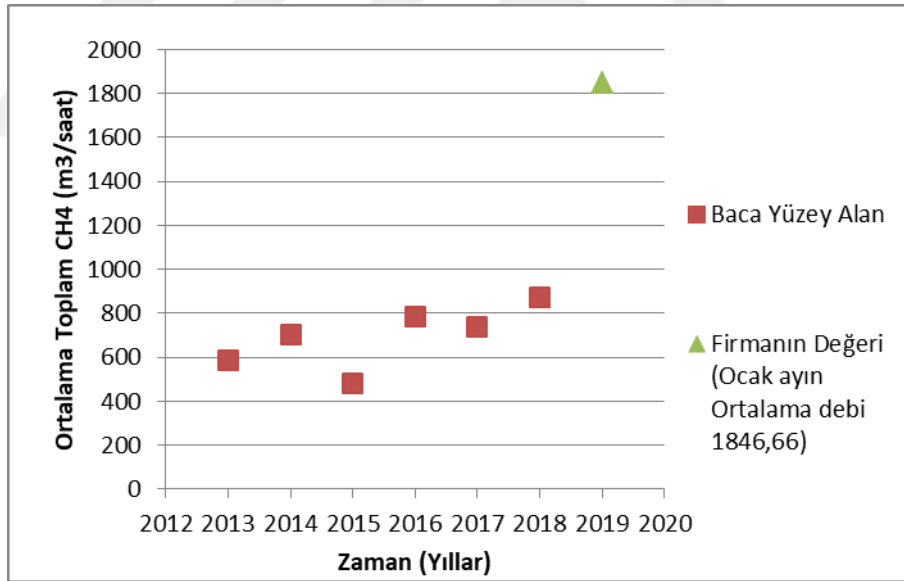
Bacanın yüzey alanına göre hesaplanan ($257,04 \text{ m}^3/\text{saat}$) sabit debiye göre (2013 ile 2018) yılları arasında 19 adet gaz bacalarından elde edilen (%) metan oranlarının altı

yıllık ortalama değerleri tablo 5.1. de gösterilmektedir. Toplam ortalama sahadaki Metan (m^3/saat) debi değerleri ile 2019 yılı için tesisin metan debi değeri tablo 5.2. de gösterilmektedir.

Tablo 5.2. Yüzey alanına göre metan debisi değişimi

Toplam Ortalama CH ₄ (m^3/saat)	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Baca Yüzey Alan : (0,015 m^2)	583,58	700,5	481,5	782,53	739,03	871,43	-
Ocak 2019 için Ortalama Değer (1846,66)	-	-	-	-	-	-	1846,66

Sakarya Katı atık Düzenli depolama sahası metandan elektrik üretimi için Sakarya Büyükşehir Belediyesi tarafından 2019 yılında özel bir firmaya ihale usulü ile işletmeye verilmiştir. Firma enerji üretimi için gerekli altyapı çalışmalarını tamamlamış ve tüm gaz bacalarını kapatarak, bacaları yatay borularla gaz motorlarına bağlamıştır.



şekil 5.3. Alana göre ortalama toplam metan değerleri

Firma yetkilileri ile görüşülerek 2019 yılı ocak ayı için bazı metan debi değerleri elde edilmiştir ve bu metan debilerin genel ortalaması $1846,66 \text{ m}^3/\text{saat}$ 'dir. Yukardaki şekil 5.3.'e baktığımızda firmanın verdiği değer ile bizim elde ettiğimiz metan debi değerlerinden oldukça yüksek çıkmıştır.

Sahadaki gaz bacaların kapatılarak yatay borularla kapalı sisteme geçmesinden dolayı; Basınç, sıcaklık, yoğunluk gibi etmenlerin debi değerinin yükseltiği düşünülmektedir.

Örneğin; aşağıdaki weymouht formülünde sadece sıkıştırılabilir gazlar için kullanılan bir debi hesaplaması denklem 5.2’de yapılmaktadır.

$$Q = 2,61 \times 10^{-8} \times D^{2,667} \times \sqrt{\frac{(P_1^2 - P_2^2) \times 288}{S \times L \times T}} \quad (5.2)$$

Burada;

Q = Debi (m³/saat)

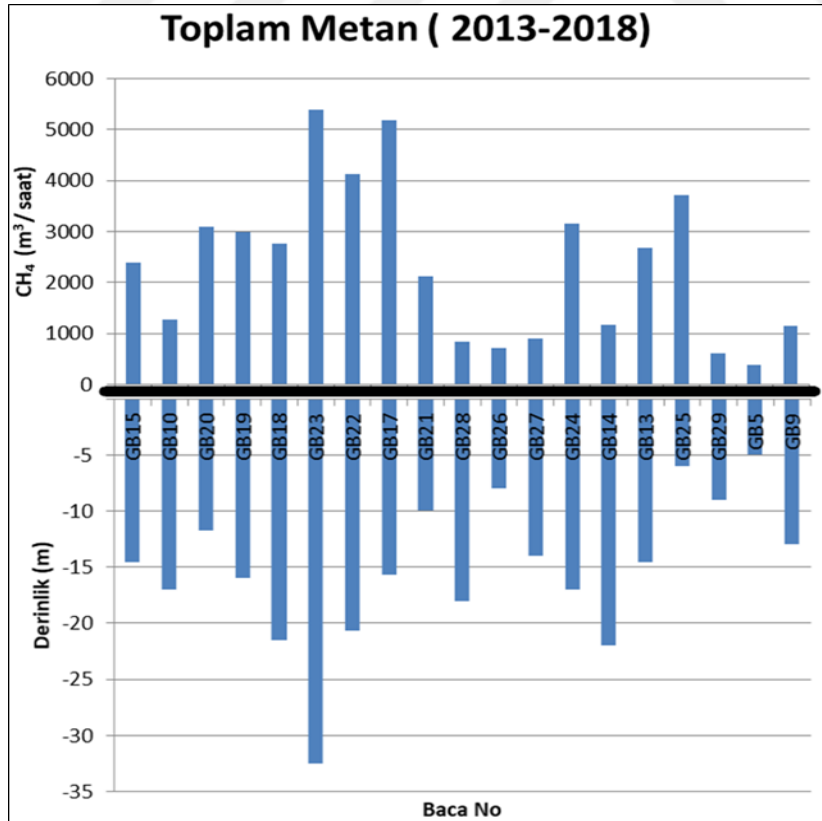
D = Boru İç Çapı (mm)

L = Boru boyu (Km)

P = Basınç (paskal) (P1; Giriş Basınç, P2; Çıkış Basınç)

S = Gaz Yoğunluğu (Kg/Nm³),

T = Gazın Sıcaklığı (°C)



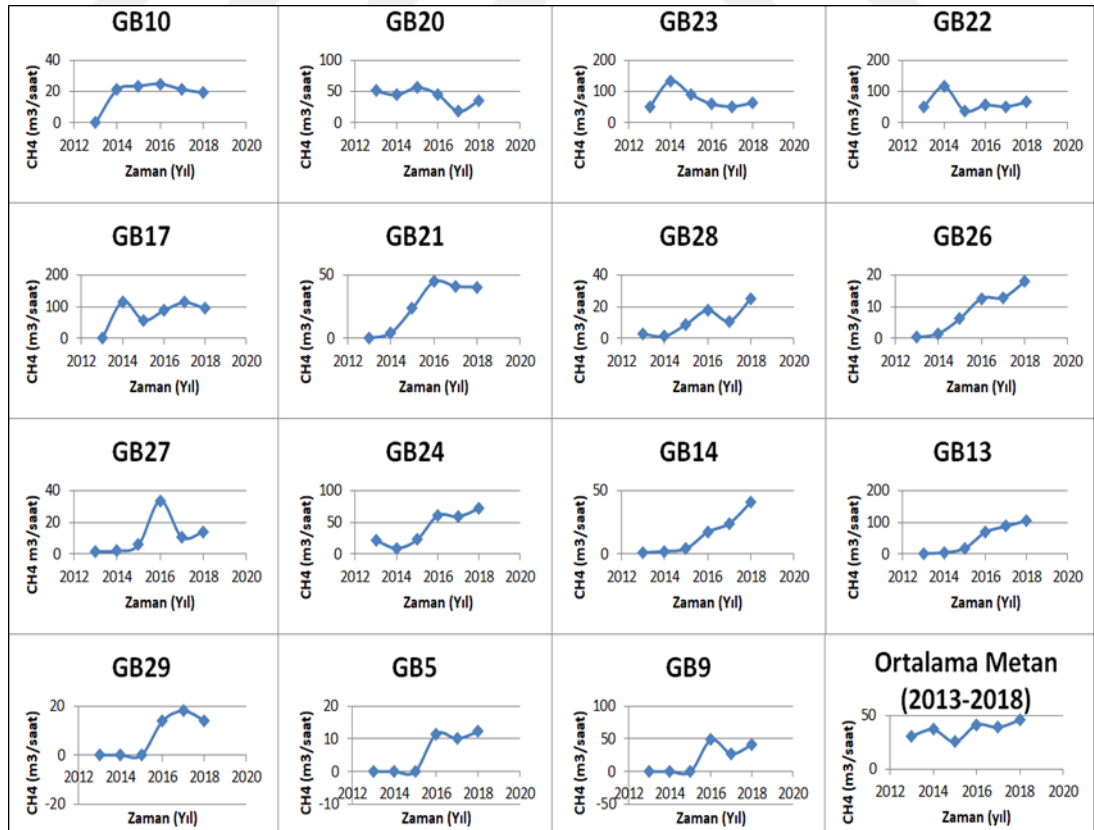
Şekil 5.4. (2013 ile 2018) yılları arasında gaz bacaların toplam metan(m³/saat) değerleri ve gaz bacaların derinliği (m)

Yukarıdaki şekil 5.4. deki grafikte katı atık düzenli depolama sahasının (2013 ile 2018) yılları arası altı yıl için her ay ölçülen, 19 adet her bir bacanın derinliklerine göre toplam metan değerlerini göstermektedir.

Grafikte GB 23 numaralı baca (32,5 m) derinliğine göre toplam (5388,35 m³/saat) metan salınımı olmuştur ve sahanın en derinlikli ve metan salınımı en fazla olan bacadır. Bu değerlerine göre bacanın en yüksek performans gösteren birinci sıradaki bacası diyebiliriz. GB 17 numaralı baca (15,7 m) derinliğine göre toplam (5194,44 m³/saat) metan salınım değerleri ile GB 23 göre neredeyse yarı derinliğinde iken metan değeri oldukça yüksek çıkmıştır. GB 22 numaralı baca (20,7 m) derinliğinde iken (4138,60 m³/saat) olarak oldukça iyi düzeyde metan salınımı olmuştur.

GB 14 numaralı baca (22m) derinlikte ve GB 28 numaralı baca (18m) derinlikte iken düşük seviyelerde metan salınımı göstermişlerdir ayrıca GB 5 numaralı baca en düşük seviyede metan salınımı göstermiştir.

İstisnai bacalar olsada genelde bacalarda derinlik arttıkça metan salınım değerleri artmaktadır. Ancak sıradışı olan GB 25 numaralı bacada (6 m) derinlikte iken (3713,19 m³/saat) olarak oldukça verimli toplam metan salınımı göstermektedir.



Şekil 5.5. Artış miktarı olan ortalama metan değerleri

Yukardaki Şekil 5.5. incelediğimizde; Tablo 5.1. deki ortalama metan değerlerinden artış miktarı olan metan değerlerin grafik olarak gösterimi yapılmıştır.

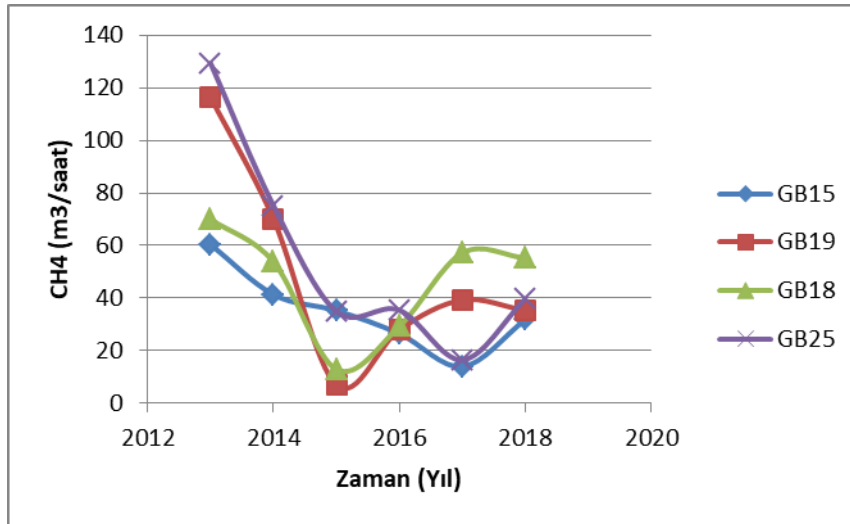
(GB17-GB23-GB22-GB13) numaralı bacalar ortalama metan değerleri $100\text{m}^3/\text{saat}$ çizgisine yaklaşan veya aşan yüksek metan değerleridir ayrıca (GB17-GB23-GB22) bacalar 2014 yılında pik değer yapmıştır.

(GB21-GB14-GB9-GB20) numaralı bacaların ortalama metan değerleri $50\text{ m}^3/\text{saat}$ çizgisine yaklaşan veya aşan orta seviyede metan değerleridir. Ayrıca (GB21-GB9) bacalar 2016 yılında pik değer yapmıştır.

(GB10-GB28-GB26-GB27-GB29) numaralı bacaların ortalama metan değerleri $20\text{m}^3/\text{saat}$ çizgisine yaklaşan veya aşan düşük seviyede metan değerleridir. Ayrıca (GB28-GB27) numaralı bacalar 2016 yılında, (GB29) baca ise 2017 yılında pik değer vermiştir.

(GB5) numaralı baca ise ortalama metan değeri $10\text{m}^3/\text{saat}$ çizgisini aşan en düşük seviyede bacadır. (GB14-GB13) numaralı bacalar 2015 yılından sonra sürekli artış eğilim çizgisi gösteren ortalama metan değerleridir.

Tüm bacaların altı yıllık genel ortalamasını incelediğimizde 2015 yılında düşüş gözlemlense de diğer yıllar da ortalama metan değerlerinde yükselme olmuştur.



Şekil 5.6. Azalım miktarı olan ortalama metan değerleri

Yukarıdaki şekil 5.6. da (GB15-GB19-GB18-GB25) numaralı bacalarda 2013 yılından itibaren 2015 yılına kadar sürekli bir metan salınımında düşüş gözlemlenmiştir.

Şekil 5.5. de metan salınımı artış miktarı gösteren bacalara kıyasla Şekil 5.6. da gösterilen bacalarda metan salınımında düşüş görülmektedir.

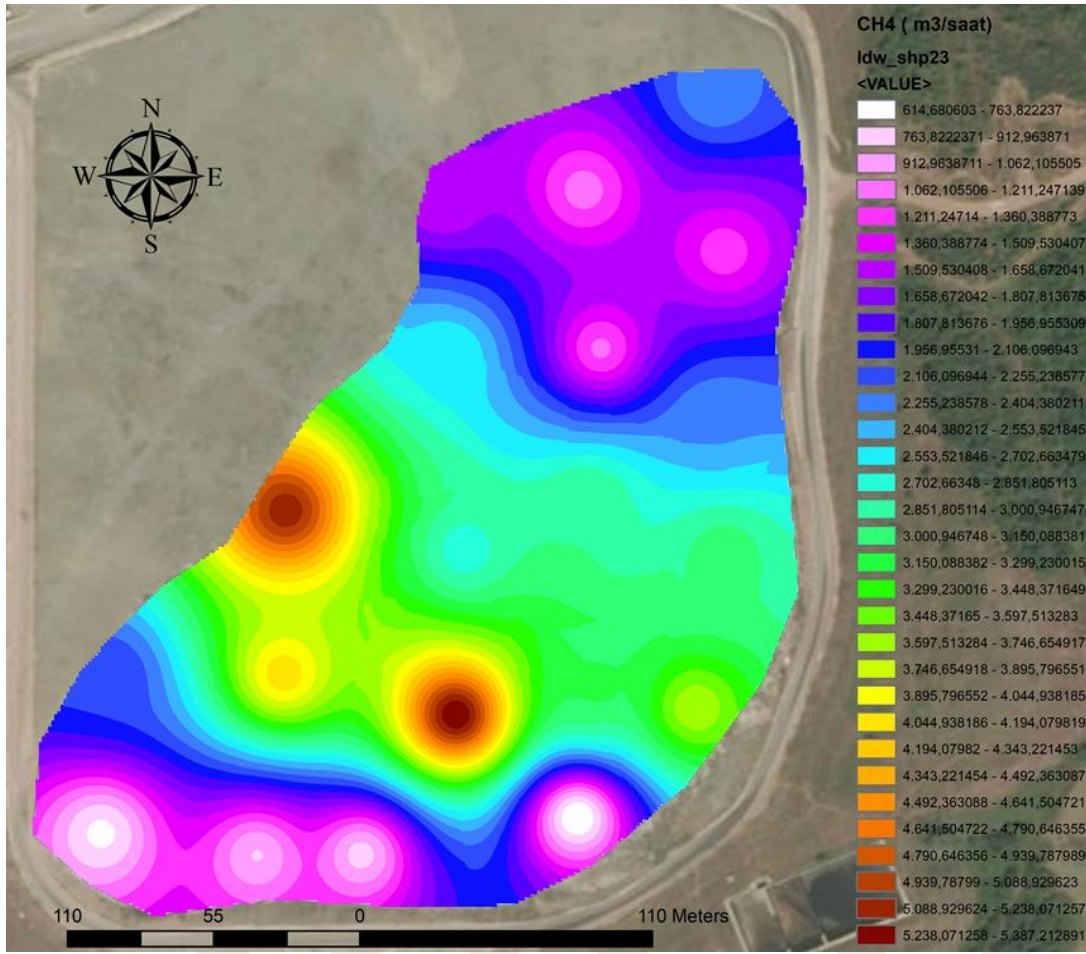
Bu metan gazın da azalmanın genel sebepleri olarak ; Saha işletme hatası, sızıntı suyu, metan oluşumunun ana kayağı olan organik atığın sahada uniform olarak yayılmaması, baca deliklerin tıkanması gibi sıralayabiliriz.

Sahada ölçümü yaparken en önemli problem bir ay bacadan verimli ölçüm yapıldığında sonraki ayda bacanın içi sızıntı suyu ile dolduğu için verim düşmüş ve bacadan çok az verimsiz ölçüm değeri elde edilebilmiştir. Ayrıca çöp katmanı yükseldikçe sahanın daha engebeli hale gelerek yürüme güçlüğün çekilmesi ve bazı bacaların yerlerinin tespitinin zor hale gelmesi ayrıca bazı bacalarda boy hizasından fazla olması ve bacadan çıkan kötü kokudan dolayı ölçümün çok verimsiz yapılmasıdır. Bazı bacalarda ölçüm yaparken bacaların deliklerinin gaz çıkışından dolayı tıkalı olduğu görülmüştür. Muhtemel bu tıkanıklıktan dolayı çöp katmanının içinden gelen gazların bacanın içine yeterince giremediği düşünülmektedir. Ayrıca bazı bacalarda yerleşiminin eğimli olduğu görülmüştür. Bu eğimin sebebi işçilik hatasından dolayı baca eğimli yerleştirilmiş olabilir ya da ekskavatör makinasının çöp sahasından hareketinden dolayı bacaya zarar vermiş olabilir. Ayrıca Çöp katmanının altındaki zeminin eğimli olması ve bazı bacaların çöp sahasının kenarında ve sık bir çöp katmanı içinde olması da baca içindeki gaz yoğunluğunu etkileyen faktörler olabilir.

Çöp kamyonları çöp sahasının içine girerek çöplerini boşaltırlar ve bu çöp yığınları paletli araçlarla çöp sahasına düzenli olarak dağıtılırlar. Çöp yığını içinde organik atığın dağıtım sırasında bazı bacalardan uzak olması muhtemel o bacalar için gaz oluşumunu etkiler.

5.2. Gaz Bacalarından Yayılan (CH₄, CO₂, H₂S, CO, H₂, O₂) Emisyonların Mekânsal Dağılımları

Sakarya ili düzenli depolama katı atık sahasında 19 adet gaz bacasından ölçümü yapılan ve her bacanın toplam altı yıllık gaz emsiyon verileri kullanılarak ArcGIS 10.3 yazılım programında “Spatial Interpolation IDW” yöntemi kullanılarak (CH₄, CO₂, H₂S, CO, H₂, O₂) gaz verilerinin çöp sahası üzerinde emsiyon dağılım haritası oluşturulmuştur.

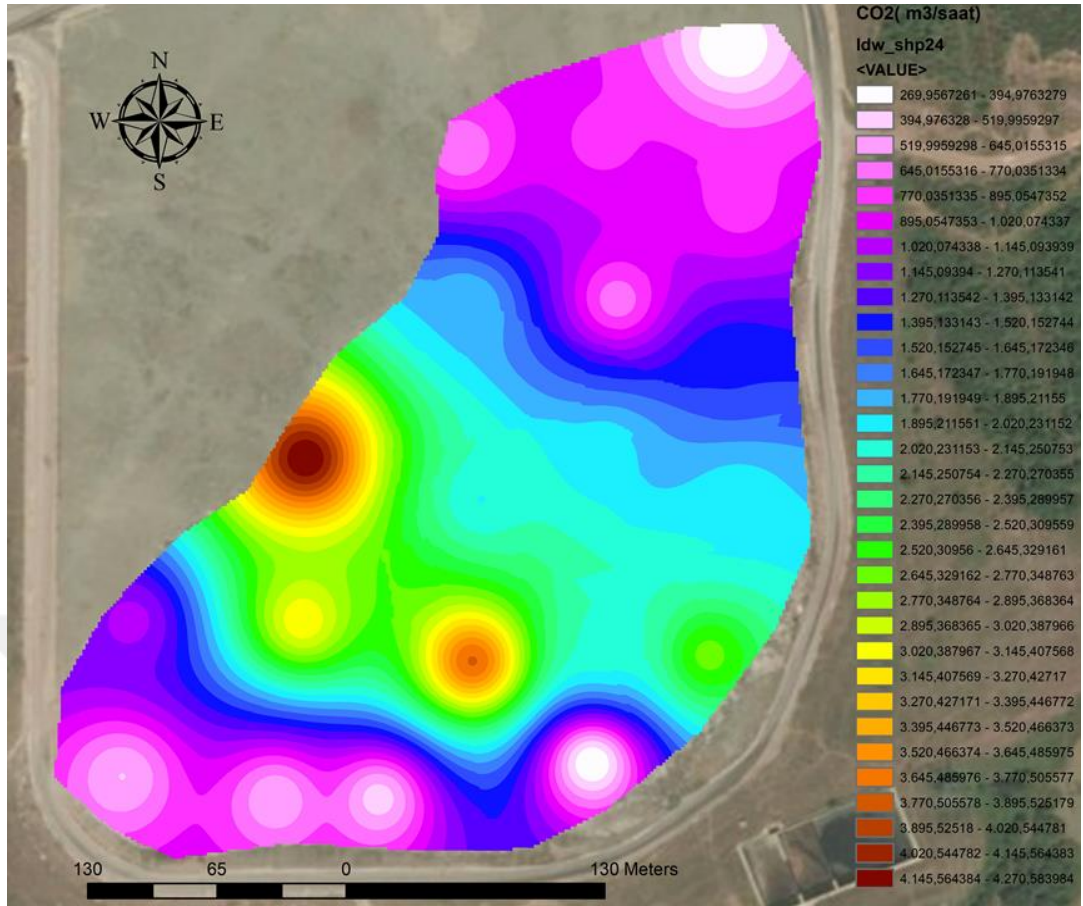


Şekil 5.7. (2013 ile 2018) yılları arasında toplam CH₄'ün mekânsal dağılımı

Saha da metanın (CH₄) toplam altı yılda atmosfere salınımı minimum 613,09 m³/saat ve maximum 5.388,35 m³/saat arasında değişmektedir. Salınımın genel ortalaması 2.412,31 m³/saat ve altı yılda toplam metan salınım miktarı 44.726,33 m³/saat olarak belirlenmiştir (Şekil 5.7.).

Renk skalasını incelediğimizde kahverengi ve sarı renkler metan yoğunluğunun en fazla olan bölgelerdir aynı zaman da çöp katmanının derinliği yüksek olan bölgelerdir.

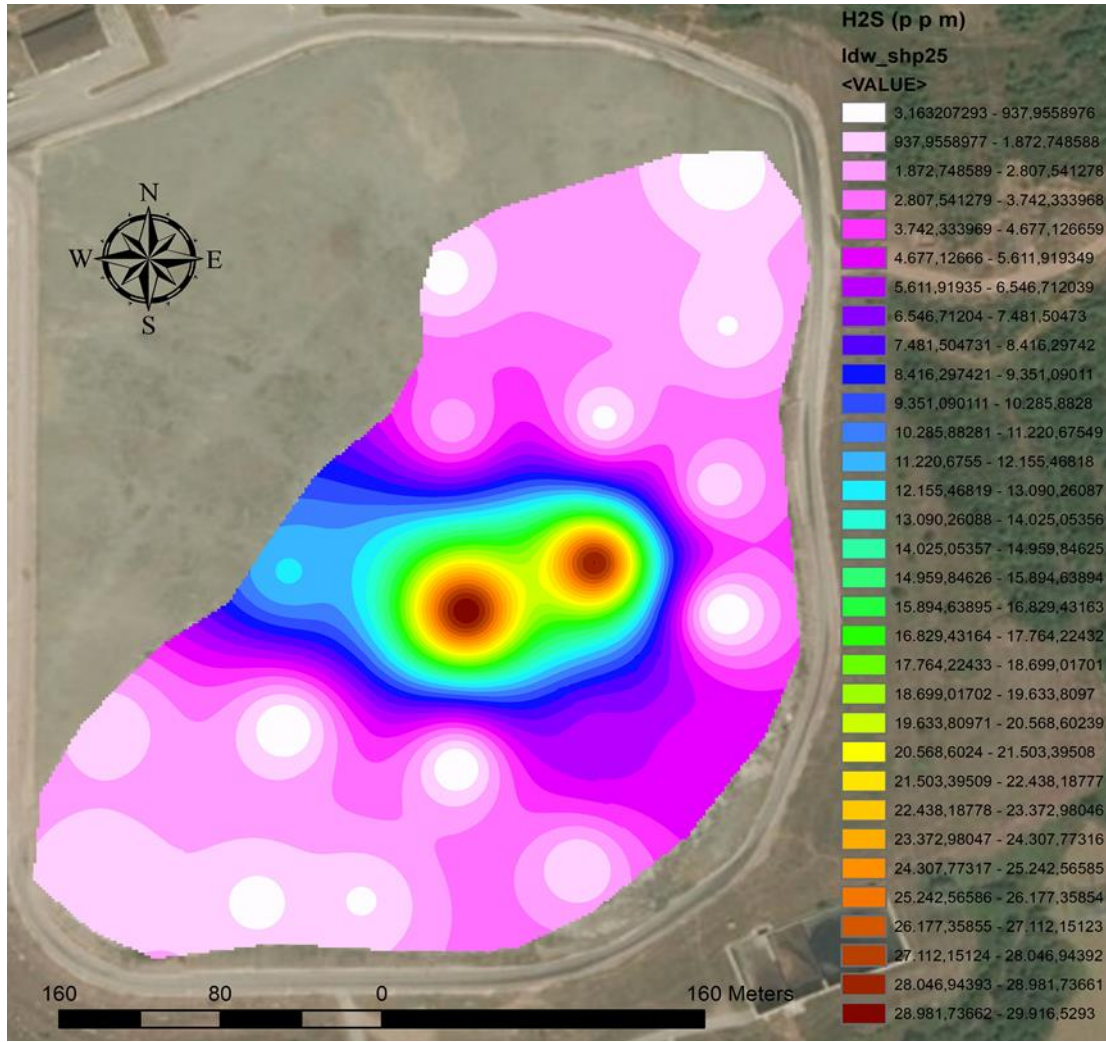
Mavi ve beyaz olan bölgeler nispeten çöp katman derinliği daha sıkı metan yoğunluğun düştüğü bölgelerdir (Şekil 5.7.).



Şekil 5.8. (2013 ile 2018) yılları arasında toplam CO₂'nin mekânsal dağılımı

Saha da karbondioksitin (CO₂) salınımı metan(CH₄) ile doğru orantılıdır. Sahada her ay yapılan ölçüm sonuçlarına göre metan değerleri yükseldiğinde karbondioksit değerleride yükselmektedir ve metan değerleri düştüğünde karbondioksit değerleride düşmektedir.

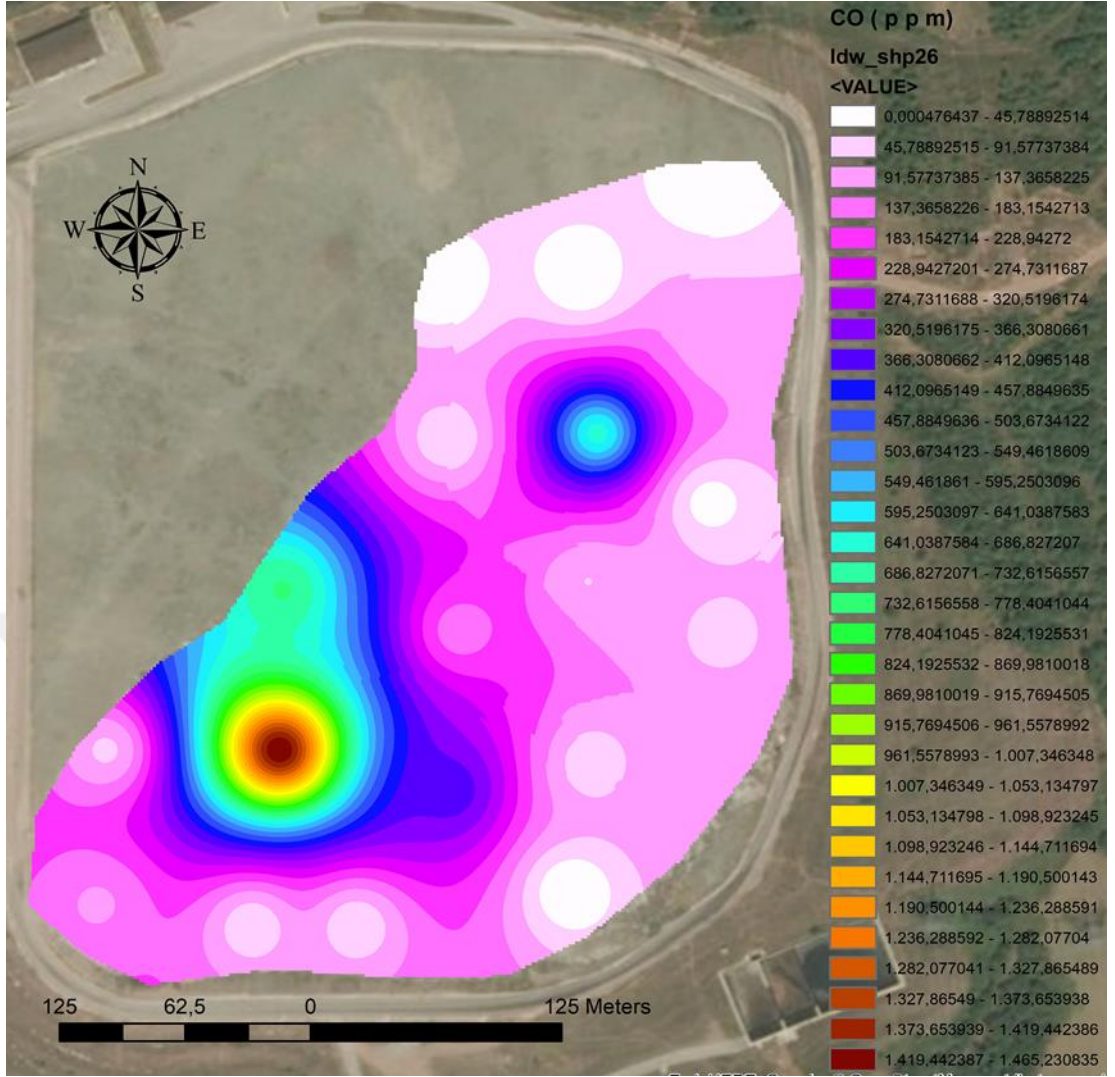
Saha da karbondioksitin(CO₂) toplam altı yılda atmosfere salınımı minimum 268,76 m³/saat ve maximum 4.271,10 m³/saat arasında değişmektedir. Salınımın genel ortalaması 1.577,30 m³/saat ve altı yılda toplam karbondioksitin(CO₂) salınım miktarı 31.546,08 m³/saat olarak belirlenmiştir (Şekil 5.8.).



Şekil 5.9. (2013 ile 2018) yılları arasında toplam H₂S'in mekânsal dağılımı

Saha da sülfür(H₂S) kötü koku meydana getiren emisyon gazıdır. Sülfürün(H₂S) en yoğun olduğu bölge çöp alanının orta bölgesidir ve bu bölge kahverengi ile sarı renkli olan kısımlardır sülfürün değerleri sırasıyla (14 bin ile 29 bin) ppm arasında değişmektedir. Kahverenkli olan en koyu iki bölgede (GB18 ve GB19) numaralı gaz bacaları mevcuttur ve bu bacaların altı yıllık toplam emisyon salınımı sırasıyla 29.917 ppm ve 29.014 ppm dir (Şekil 5.9.).

Saha da sülfürün(H₂S) toplam altı yılda atmosfere salınımı minimum 344 ppm ve maximum 29.917 ppm arasında değişmektedir. Salınımın genel ortalaması 6.095,37 ppm ve altı yılda toplam sülfürün (H₂S) salınım miktarı 115.812,03 ppm olarak belirlenmiştir.

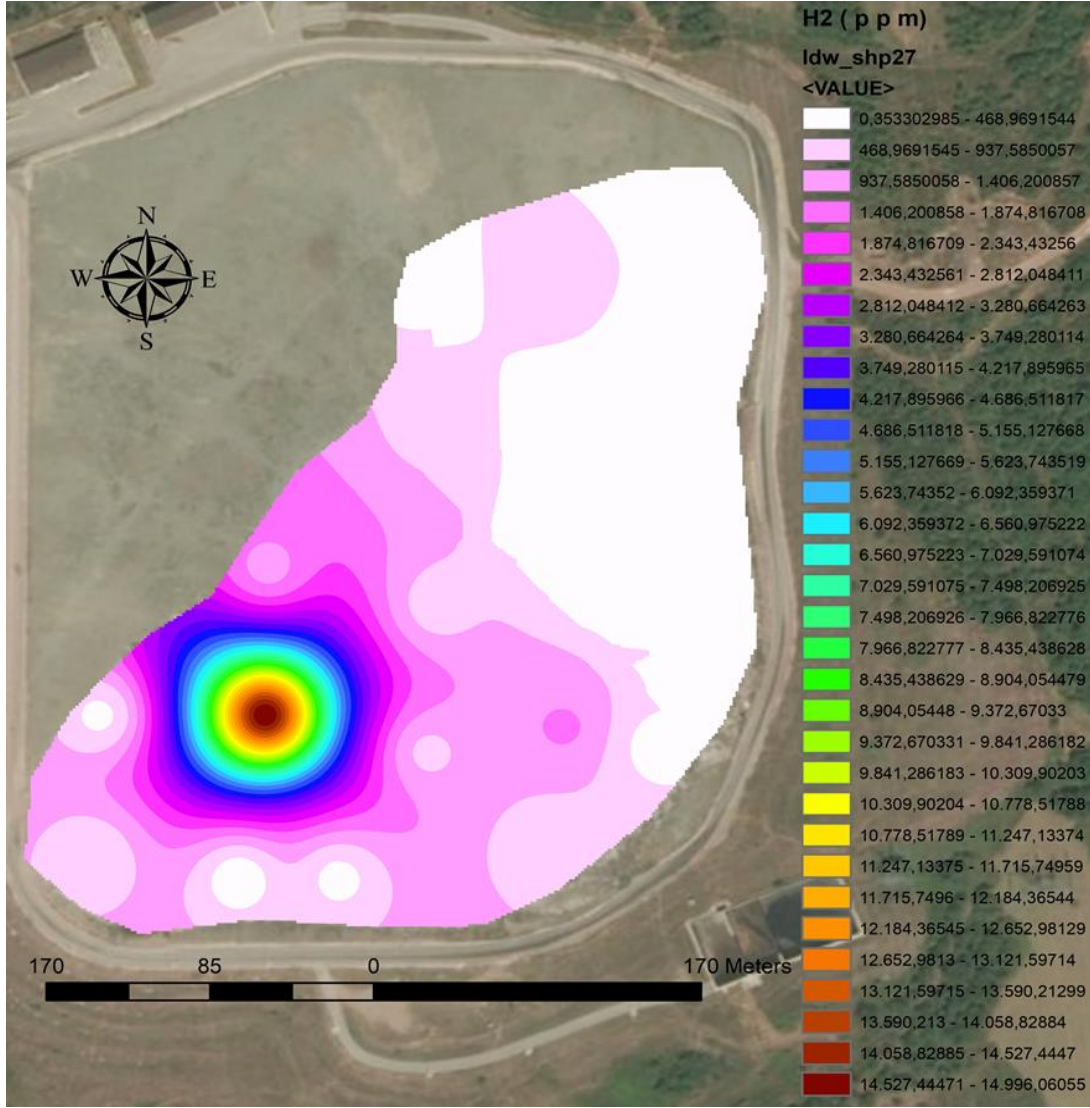


Şekil 5.10. (2013 ile 2015) yılları arasında toplam CO'nun mekânsal dağılımı

Saha da karbonmonoksit (CO) 2013 ile 2015 yılları arasında üç yıllık değerleri ölçülebilmıştır. Bunun sebebi üç yılın sonunda portatif ölçüm cihazının kalibre ayarı yapılmıştır ve cihaza yeni yüklenen yazılımda CO yerine Hidrojen(H₂) gelmiştir ve 2016 ile 2018 yılları arasında da üç yıl hidrojen(H₂) ölçülmüştür.

Saha da en yoğun karbonmonoksitin(CO) görüldüğü kısım kahverenkli olarak gözüken kısımdır ve burada (GB22) numaralı gaz bacası mevcuttur bacanın üç yıl toplam karbonmonoksit (CO) değeri 1466 ppm dir.

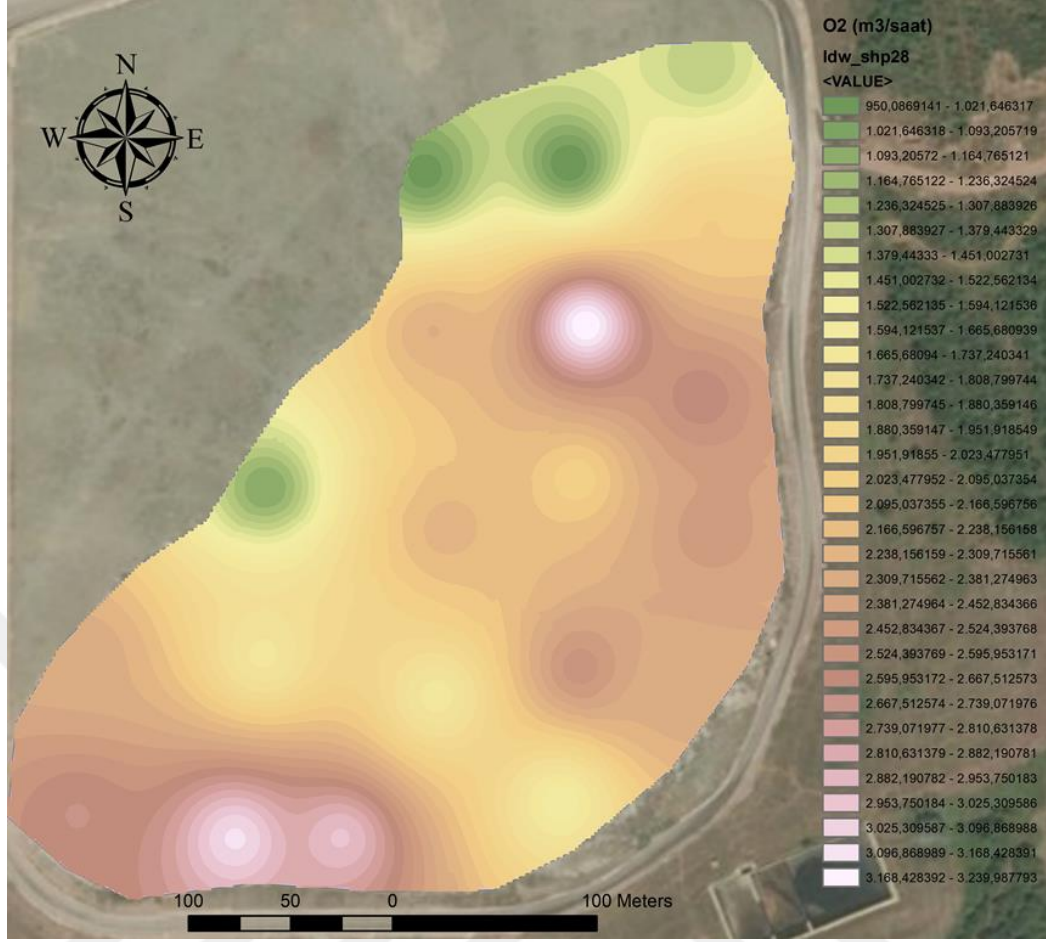
Saha da karbonmonoksitin (CO) toplam üç yılda atmosfere salınımı minimum 24 ppm ve maximum 1466 ppm arasında değişmektedir. Salınımın genel ortalaması 213,2 ppm ve üç yılda toplam karbonmonoksit (CO) salınım miktarı 4264 ppm olarak belirlenmiştir (Şekil 5.10.).



Şekil 5.11. (2016 ile 2018) yılları arasında toplam H₂'nin mekânsal dağılımı

Saha da hidrojenin (H₂) en yoğun olduğu bölge kahverenkli kısımdır, burada (GB22) numaralı gaz bacası mevcuttur bu bacanın üç yıllık toplam emisyon değeri ise 14.996 ppm dir. Sahanın renk skalasına baktığımızda beyaz olan kısım ise emisyon değeri (0,35 ile 468) ppm arasında değişmektedir, sahanın en düşük değerlerine sahiptir ve kuzey doğu kısmında yayılım göstermiştir (Şekil 5.11.).

Saha da hidrojenin(H₂) toplam üç yılda atmosfere salınımı minimum 73 ppm ve maximum 14.996 ppm arasında değişmektedir. Salınımın genel ortalaması 1.206,76 ppm ve üç yılda toplam hidrojen (H₂) salınım miktarı 24.135,2 ppm olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.12. (2013 ile 2018) yılları arasında toplam O₂'nin mekânsal dağılımı

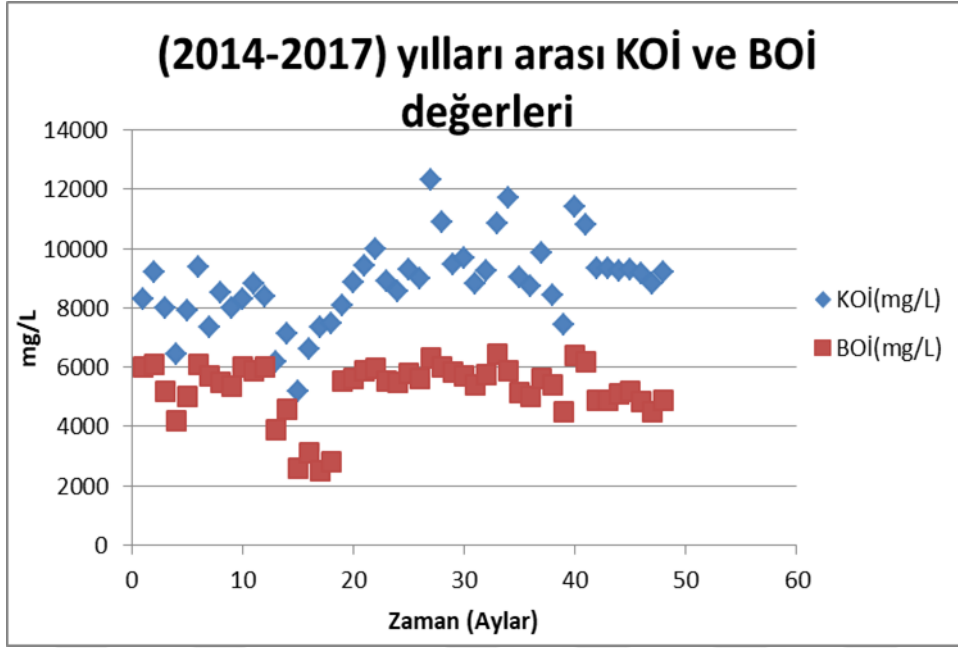
Saha da Oksijenin (O₂)'nin en yoğun olduğu bölge beyaz kısımdır, burada (GB14),(GB27),(GB28) numaralı gaz bacaları mevcuttur. Renk skalasına baktığımızda beyaz olan kısım ise emisyon değeri (3.168,42 ile 2.953,75) m³/saat arasında değişmektedir (Şekil 5.12.).

Saha da Oksijen(O₂)'nin toplam altı yılda atmosfere salınımı minimum 978 m³/saat ve maximum 3.239 m³/saat arasında değişmektedir. Salınımın genel ortalaması 2.125 m³/saat ve altı yılda toplam Oksijen(O₂) salınım miktarı 42.500 m³/saat olarak belirlenmiştir.

5.3. Sakarya İli Düzenli Katı Atık Depolama Sahasından ve Reaktörlerden Elde Edilen Sızıntısını Analizleri.

5.3.1. Katı atık sahasından elde edilen sızıntısını analizler

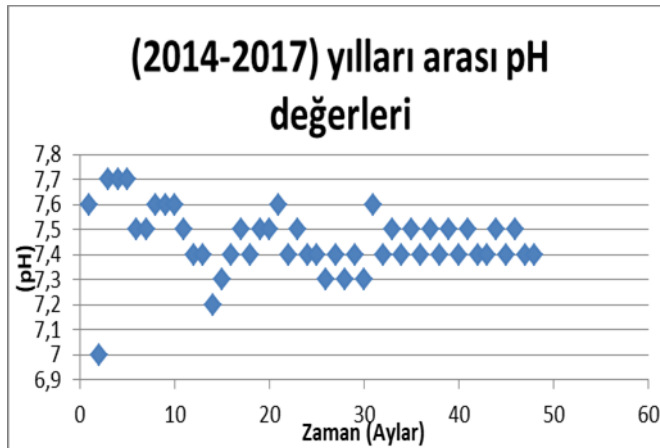
Saha da yetkili çalışanlarla görüşmeler neticesinde, sahanın sızıntısını analizlerinden (2014 ile 2017) yılları arasında (KOİ, BOİ ve pH) değerleri elde edilebilmiştir.



Şekil 5.13. Sahada sızıntı suyun'dan elde edilen 2014 ile 2017 yılları arasındaki KOİ ve BOİ değerleri

Yukardaki şekil 5.13. incelendiğinde; KOİ değeri 2014 yılında 8300 mg/L değeri ile başlayarak yer yer düşüşler ve yükselmeler göstermiştir minimum 5.200 mg/L ve maximum 12.300 mg/L değeri görmüştür ve dört yılın sonunda ortalama KOİ değeri 8.831,042 mg/L dir.

BOİ değeri ise KOİ ye kıyasla nispeten düşük değerlerdedir. BOİ değeri 2014 yılında 6000 mg/L değeri ile başlayarak 17. ve 18. aylarda yer yer (2500 ile 2600) mg/L değerlerine düşmüş ancak genelde 6000 mg/L civarında kalmıştır ve 45. Aylarda 4800 mg/L ile 4900 mg/L değerlerine düşmüştür.



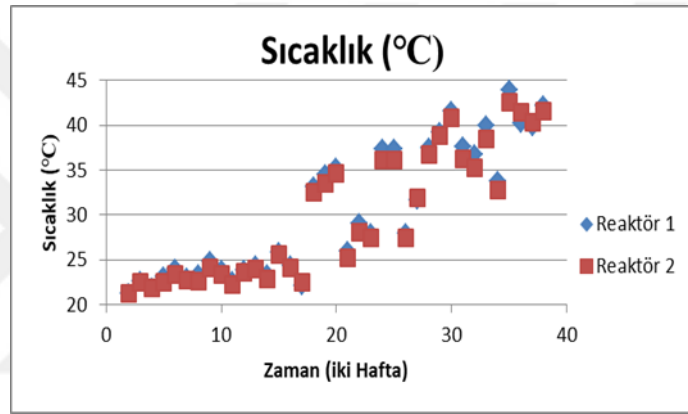
Şekil 5.14. Sahada sızıntı suyun'dan elde edilen 2014 ile 2017 yılları arasındaki pH değerleri.

Yukarıdaki şekil 5.14. incelediğimizde; Saha daki sızıntı suyun pH değeri dört yıl zaman zarfında (7 ile 7,7) değerler arasında değişmektedir genel ortalama değer ise (7,45)'dir.

5.3.2. Reaktörlerden elde edilen sızıntı suyu analizleri

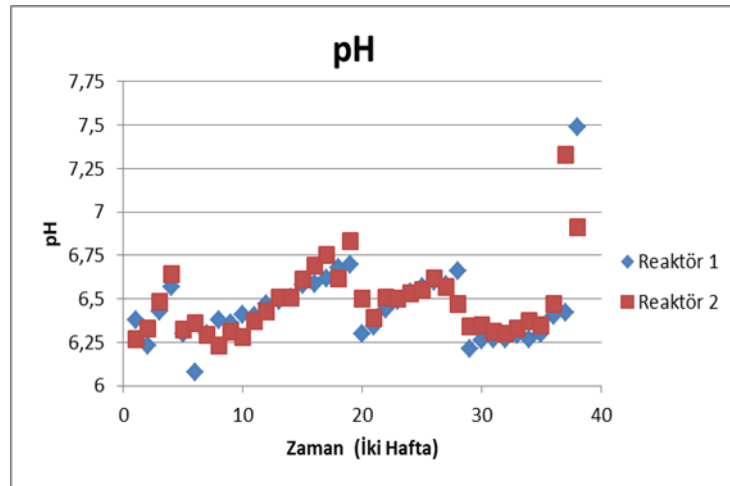
Sakarya ili düzenli depolama katı atık sahasından topladığımız katı atık numuneler ile laboratuvar ortamında Reaktör 1 ve Reaktör 2 olarak adlandırılan iki reaktör kurulmuş ve 2018 yılın ekim ayında işletilmeye başlamıştır bu reaktörlerden reaktör 2 sızıntı suyu geri çevrimlidir.

Reaktörlerin işletme süreci 19 ay sürmüştür ancak reaktörlerden istenildiği gibi metan gazı verimine ulaşamamıştır.



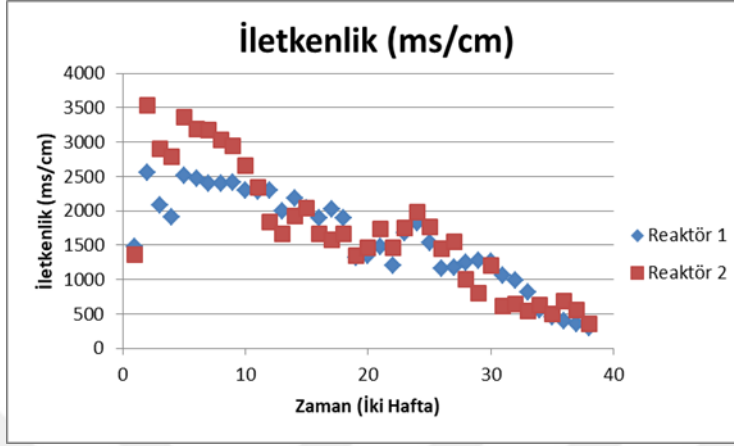
Şekil 5.15. İkili reaktör sisteminin ölçülen sıcaklık (°C) değerleri

Yukarıdaki şekil 5.15. incelendiğinde; Reaktörlerin içindeki çöp sıcaklığı 20 °C de başlamıştır ve 38. ölçüm sonucunda değerler 40 °C ye ulaşmıştır iki reaktör içinde sıcaklık değerleri paralellik göstermiştir.



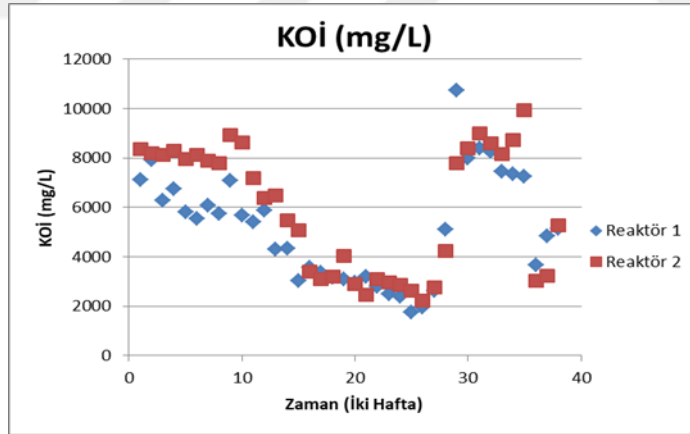
Şekil 5.16. İkili reaktör sisteminin ölçülen pH değerleri

Yukarıdaki Şekil 5.16. da reaktörlerden elde edilen sızıntı suyu numunelerinden pH değerleri ölçülmüştür her iki reaktör içinde pH miktarı 6,25 civarı değerler ile başlanmış, süreç boyunca değerler inişli çıkışlı olsada 38. ölçümün sonunda reaktör 1 için 7,39 ve reaktör 2 için 7,33 maksimum pH değerleri ölçülmüştür.



Şekil 5.17. İkili reaktör sisteminin ölçülen iletkenlik (ms/cm) değerleri

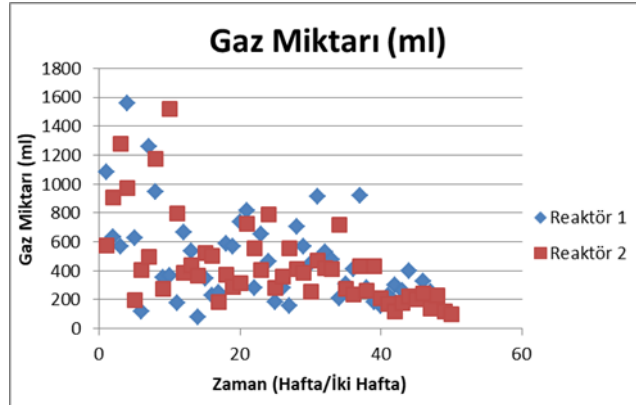
Yukarıdaki şekil 5.17. incelendiğinde de; Sızıntı suyun iletkenliği her iki reaktör için (2500 ile 3500) ms/cm değerler ile başlamış, her iki reaktörler için paralel bir düşüşe geçmiş 38. ölçümün sonucunda değerler 500 ms/cm'in altına düşmüştür.



Şekil 5.18. İkili reaktör sisteminin ölçülen KOİ(mg/L) değerleri

Yukarıdaki şekil 5.18. incelendiğinde de; Reaktör 1 ve reaktör 2 için sırasıyla başlangıçta 7101 mg/L ve 8344 mg/L KOİ değerleri ölçülmüştür. Reaktör 1 değerleri 26. ölçüme kadar düşüşe geçmiştir. Reaktör 2 değerleri ise 8. ölçüme kadar 8000 mg/L civarında seyretmiş sonra 26. ölçüme kadar düşüşe geçmiştir. 25. Veya 26. ölçümlerden sonra her iki reaktörler de 32. ölçüme kadar ölçüm değerleri yükselişe geçmiş sonraki ölçümler hızla düşüşe geçmiştir. Reaktör 1 ölçüm değerleri reaktör 2

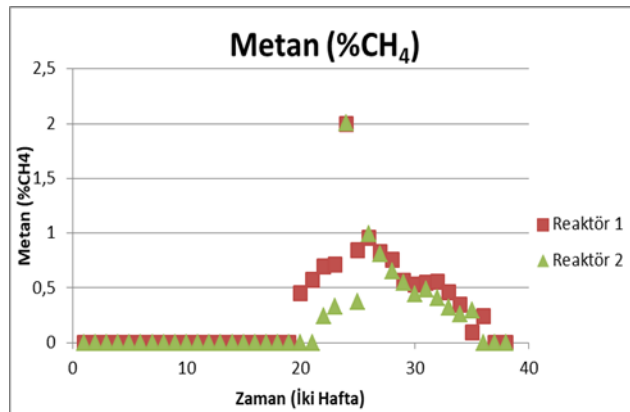
ye nazaran biraz düşüktür ama her iki reaktörün ölçüm değerlerinde paralellik göstermektedir.



Şekil 5.19. İkili reaktör sisteminin ölçülen gaz miktarı (ml) değerleri

Reaktörlerden gelen gaz dışarıdaki gazbaglerde birikmiştir. Bu gazbagler portatif el cihazında manual şekilde gaz miktarları (ml) olarak ölçülmüştür. Bu ölçümler 19 aylık zaman zarfında periyodik olarak bazen hafta bir, bazen de iki hafta da bir olarak toplam da 49 adet ölçüm yapılmıştır. Başlangıçta reaktör 1 için 1082 mL ve reaktör 2 için 574 ml gaz miktarları ölçülmüştür. Sonraki zaman sürecinde değerlerde düşüş gözlemlenmiştir.

Reaktör 1 toplam gaz miktarı 22.755,2 mL dir ve Reaktör 2 nin toplam gaz miktarı 22.221,3 mL dir. Her iki reaktörün değerleri paralellik göstermektedir.



Şekil 5.20. İkili reaktör sisteminin ölçülen metan(%CH₄) değerleri

Şekil 5.20. incelendiğinde laboratuvar çalışmasında 19 aylık süreçte her iki reaktörler için %CH₄ değerleri istenildiği verim sağlanmamıştır. 20. ölçüme kadar her iki reaktörler için metan değerleri ölçülememiştir. 20. ölçümden sonra değerler biraz yükselerek %1 değerini görmüştür ve sonrasında düşüşe geçmiştir.

5.4. Modellerdeki Sabit Değerler ve Katsayıların Belirlenmesi

Modellerin formülasyonlarında çoğunlukla sabit değerler ve katsayılar mevcuttur. Hesaplamanın yapılabilmesi için bu sabit değerler ve katsayılar çeşitli kaynaklardan elde edilmiştir aşağıdaki tablo 5.3. de bu kaynaklar belirtilmiştir.

Tablo 5.3. Modellerdeki sabit değerler, katsayılar, belirlenen değerleri ve kaynağı

Modeller	Sabitler	Alınan Değer	Kaynak
Afvalzorg	Düzeltilme Katsayısı (ζ)	0,58	[12 , 45]
	Çevirme Katsayısı (c)	1,5	[70 , 45]
	Atık İçerisinde Organik Madde Miktarı (Co)	200	[114]
Weber	Toplam Organik Karbon (TOC) kg/ton	200	[114]
	Atık depolantıktan sonra ilk 6 ay için düzeltme katsayısı (fao)	0,95	[70]
	Ayrışma katsayısı (ayrışabilen organik karbon / toplam organik karbon) (fa)	0,9	[70]
	Gaz toplama verimi (fs)	1	[70]
LMOP	Metan Düzeltme Faktörü (MCF)	0,6	[45]
	Depo gazının içindeki metan oranı (f)	0,5	[45]
Tabasaran	Atık İçerisinde Organik Madde Miktarı (Corg)	180	[114]
	Depolama tesisi içindeki sıcaklık (θ) (Not: Sahadaki tesis ile değer teyit edilmiştir)	35	[119]
TNO	Düzeltilme Katsayısı (ζ)	0,58	[12 , 45]
	Atık İçerisinde Organik Madde Miktarı (Co)	200	[114]
IPCC	Metan Düzeltme Faktörü (MCF)	0,6	[12]
	Depo gazının içindeki metan oranı (F)	0,5	[12]

5.5. IPCC 2006 Sera Gazı Envanter Yönergesinde Varsayılan (k) ve (Lo) Değerlerine Göre Model Sonuçları

Sakarya İli, iklim özellikleri açısından Marmara Bölgesi ve Karadeniz Bölgesi iklim özelliklerini taşımaktadır. Sakarya İli yağışlı ve rutubetli bir havaya ve ılıman bir iklime sahiptir. Kışlar bol yağışlı ve ılık, yazlar ise sıcaktır. Rüzgârlar genel olarak kuzeydoğudan Poyraz, kuzeybatıdan da Karayel olarak eser. Zaman zaman güneyden esen Lodos, özellikle Adapazarı Ovası’ nda sıcaklığın artmasına yol açmaktadır [117]. Sakarya ilinde 1951 ile 2018 yılları ölçüm periyodun da ortalama sıcaklık 14,6 °C ve ortalama yağış 840,3 mm’dir [117].

1988 yılında Dünya Meteoroloji Örgütü ve Birleşmiş Milletler Çevre Programı tarafından kurulan, genel merkezi İsviçre cenevrede bulunan Türkçe ismi; “Hükümetlerarası iklim değişikliği paneli” ve İngilizce tanımı; “intergovernmental panel on climate change”nin kısaltması IPCC olan organizasyonun amacı;

Uluslararası hükümetlere iklim politikalarını geliştirmek için kullanabilecekleri bilimsel bilgiler sağlamaktır. IPCC metodoloji raporları aynı zamanda uluslararası iklim değişikliği müzakerelerin de önemli bir bilgi envanteridir [118].

IPCC 2006 sera gazı envanter yönergesinde tablo olarak verilen, varsayılan metan üretim oranı sabit katsayıları tablo 5.4. de gösterilmiştir. Sakarya ilinin iklim koşulları ve düzenli depolama katı atık sahasının atık türlerine göre tablo 5.4. den düzenli depolama katı atık sahası için metan üretim hızları (k); Hızlı bozunan atık için (k=0,06)-(k=0,185) ve Belediye-Endüstriyel atık için (k=0,05)-(k=0,09) olarak belirlenmiştir. Ayrıca IPCC 2006 sera gazı envanter yönergesine göre Lo değerleri ($Lo < 100 \text{ m}^3/\text{mg}$) veya ($Lo > 200 \text{ m}^3/\text{mg}$) olarak verilmektedir ve EPA da varsayılan Lo değerleri ise Tablo 5.6'da verilmiştir. Model hesaplamalarımız için $Lo = 157 \text{ m}^3/\text{saat}$ olarak kabul edilmiştir.

Diğer modellerin (k) ve (Lo) değerleri kullanıldığında, Landgem modeli için manuel hesaplamasında çok küçük değerler vermiştir. Bundan dolayı bu model hesaplamasında EPA'nın otomatik excel programı kullanılmış ve bu programın önerdiği (k=0,05) ve ($Lo = 170 \text{ m}^3/\text{mg}$) değerleri kabul sayılmıştır ve EPA'nın excel hesaplama programında metan üretim süreci otomatik olarak 2010 yılından itibaren başlamıştır.

Tablo 5.4. IPCC 2006 sera gazı envanter yönergesinde varsayılan metan üretim oranı [118]

IPCC varsayılan metan üretim oranı sabitleri (k) (1/yr)		SICAKLIK				TROPİKAL			
		Kuru		Islak		Kuru		Nem ve Islak	
Atık Türleri		Varsayılan değer	Oran	Varsayılan Değer	Oran	Varsayılan Değer	Oran	Varsayılan Değer	Oran
Yavaş Hızda Bozunan Atık	Kağıt / Tekstil	0,04	0,03–0,05	0,06	0,05–0,07	0,045	0,04–0,06	0,07	0,06–0,085
	Odun / Saman / Kavçuk	0,02	0,01–0,03	0,03	0,02–0,04	0,025	0,02–0,04	0,035	0,03–0,05
Orta Hızda Bozunan Atık	Park ve Bahçe	0,05	0,04–0,06	0,1	0,06–0,1	0,065	0,05–0,08	0,17	0,15–0,2
Hızlı Bozunan Atık	Yiyecek ve Kanalizasyon	0,06	0,05–0,08	0,185	0,1–0,2	0,085	0,07–0,1	0,4	0,17–0,7
Belediye veya endüstriyel Atık	Karışım Kompozisyon	0,05	0,04–0,06	0,09	0,08–0,1	0,065	0,05–0,08	0,17	0,15–0,2

Tablo 5.5. IPCC 2006 sera gazı envanter yönergesinde belirtilen Sıcaklık, yağış ve potansiyel bitki su tüketim değerleri [118]

	OYS	OYY	OYY/PBST
Kuru Sıcaklık	0 - 20°C	*	<1
Islak Sıcaklık	0 - 20°C	*	>1
Kuru Tropikal	> 20°C	<1000 mm	*
Nem ve Islak Tropikal	> 20°C	>1000 mm	*

(OYS; Ort. Yıllık Sıcaklık, OYY; Ort. Yıllık Yağış, PBST; Potansiyel Bitki Su Tüketimi)

Tablo 5.6. EPA'ya göre metan üretim potansiyeli (Lo) varsayılan değerleri [88]

Emisyon Türü	Depolama Sahası Türü	Lo Değeri (m ³ /mg)
CAA	Geleneksel	170 Varsayılan
CAA	Kurak Bölge	170
Envanter	Geleneksel	100
Envanter	Kurak Bölge	100
Envanter	Islak (Bioreaktör)	96

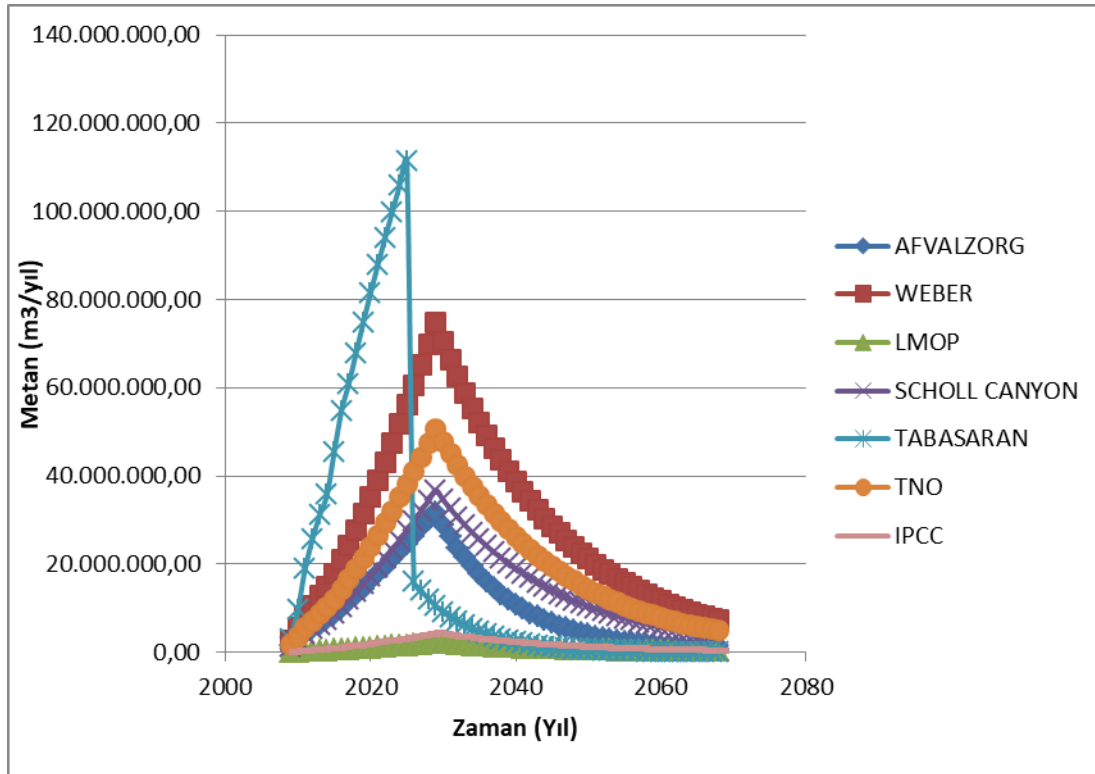
(CAA; Clean Air Act – Temiz Hava Yasası, m³/mg; metreküp / megagram)

Tablo 5.7. IPCC 2006 sera gazı envanter yönergesinde varsayılan (k=0,06) ve (Lo=157) değerlerine göre hesaplanan metan (m³/yıl) sonuçları

YILLAR	AFVALZORG	WEBER	LMOP	SCHOLL CANYON	TABASARAN	TNO	IPCC
2009	1455023,5	2774578	81822,9	1363715	3081567,8	1884185	163645,8
2010	2801479,4	5439560	160413,8	2673563,1	9704549,3	3693945	320827,6
2011	4131283,7	8157276	240559,8	4009330,3	18960721,1	5539516	481119,6
2012	5255168,2	10560777	311439,6	5190659,5	25632277,4	7171706	622879,1
2013	6270729,2	12817811	378000	6299999,6	31133269,2	8704433	756000
2014	7208524,3	14975894	441642,3	7360705,4	35723292,7	10169963	883284,7
2015	8460866	17775046	524189,9	8736498,5	45381482,5	12070836	1048379,8
2016	9916609,8	21021985	619942,8	10332380,6	54717426	14275796	1239885,7
2017	11357237	24310150	716911,5	11948525,1	60805612	16508752	1433823
2018	12852215,2	27766915	818852,2	13647537,5	67752634,8	18856203	1637704,5
2019	14410384,6	31408995	926258	15437633	74782292,9	21329499	1852516
2020	16012405,6	35199968	1038054,6	17300909,9	81357141,1	23903907	2076109,2
2021	17654184,4	39131164	1153986,4	19233106,4	87728606,3	26573538	2307972,8
2022	19332009,6	43194415	1273812,5	21230209	93907057,3	29332847	2547625,1
2023	21042516,3	47382033	1397306,3	23288437,8	99906007,4	32176611	2794612,5
2024	22782653,7	51686773	1524254	25404233,2	105740816,2	35099913	3048508
2025	24549655,6	56101816	1654454,6	27574242,6	111427714,2	38098119	3308909,1
2026	26341014,2	60620739	1787718,5	29795309	15965037,6	41166869	3575437,1

Tablo 5.7. (Devamı) IPCC 2006 sera gazı envanter yönergesinde varsayılan (k=0,06) ve (Lo=157) değerlerine göre hesaplanan metan (m³/yıl) sonuçları

2027	28154455,8	65237491	1923867,5	32064459	13904966,5	44302054	3847735,1
2028	29987918,9	69946375	2062733,5	34378892,4	12110719,5	47499805	4125467,1
2029	31839534,6	74742026	2204158,3	36735972,2	10547995,7	50756478	4408316,7
2030	28867279,1	70389390	2075798,1	34596635,7	9186920,2	47800651	4151596,3
2031	26172487	66290231	1954913,1	32581884,5	8001473	45016958	3909826,1
2032	23729256,6	62429788	1841067,8	30684463,2	6968991,7	42395374	3682135,6
2033	21514104,5	58794160	1733852,4	28897539,2	6069738	39926460	3467704,7
2034	19505739,3	55370255	1632880,7	27214677,5	5286520,8	37601324	3265761,3
2035	17684857,1	52145742	1537789,1	25629818,1	4604367,1	35411593	3075578,2
2036	16033956,3	49109011	1448235,2	24137253,7	4010236,1	33349383	2896470,4
2037	14537168,9	46249125	1363896,6	22731609,5	3492769,7	31407266	2727793,1
2038	13180108,3	43555785	1284469,4	21407823,6	3042075,2	29578249	2568938,8
2039	11949730,7	41019294	1209667,7	20161129	2649536,7	27855746	2419335,5
2040	10834210,2	38630516	1139222,2	18987036,2	2307650	26233554	2278444,3
2041	9822824,8	36380850	1072879	17881317,3	2009879,2	24705830	2145758,1
2042	8905853,4	34262194	1010399,4	16839990,5	1750531,6	23267075	2020798,9
2043	8074482,2	32266919	951558,3	15859305,8	1524649,3	21912106	1903116,7
2044	7320720,4	30387840	896143,9	14935731,7	1327914	20636044	1792287,8
2045	6637323,2	28618190	843956,5	14065942,4	1156564,7	19434294	1687913,1
2046	6017721,8	26951597	794808,3	13246805,7	1007325,8	18302529	1589616,7
2047	5455960,8	25382058	748522,3	12475371,8	877344,1	17236673	1497044,6
2048	4946640,9	23903922	704931,8	11748862,7	764134,7	16232887	1409863,5
2049	4484866,6	22511866	663879,7	11064662,2	665533,5	15287558	1327759,5
2050	4066199,4	21200877	625218,4	10420306,4	579655,5	14397279	1250436,8
2051	3686615,2	19966234	588808,5	9813475	504858,8	13558847	1177617
2052	3342465,6	18803491	554519	9241982,7	439713,6	12769241	1109037,9
2053	3030442,8	17708461	522226,3	8703771,5	382974,6	12025619	1044452,6
2054	2747547,6	16677200	491814,2	8196903,4	333556,9	11325301	983628,4
2055	2491061	15705996	463173,2	7719552,9	290515,9	10665767	926346,3
2056	2258517,8	14791350	436200,1	7270001,1	253028,8	10044641	872400,1
2057	2047682,7	13929969	410797,8	6846629,2	220378,9	9459687	821595,5
2058	1856529,2	13118750	386874,8	6447912,6	191942	8908797	773749,5
2059	1683220,2	12354774	364344,9	6072415,4	167174,5	8389989	728689,8
2060	1526089,7	11635288	343127,1	5718785,4	145602,9	7901395	686254,3
2061	1383627,6	10957701	323145	5385749,3	126814,8	7441253	646289,9
2062	1254464,4	10319575	304326,5	5072107,7	110451,1	7007908	608652,9
2063	1137358,8	9718609	286603,9	4776731,1	96198,9	6599799	573207,7
2064	1031185,1	9152642	269913,4	4498555,9	83785,7	6215457	539826,7
2065	934922,9	8619633	254194,8	4236580,4	72974,3	5853497	508389,7
2066	847646,8	8117665	239391,7	3989861,2	63558	5512616	478783,3
2067	768518	7644929	225450,6	3757509,8	55356,7	5191586	450901,2
2068	696776	7199723	212321,4	3538689,4	48213,6	4889252	424642,7



Şekil 5.21. ($k=0,06$ ve $Lo = 157$) değerlerine göre 59 yıllık model sonuçları

IPCC sera gazı envanteri yönergesinden elde edilen (k) ve (Lo) değerlerine göre Sakarya katı atık düzenli depolama sahasında model hesaplamaları yapılmıştır. Hesaplamalarda tercih olarak (Afvalzorg, Weber, LMOP, Scholl Canyon, Tabasaran, TNO, IPCC) modelleri kullanılmıştır.

Katı atık sahasına çöp alımı 2009 yılında başladığı için hesaplama başlangıcı 2009 yılı alınmış ve süreç 2068 yılında sonlandırılarak 59 yıl için modeler hesaplanmıştır.

2009 yılından itibaren hızla yükselen tahmini metan oluşum miktarları ($m^3/yıl$) Tabasaran modelinde 2025 yılından itibaren diğer modellerde 2029 yılından itibaren pik kırılma görülerek 2068 yılına kadar tahmini metan değerlerinde düşüş gözlemlenmiştir.

Tabasaran modelinde tahmini metan oluşum miktarı 2009 yılından itibaren başlayarak çok hızlı bir yükseliş göstermiş ve 2025 yılında ($111.427.714,2 m^3/yıl$) değer ile zirve yapmış ve diğer modellere nazaran en yüksek tahmini metan oluşum değeri vermiştir ve bu noktadan sonra ani bir düşüş gözlemlenmiştir.

İkinci sırada Weber modelinde hızlı artış görülmektedir. Bu modelde 2029 yılına kadar tahmini gaz oluşum değeri hızla artmış ve 2029 yılından itibaren kırılma

görülerek hızlı düşüşe geçmiştir. Weber modelinin 59 yıl için genel ortalama tahmini metan oluşum değeri (30.208.723,04 m³/yıl)

TNO, Scholl Canyon ve Afvalzorg modelleri orta seviyelerde tahmini metan oluşum değerlerine sahiptir. Her üç modelde 2029 yılı için pik kırılma görülmüştür. TNO modeli 2029 yılı için (50.756.478,24 m³/yıl), Scholl Canyon modeli 2029 yılı için (36.735.972,17 m³/yıl) Afvalzorg modelinin 2029 yılı için (31.839.534,58 m³/yıl) tahmini metan oluşum değerleri vermektedir.

IPCC ve LMOP modelleri düşük seviyelerde tahmini metan oluşum değerlerine sahiptir. Her iki modelde de 2029 yılı için pik kırılma görülmüştür. IPCC modeli 2029 yılı için (4.408.316,66 m³/yıl) ve LMOP modeli 2029 yılı için (2.204.158,33 m³/yıl) tahmini metan oluşum değerleri vermektedir.

Tüm modellerin “Alfvarzog, Weber, LMOP, Scoll Canyon, Tabasaran, TNO, IPCC” 59 yıl için genel ortalama tahmini metan üretim değerleri sırasıyla “10.404.700,54 m³/yıl - 30.208.723,04 m³/yıl - 890.861,69 m³/yıl – 14.847.695,00 m³/yıl – 18.852.368,31 m³/yıl – 20.514.407,63 m³/yıl – 1.781.723,40 m³/yıl” olarak metan değerleri vermektedir.

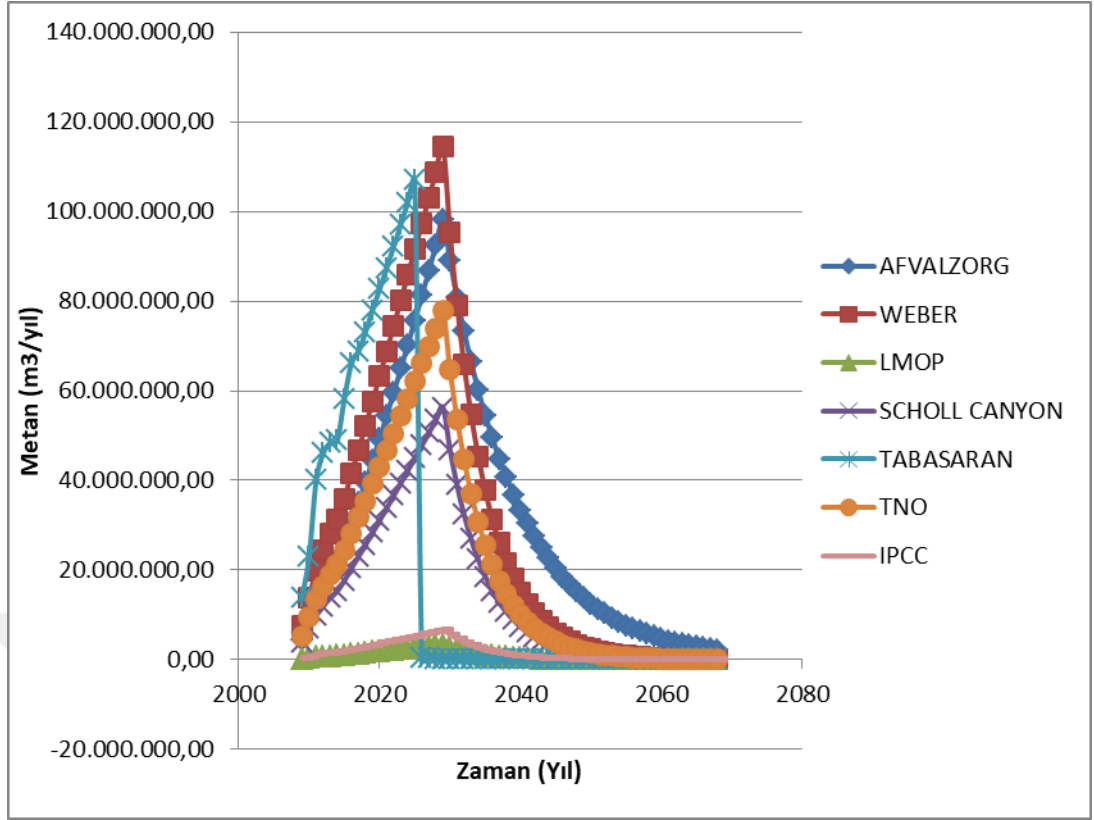
Burada; (890.861,69 m³/yıl) ortalama değer ile LMOP modeli en düşük seviyededir ve (30.208.723,04 m³/yıl) ortalama değer ile Weber modeli en yüksek seviyededir.

Tablo 5.8. IPCC 2006 sera gazı envanteri yönergesinde varsayılan (k=0,185) ve (Lo=157) değerlerine göre hesaplanan metan (m³/yıl) sonuçları

YILLAR	AFVALZORG	WEBER	LMOP	SCHOLL CANYON	TABASARAN	TNO	IPCC
2009	4486322,54	7549716	222642,7	3710712,246	13805003,67	5126928	445285,5
2010	8637894,83	13965764	411853,4	6864222,63	23080115,1	9483994,7	823706,7
2011	12738124,8	19863955	585792,3	9763204,783	40033644,61	13489391	1171585
2012	16203435,2	24341628	717839,8	11963996,65	46072297,48	16530128	1435680
2013	19334748,5	28045359	827063,6	13784394	48327629,97	19045291	1654127
2014	22226283,2	31211951	920447,1	15340785	48865194,35	21195688	1840894
2015	26087670,1	35930057	1059585	17659750,96	58229074,19	24399702	2119170
2016	30576213,6	41513293	1224236	20403931,61	66032845,6	28191216	2448472
2017	35018147,6	46780233	1379559	22992650,95	68708090,29	31767935	2759118
2018	39627663,5	52137421	1537544	25625728,19	73123777,7	35405942	3075087
2019	44432019,3	57641813	1699869	28331156,42	77994264,32	39143914	3399739
2020	49371583,8	63198805	1863746	31062437,9	82607199,78	42917605	3727493
2021	54433735,2	68799514	2028912	33815206,11	87321104,64	46720984	4057825
2022	59607029,7	74436555	2195150	36585832,04	92128183,91	50549036	4390300
2023	64881092	80103793	2362278	39371299,6	97015895,56	54397594	4724556
2024	70246515,5	85796127	2530146	42169102,1	101970490	58263195	5060292

Tablo 5.8. (Devamı) IPCC 2006 sera gazı envanteri yönergesinde varsayılan (k=0,185) ve (Lo=157) değerlerine göre hesaplanan metan (m³/yıl) sonuçları

2025	75694771,3	91509319	2698629	44977156,22	106978905,2	62142960	5397259
2026	81218127	97239846	2867624	47793730,51	425867,1191	66034497	5735248
2027	86809572	1,03E+08	3037043	50617385,94	278146,8269	69935818	6074086
2028	92462750,1	1,09E+08	3206816	53446926,55	181666,1908	73845270	6413631
2029	98171898,3	1,15E+08	3376882	56281358,35	118651,7396	77761479	6753763
2030	89007444	95168543	2806541	46775678,02	77495,07623	64627899	5613081
2031	80698501,5	79094984	2332528	38875466,39	50614,40197	53712523	4665056
2032	73165207,9	65736180	1938574	32309566,65	33057,81233	44640708	3877148
2033	66335155,6	54633621	1611157	26852619,25	21591,06724	37101084	3222314
2034	60142696,1	45406236	1339040	22317326,89	14101,78568	30834870	2678079
2035	54528309,5	37737318	1112882	18548025,99	9210,307072	25626992	2225763
2036	49438032	31363646	924920,6	15415343,85	6015,532948	21298703	1849841
2037	44822937,5	26066461	768705,5	12811758,31	3928,928359	17701443	1537411
2038	40638667,2	21663947	638874,4	10647907,22	2566,10315	14711745	1277749
2039	36845003	18004999	530971,3	8849521,303	1676,000369	12226995	1061943
2040	33405481,6	14964032	441292,5	7354875,065	1094,647047	10161908	882585
2041	30287043,3	12436671	366760,1	6112668,174	714,9474309	8445605	733520,2
2042	27459714,6	10336171	304815,9	5080264,705	466,9540106	7019178,5	609631,8
2043	24896320,1	8590436	253333,8	4222229,759	304,9819309	5833669,3	506667,6
2044	22572221,3	7139548	210546,8	3509113,24	199,1930172	4848387,5	421093,6
2045	20465079,7	5933709	174986,3	2916439,047	130,0990454	4029515,7	349972,7
2046	18554642,1	4931531	145431,9	2423864,985	84,97166131	3348947,7	290863,8
2047	16822545,9	4098616	120869,1	2014484,573	55,4975882	2783324,8	241738,2
2048	15252142,8	3406378	100454,8	1674246,758	36,24717036	2313233,2	200909,6
2049	13828338,6	2831055	83488,42	1391473,653	23,67413455	1922538	166976,8
2050	12537448	2352902	69387,58	1156459,714	15,4623006	1597829,6	138775,2
2051	11367063,5	1955507	57668,32	961138,6223	10,09890069	1327963	115336,6
2052	10305935,7	1625230	47928,39	798806,4263	6,595900826	1103675,7	95856,77
2053	9343865,26	1350736	39833,49	663891,4429	4,307984285	917269,63	79666,97
2054	8471605,2	1122602	33105,78	551763,0222	2,813676164	762346,72	66211,56
2055	7680771,56	932999,6	27514,36	458572,6114	1,837697841	633589,62	55028,71
2056	6963763,12	775419,9	22867,3	381121,6618	1,20025669	526579,05	45734,6
2057	6313688,2	644454,8	19005,11	316751,8458	0,783924162	437642,1	38010,22
2058	5724298,48	535609,2	15795,23	263253,816	0,512005039	363726,23	31590,46
2059	5189928,94	445147,1	13127,48	218791,3742	0,334405906	302294,43	26254,97
2060	4705443,39	369963,6	10910,31	181838,4484	0,218410872	251238,19	21820,61
2061	4266185,09	307478,4	9067,603	151126,7134	0,142650656	208805,14	18135,21
2062	3867932,04	255546,6	7536,124	125602,0589	0,093169719	173538,85	15072,25
2063	3506856,34	212385,9	6263,305	104388,4092	0,060851924	144228,88	12526,61
2064	3179487,46	176514,8	5205,459	86757,65409	0,039744042	119869,24	10410,92
2065	2882678,82	146702,2	4326,279	72104,65797	0,025958262	99623,837	8652,559
2066	2613577,59	121924,8	3595,589	59926,49012	0,016954154	82797,798	7191,179
2067	2369597,26	101332,3	2988,31	49805,16266	0,011073023	68813,604	5976,62
2068	2148392,75	84217,67	2483,597	41393,28404	0,007232539	57191,281	4967,194



Şekil 5.22. ($k=0,185$ ve $Lo = 157$) değerlerine göre 59 yıllık model sonuçları

Tablo 5.4. de hızlı bozunan atık türüne göre bölgeyi ıslak ortam olarak değerlendirdiğimizde (k) değerini ($0,185$) olarak alırsak ve ($Lo=157$) olarak varsayıldığında yedi model üzerinde hesaplamamız şekil 5.22. de görülmektedir. Şekil 5.21. deki grafik değerlerimize göre benzerlik görülmektedir ancak bu grafikte Weber modeli yüksek seviyede pik kırılma değeri göstermiştir. Tüm modellerde 59 yıl için hesaplama yapılmıştır.

Tüm modellerde 2009 yılından itibaren yükseliş ve tabasaran modelinde 2025 yılından itibaren diğer modellerde ise 2029 yılından itibaren pik kırılma görülerek 2068 yılına kadar tahmini metan değerlerinde düşüş gözlemlenmiştir.

Weber modelinin en yüksek pik kırılma seviyesi $114.508.546,10 \text{ m}^3/\text{yıl}$ dir.

Tabasaran ve Afvalzorg modellerinin pik kırılma seviyelerinde tahmini metan oluşum değerleri sırasıyla $106.978.905,20 \text{ m}^3/\text{yıl}$, $98.171.898,28 \text{ m}^3/\text{yıl}$ 'dir bu iki model yüksek seviyede tahmini metan salınımı göstermiştir.

TNO ve Scholl Canyon modellerinin pik kırılma seviyelerinde tahmini metan oluşum değerleri sırasıyla 77.761.479,32 m³/yıl, 56.281.358,35 m³/yıl bu iki modeller orta seviyelerde tahmini metan salınım değerleri göstermiştir.

IPCC ve LMOP modellerinin pik kırılma seviyelerinde tahmini metan oluşum değerleri sırasıyla 6.753.763,00 m³/yıl ve 3.376.881,50 m³/yıl dir bu iki modeller düşük seviyelerde tahmini metan salınım değerleri göstermiştir.

Tüm modellerin “Alfvarzog, Weber, LMOP, Scoll Canyon, Tabasaran, TNO, IPCC” 59 yıl için genel ortalama tahmini metan üretim değerleri sırasıyla “32.081.160,01 m³/yıl – 30.156.015,26 m³/yıl – 889.307,33 m³/yıl – 14.821.788,93 m³/yıl – 18.892.024,35 m³/yıl – 20.478.614,37 m³/yıl – 1.778.614,67 m³/yıl” olarak metan değerleri vermektedir.

Burada; (889.307,33 m³/yıl) ortalama değer ile LMOP modeli en düşük seviyededir ve (32.081.160,01 m³/yıl) ortalama değer ile Alfvarzog modeli en yüksek seviyededir.

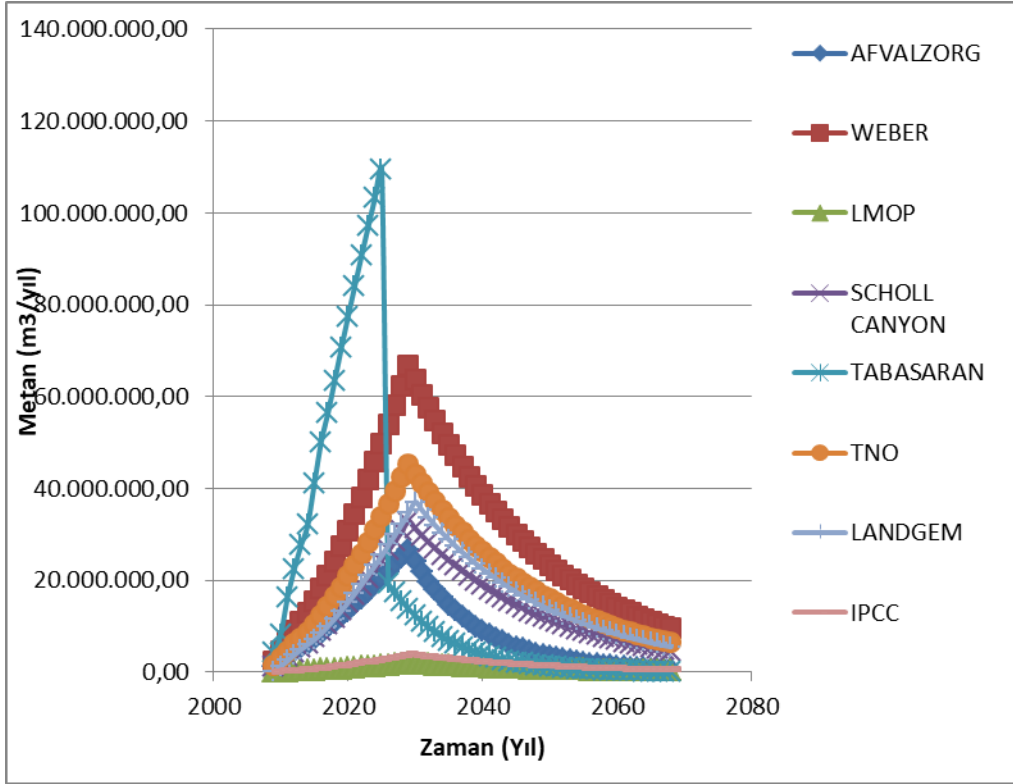
Metan üretim sabit hızı (k) değerinde artış olduğunda (k=0,185) Alfvarzog modelinin genel ortalama metan salınım değerinde önemli bir yükseliş görülmüştür.

Tablo 5.9. IPCC 2006 sera gazı envanteri yönergesinde varsayılan (k=0,05) ve (Lo=157) değerlerine göre hesaplanan metan (m³/yıl) sonuçları.

YILLAR	AFVALZORG	WEBER	LMOP	SCHOLL CANYON	TABASARAN	TNO	LANDGEM	IPCC
2009	1212519,6	2335385,8	68871	1147850,4	4328087,2	1585934,5	0	137742,1
2010	2334566,2	4600627,8	135673,5	2261225	8266587,2	3124235,2	1277514,8	271347
2011	3442736,4	6930409,9	204379,3	3406321,1	16319893,9	4706364,2	2516828,6	408758,5
2012	4379306,8	9015304,2	265863,2	4431054,1	22385317,7	6122192,8	3791451,6	531726,5
2013	5225607,7	10993047,8	324187,3	5403122,1	27585665,5	7465256,4	4932097	648374,7
2014	6007103,6	12901682,1	380473,4	6341222,7	32096608,9	8761388,7	6014120,3	760946,7
2015	7050721,6	15362607,1	453046,6	7550776,1	41170881,6	10432576	7058333,8	906093,1
2016	8263841,5	18217624,5	537241,6	8954027,3	50138468,3	12371386	8404703,2	1074483,3
2017	9464364,2	21127256,9	623047,3	10384122	56337721,5	14347285	9966678,8	1246094,6
2018	10710179,3	24198074,5	713606,4	11893439,8	63384688,8	16432643	11618710,9	1427212,8
2019	12008653,9	27444549,2	809345,6	13489093,7	70581107,1	18637288	13356407,2	1618691,2
2020	13343671,3	30836540,7	909376,2	15156269,6	77422142,9	20940752	15175589,9	1818752,4
2021	14711820,3	34366952,2	1013489	16891479,5	84117627,9	23338215	17072284,8	2026977,5
2022	16110008	38029032,8	1121484	18691405,1	90662293,3	25825093	19042711,8	2242968,6
2023	17535430,3	41816361	1233173	20552890,4	97055614,7	28397025	21083274,7	2466346,8
2024	18985544,7	45722828,3	1348376	22472933	103300638	31049864	23190553	2696752
2025	20458046,3	49742624,2	1466921	24448677	109403027,6	33779663	25361293	2933841,2
2026	21950845,1	53870221,7	1588644	26477405,9	19462285,5	36582668	27592399,7	3177288,7
2027	23462046,5	58100363,2	1713392	28556535,5	17345780,3	39455310	29880928,8	3426784,3

Tablo 5.9. (Devamı) IPCC 2006 sera gazı envanteri yönergesinde varsayılan (k=0,05) ve (Lo=157) değerlerine göre hesaplanan metan (m³/yıl) sonuçları.

2028	24989932,4	62428047,6	1841017	30683607,8	15459442,9	42394192	32224079,9	3682032,9
2029	26532945,5	66848517,6	1971377	32856284,6	13778243	45396084	34619189	3942754,1
2030	24056065,9	63588276,9	1875232	31253864,7	12279872	43182091	37063722,1	3750463,8
2031	21810405,8	60487040,1	1783776	29729595,7	10944447,4	41076076	35256103,1	3567551,5
2032	19774380,5	57537052,3	1696780	28279666,2	9754249,1	39072772	33536642,6	3393559,9
2033	17928420,4	54730937,2	1614027	26900450,6	8693483,6	37167170	31901041,3	3228054,1
2034	16254782,7	52061677,9	1535310	25588500,1	7748075,4	35354506	30345209,1	3070620
2035	14737380,9	49522599,9	1460432	24340534,3	6905479,5	33630246	28865255,8	2920864,1
2036	13361630,3	47107354,2	1389206	23153432,4	6154515,1	31990080	27457480,7	2778411,9
2037	12114307,4	44809901,4	1321454	22024226,2	5485217,3	30429905	26118363,5	2642907,1
2038	10983423,6	42624496,7	1257006	20950092	4888705,1	28945821	24844555,9	2514011
2039	9958108,9	40545675,5	1195701	19928344	4357063	27534117	23632872,6	2391401,3
2040	9028508,5	38568239,6	1137386	18956427,2	3883236,5	26191262	22480283,8	2274771,3
2041	8185687,4	36687244,3	1081915	18031911,3	3460938,2	24913899	21383907,4	2163829,4
2042	7421544,5	34897986,3	1029149	17152484,6	3084564,4	23698834	20341002	2058298,2
2043	6728735,2	33195991,4	978956,9	16315948,1	2749120,9	22543028	19348959,6	1957913,8
2044	6100600,4	31577003,8	931212,6	15520209,9	2450156,6	21443592	18405299,7	1862425,2
2045	5531102,6	30036975,2	885796,8	14763280,3	2183704,4	20397776	17507662,6	1771593,6
2046	5014768,1	28572054,6	842596	14043266,6	1946228,6	19402964	16653803,9	1685192
2047	4546634	27178579,1	801502,1	13358368,4	1734578	18456671	15841588,3	1603004,2
2048	4122200,8	25853064,1	762412,4	12706873,1	1545944,3	17556528	15068984,9	1524824,8
2049	3737388,8	24592195,3	725229,1	12087151,6	1377824,3	16700286	14334061,8	1450458,2
2050	3388499,5	23392819,8	689859,3	11497654,3	1227987,2	15885804	13634981,4	1379718,5
2051	3072179,3	22251938,5	656214,4	10936907,1	1094444,7	15111044	12969995,5	1312428,8
2052	2785388	21166698,7	624210,5	10403507,8	975424,9	14374070	12337441,3	1248420,9
2053	2525369	20134386,6	593767,4	9896122,7	869348,4	13673038	11735737,2	1187534,7
2054	2289623	19152421	564809	9413483,1	774807,5	13006196	11163378,6	1129618
2055	2075884,2	18218346,4	537262,9	8954382,1	690547,9	12371876	10618934,2	1074525,9
2056	1882098,1	17329827,1	511060,3	8517671,8	615451,5	11768493	10101042,6	1022120,6
2057	1706402,2	16484641,5	486135,6	8102260	548521,7	11194537	9608409	972271,2
2058	1547107,7	15680676	462426,5	7707108,1	488870,5	10648573	9139801,3	924853
2059	1402683,5	14915920,4	439873,7	7331228	435706,3	10129236	8694048	879747,4
2060	1271741,5	14188462,4	418420,8	6973679,8	388323,6	9635226,9	8270034,3	836841,6
2061	1153023	13496482,9	398014,2	6633569,4	346093,8	9165311,4	7866699,9	796028,3
2062	1045387	12838251,7	378602,8	6310046,4	308456,4	8718313,9	7483036,4	757205,6
2063	947799	12212122,8	360138,1	6002301,9	274912,1	8293116,7	7118084,4	720276,2
2064	859320,9	11616530,5	342574	5709566,1	245015,7	7888656,6	6770931,4	685147,9
2065	779102,4	11049985,6	325866,4	5431107,3	218370,4	7503922,3	6440709,2	651732,9
2066	706372,3	10511071,5	309973,7	5166229,1	194622,9	7137951,7	6126592,1	619947,5
2067	640431,7	9998440,5	294856,1	4914269,1	173457,8	6789829,7	5827794,6	589712,3
2068	580646,7	9510810,8	280475,8	4674597,4	154594,4	6458685,8	5543569,7	560951,7



Şekil 5.23. ($k=0,05$ ve $Lo = 157$) değerlerine göre 59 yıllık model sonuçları

IPCC 2006 verilerine göre tablo 5.6. da belediye ve endüstriyel atık türünde bölgenin kuru ortamına göre (k) değerini (0,05) olarak belirlenmiştir ve sekiz model üzerinde hesaplama yapılmıştır. Şekil 5.23. de görüldüğü gibi tabasaran modeli 2009 yılından başlayarak, değerlerde en yüksek seviyeye ulaşıp 2025 yılında $109.403.027,60 \text{ m}^3/\text{yıl}$ metan verisinden sonra ani pik kırılma göstererek azalma eğilimi göstermiştir.

Modellerden Weber, TNO, Landgem, Scholl Canyon ve Afvalzorg grafik değerlerinde yükselişten sonra orta seviyede pik kırılma göstererek sırasıyla “ $66.848.517,6 \text{ m}^3/\text{yıl}$, $62.526.310,85 \text{ m}^3/\text{yıl}$, $37.063.722,11 \text{ m}^3/\text{yıl}$, $32.856.284,56 \text{ m}^3/\text{yıl}$, $26.532.945,48 \text{ m}^3/\text{yıl}$ ” metan verilerinden sonra grafik değerlerinde azalım göstermiştir.

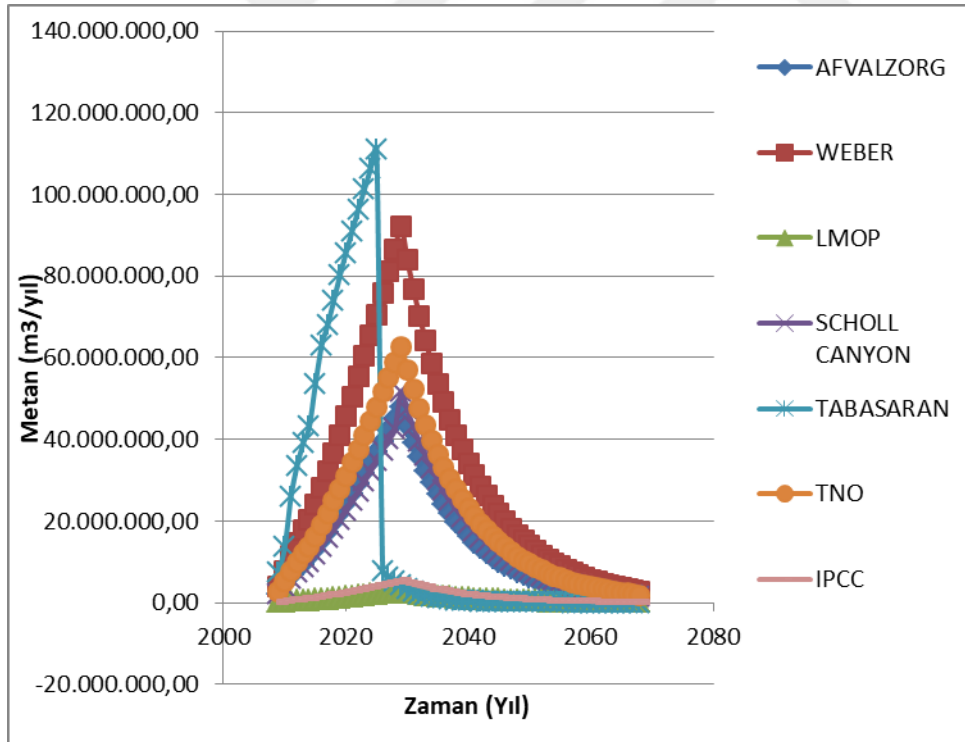
Modellerden IPCC ve LMOP düşük değerlerde metan salınımı göstermiştir. Her iki model 2009 yılından başlayarak yükselişe geçerek 2029 yılında pik kırılma göstererek sırasıyla “ $5.430.553,643 \text{ m}^3/\text{yıl}$ ve $2.715.276,822 \text{ m}^3/\text{yıl}$ ” metan değerlerinden sonra azalım eğrisine geçmiştir (Şekil 5.23.).

Tablo 5.10. IPCC 2006 sera gazı envanteri yönergesinde varsayılan (k=0,09) ve (Lo=157) değerlerine göre hesaplanan metan (m³/yıl) sonuçları.

YILLAR	AFVALZORG	WEBER	LMOP	SCHOLL CANYON	TABASARAN	TNO	IPCC
2009	2182535,3	4038865,3	119107	1985116,7	7449129,4	2742748,4	238214
2010	4202219,1	7805779,8	230194,1	3836568,6	13643571,3	5300818,2	460388,2
2011	6196925,6	11551158,8	340646,1	5677435,7	25858932,8	7844263,4	681292,3
2012	7882752,3	14747168,8	434897,2	7248286	33512868,9	10014638,2	869794,3
2013	9406093,8	17658643,2	520757,2	8679286	39066334,3	11991788,1	1041514,3
2014	10812786,4	20366824	600622	10010366,5	43131682,5	13830883,5	1201244
2015	12691298,9	23958041,5	706527,8	11775462,8	53449968,2	16269639,4	1413055,5
2016	14874914,7	28129285,1	829538,6	13825643,9	62852489,6	19102284,5	1659077,3
2017	17035855,6	32276773,1	951848,9	15864149	67954012,2	21918797,4	1903697,9
2018	19278322,8	36591461,4	1079090	17984833,7	74023449,6	24848854,3	2158180
2019	21615577	41097582,3	1211976,5	20199608,1	80123709	27908910,8	2423953
2020	24018608,3	45741350,1	1348922,2	22482036,6	85672284,8	31062441,8	2697844,4
2021	26481276,6	50510917,7	1489577,8	24826296	91017167,6	34301402,1	2979155,5
2022	28998014,4	55395457,6	1633623,9	27227064,8	96203066,4	37618438,8	3267247,8
2023	31563774,5	60385074,4	1780768,8	29679479,2	101268563,7	41006832	3561537,5
2024	34173980,5	65470724,1	1930745,6	32179094,2	106246192,9	44460440,1	3861491,3
2025	36824483,3	70644141,4	2083310,8	34721847,2	111162822,4	47973650,2	4166621,7
2026	39511521,3	75897772,1	2238241,5	37304025,4	7652464,6	51541332,4	4476483
2027	42231683,7	81224712,5	2395334,1	39922235,6	6220156,8	55158798,3	4790668,3
2028	44981878,4	86618652,8	2554402,6	42573376,4	5055933,2	58821763,1	5108805,2
2029	47759301,9	92073826,4	2715276,8	51600091	4109616,8	62526310,8	5430553,6
2030	43300918,7	84149141,3	2481576,2	47158932,3	3340422	57144745,4	4963152,3
2031	39258730,5	76906524,4	2267989,8	43100018,9	2715196,9	52226364,9	4535979,7
2032	35593884,9	70287271	2072786,6	39390451,4	2206994,9	47731303,6	4145573,3
2033	32271156,8	64237728,9	1894384,4	36000161,9	1793912,8	43623126,8	3788768,7
2034	29258608,9	58708863,7	1731336,9	32901670,7	1458147,1	39868536	3462673,9
2035	26527285,7	53655861,4	1582322,8	30069862,9	1185226,4	36437098,4	3164645,6
2036	24050934,5	49037765	1446134,2	27481785,4	963388,2	33301000,5	2892268,3
2037	21805753,4	44817142,7	1321667,1	25116460,7	783071,3	30434822,9	2643334,2
2038	19770162,4	40959784,4	1207912,8	22954716,7	636504,3	27815333,7	2415825,6
2039	17924596,1	37434424,3	1103949,2	20979031,5	517370,1	25421300,9	2207898,3
2040	16251315,4	34212487,7	1008933,6	19173391,1	420534,2	23233319,7	2017867,2
2041	14734237,3	31267859,5	922095,9	17523160	341823	21233655,4	1844191,7
2042	13358780,1	28576671,9	842732,2	16014962,4	277844,2	19406099,8	1685464,3
2043	12111723,3	26117111,6	770199,2	14636573,6	225840,2	17735839,8	1540398,4
2044	10981080,7	23869242,8	703909,1	13376821	183569,8	16209337,1	1407818,1
2045	9955984,7	21814845,3	643324,5	12225493,9	149211,2	14814218,7	1286648,9
2046	9026582,6	19937267,4	587954,3	11173260,1	121283,4	13539176,4	1175908,6
2047	8183941,3	18221290,5	537349,8	10211590,9	98582,8	12373875,6	1074699,5
2048	7419961,4	16653005,6	491100,7	9332691,4	80131,1	11308870,8	982201,4
2049	6727299,8	15219701,1	448832,2	8529437,7	65133	10335529,7	897664,5
2050	6099299	13909759,5	410201,8	7795319,1	52942,1	9445962,9	820403,6
2051	5529922,8	12712563	374896,2	7124385,2	43033	8632960,1	749792,4
2052	5013698,4	11618407,8	342629,3	6511197,8	34978,5	7889931,4	685258,7

Tablo 5.10. (Devamı) IPCC 2006 sera gazı envanteri yönergesinde varsayılan ($k=0,09$) ve ($Lo=157$) değerlerine göre hesaplanan metan ($m^3/yıl$) sonuçları.

2053	4545664,2	10618425,2	313139,6	5950786,7	28431,6	7210854,4	626279,3
2054	4121321,4	9704509,9	286188,1	5438609,6	23110,1	6590224,7	572376,1
2055	3736591,6	8869254,2	261556,2	4970514,9	18784,6	6023011,9	523112,4
2056	3387776,7	8105888	239044,4	4542708,6	15268,7	5504618,4	478088,7
2057	3071524	7408223,9	218470,1	4151723	12410,8	5030842,4	436940,2
2058	2784793,9	6770606,8	199666,6	3794389,2	10087,9	4597843,7	399333,3
2059	2524830,3	6187868,7	182481,6	3467810,6	8199,8	4202112,8	364963,1
2060	2289134,6	5655286,2	166775,6	3169340,2	6665	3840441,9	333551,2
2061	2075441,4	5168542,4	152421,4	2896558,9	5417,5	3509899,6	304842,8
2062	1881696,7	4723692,1	139302,7	2647255,5	4403,5	3207806,7	278605,4
2063	1706038,2	4317129,5	127313,1	2419409,3	3579,3	2931714,6	254626,1
2064	1546777,7	3945559,3	116355,4	2211173,6	2909,4	2679385,4	232710,8
2065	1402384,3	3605969,7	106340,8	2020860,6	2364,8	2448773,9	212681,6
2066	1271470,2	3295608,1	97188,2	1846927,5	1922,2	2238010,8	194376,4
2067	1152777	3011959,1	88823,3	1687964,6	1562,4	2045387,9	177646,6
2068	1045164	2752723,3	81178,4	1542683,5	1270	1869343,8	162356,8



Şekil 5.24. ($k=0,09$ ve $Lo = 157$) değerlerine göre 59 yıllık model sonuçları

IPCC 2006 verilerine göre tablo 5.4. de belediye ve endüstriyel atık türünde bölgenin ıslak ortamına göre (k) değerini ($0,09$) olarak belirlenmiştir ve yedi model üzerinde hesaplama yapılmıştır. ($k=0,09$) metan üretim sabitine göre modellerde oluşan grafik

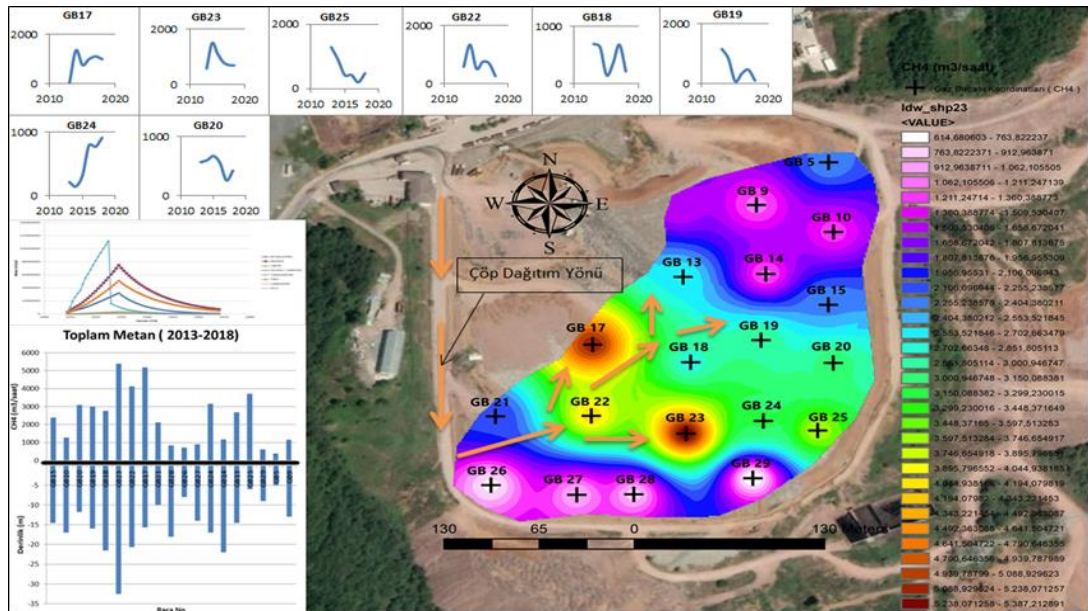
değerleri (Şekil 5.24.), şekil 5.23. deki grafik değerleri ile benzerlik göstermektedir. Tabasaran modeli 2009 yılından başlayarak 2025 yılına kadar en yüksek seviyeye çıkmış 111.162.822,4 m³/yıl metan değerinden sonra pik kırılma göstererek ani düşüşe geçmiştir (Şekil 5.24.).

Modellerden Scholl Canyon ve Afvalzorg 2029 yılı için birbirlerine yakın pik kırılma değerleri göstermiştir bu değerler sırasıyla “51.600.091,01 m³/yıl ve 47.759.301,87 m³/yıl”dır.

Modellerden LMOP modeli 2009 yılından başlayarak 2029 yılına kadar yüksek seviyeye çıkmış 2.715.276,822 m³/yıl metan değerinden sonra diğer modellere nazaran en düşük pik kırılma seviyesi göstererek grafik çizgisinde azalışa geçmiştir.

Tüm modeller “Afvalzorg – Weber – LMOP - Scholl Canyon – Tabasaran – TNO – IPCC” 59 yıllık zaman diliminde toplam metan salınım değerleri sırasıyla (936.423.048,90 – 1.870.650.180,00 – 55.165.873,66 – 991.142.396,00 – 1.133.515.946 – 1.270.337.719 – 110.331.747,3) m³/yıl’dır. 59 yılın en yüksek toplam metan salınımı 1.870.650.180,00 m³/yıl ile Weber modelidir.

Model hesaplamalarında Metan üretim sabit (k) değeri değiştikçe metan salınım değeri değişmektedir. Bundan dolayı metan üretim sabiti(k) metan oluşum miktarını etkileyen en önemli etmenlerden biridir.



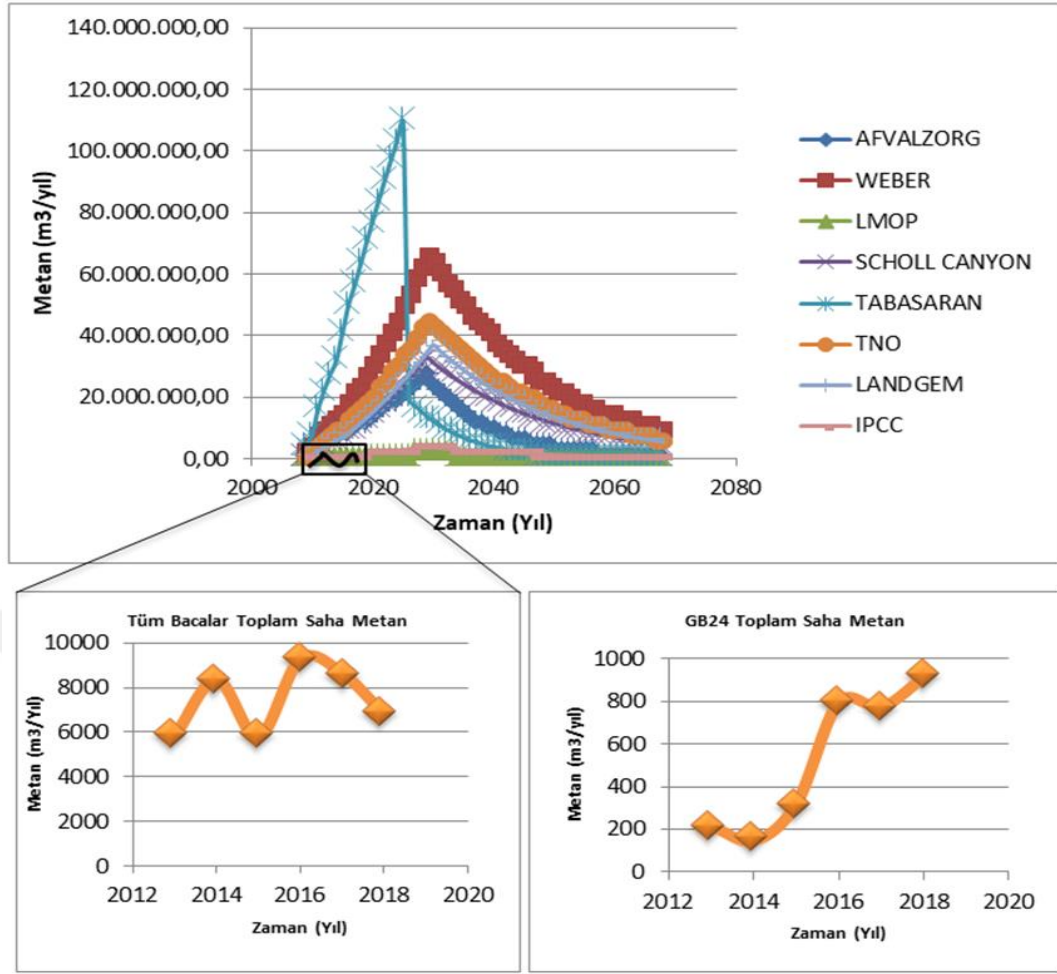
Şekil 5.25. Model sonuçları, gaz bacası konumları ve 6 yıllık Metan(CH₄) gazı emsiyon verileri ve mekansal dağılımı ve sahaya gelen çöplerin dağıtım yönleri

Yukarıdaki şekil 5.25. incelendiğinde; IPCC 2006 sera gazı envanter yönergesinde belirlenen ($k=0,06$ ve $Lo=157$) göre model sonuçları ve sahada yerleşmiş gaz bacalarının konumları, kahve ve sarı renklerin içinde kalan bacaların altı yıllık metan gazı emisyon değerleri ek olarak bacaların derinliklerine karşılık altı yıllık toplam metan gazın değerleri ayrıca bu metan gazı değerlerinin çöp sahası üzerindeki mekansal dağılımını son olarak sahaya gelen çöp kamyonlarının dağıtım yönleri görülmektedir.

2013 ile 2018 yılları arasında katı atık düzenli depolama sahasın da 19 adet gaz bacasından ölçülen altı yıllık toplam metan($m^3/saat$) emisyon değerlerine göre 19 adet gaz bacaları arasından GB23 ve GB22 numaralı gaz bacaların grafiklerinde önce yükselme olmuş sonra tekrar düşüşe geçmişler, diğer “GB25-GB22-GB18-GB19-GB20” numaralı gaz bacaların grafiklerinde kısmi olarak yükselme olsada genelde metan salınımında düşüş gözlemlenmiştir. GB25 numaralı gaz bacasının 6 m kısa derinliğine rağmen $3.713,19 m^3/saat$ yüksek metan salınımı değerine göre çok iyi metan salınımı performansı göstermiştir. GB17 numaralı gaz bacası en fazla ikinci olarak metan salınımı değeri veren gaz bacasıdır, grafik değerlerinde hızlı yükselişten sonra kısmi düşüş olsada metan salınım potansiyelini belli seviyede korumuştur.

Sahada gaz bacalarının gaz emsiyon salınım performansları farklılık göstermiştir. Sahanın işletmesi, bölgenin iklim koşulları, çöp atığının karakteristiği, sızıntı suyu faktörü ve çöp katmanların derinliği gibi etmenler bu farkları oluşturmaktadır.

Şekil 5.25. de sahaya gelen çöp kamyonların çöp sahasının içindeki yönleri görülmektedir, bu kamyonların çöplerini bıraktığı noktalar en çok GB22, GB23 diğer kahverenkli kısım olan GB17 numaralı gaz bacaları ve çevresindeki bölgelerdir. Ayrıca bu bölgeler çöp katmanının en derin olan bölgeleridir. GB23 numaralı gaz bacası 32,5 m derinliği ile en derin gaz bacası ayrıca $5388 m^3/saat$ toplam metan gazı değeri ile en yüksek metan gazı salınım değeri göstermiş verimli bacadır. Özetle; Gaz bacalarında gaz oluşumunu etkileyen olumsuz faktörleri en aza indirdiğimizde sahadan elde edeceğimiz ölçüm değerlerin teorik olarak elde edeceğimiz değerleri doğrular nitelikte olacaktır.



Şekil 5.26. Model değerleri ile saha değerlerin karşılaştırması

Şekil 5.26. da model değerleri ile saha değerleri görülmektedir. Tüm bacaların toplam değeri grafiğin de dalgalanma göstermektedir ve model değerleri ile uyumlu değildir bunun sebebi bacaların farklı karakteristiğidir. Ancak GB24 numaralı gaz bacasında kısmi olarak bir düşüş olsa da metan salınımında daima artma olmuştur ve bu özelliğinden dolayı model sonuçlarının (2013 ile 2018) arasındaki teorik metan değerleri ile paralellik göstermektedir.

5.6. Sahadaki Sızıntısu Verileri ve Bölgenin İklim Değerleri ile Excel Regresyon da Hesaplanan ($k=0,45$) ve ($Lo=157$) Verilerine Göre Model Sonuçları

Sakarya ili katı atık düzenli depolama sahasındaki sızıntı suyu havuzundan uzmanlar tarafından alınan sızıntı suyu numuneler ile 2014 ile 2017 yılları arasında her ay periyodik olarak laboratuvar ortamında KOİ, BOİ ve pH değerleri ölçülmüştür. Ayrıca bölgenin iklim özelliklerini belirlemek için Sakarya ili meteoroloji istasyon müdürlüğünden sıcaklık, yağış ve nem gibi meteorolojik veriler alınmıştır. (Tablo

5.13) “KOİ-BOİ-pH-Sıcaklık-Yağış-Nem” gibi etmenler katı atık sahasında metan oluşumunu etkileyen faktörlerdir.

Tablo 5.11. Sahanın sızıntı suyu verileri (KOİ-BOİ-pH) ve bölgenin iklim verileri (Ort. sıcaklık, toplam yağış, Ort. nem) ve Ort. metan salınımı [117]

Yıllar	Aylar	KOİ (mg/L)	BOİ (mg/L)	pH	Ort. Sıcaklık (°C)	Top. Yağış(mm)	Ort. Nem (%)	Ort. Metan (m ³ /saat)
2014	Ocak	8300	6000	7,6	9,8	22,2	72	38,21
	Şubat	9200	6100	7	9,4	33,8	75,5	44,91
	Mart	8000	5200	7,7	11,4	93,4	72,2	51,37
	Nisan	6450	4200	7,7	14,8	25	72,3	50,23
	Mayıs	7900	5000	7,7	18,9	111	72,5	48,59
	Haziran	9400	6100	7,5	22,2	121	74,7	53,05
	Temmuz	7340	5700	7,5	24,8	66	75,9	50,17
	Ağustos	8500	5500	7,6	25,3	70,7	77,3	52,01
	Eylül	8000	5350	7,6	20,9	169	80,2	35,06
	Ekim	8300	6000	7,6	16,9	69,4	81,7	35,92
	Kasım	8800	5900	7,5	12,1	88,9	82,1	30,83
	Aralık	8400	6000	7,4	10,2	127	81,2	31,87
2015	Ocak	6200	3900	7,4	6,6	188	75,1	24,65
	Şubat	7150	4600	7,2	8	171	77,7	25,8
	Mart	5200	2600	7,3	9,3	46,7	78,3	26,79
	Nisan	6600	3100	7,4	12,1	118	69,1	35,14
	Mayıs	7370	2500	7,5	19	63,8	73,1	40,45
	Haziran	7500	2800	7,4	21,1	284	80,5	35,82
	Temmuz	8070	5550	7,5	24,2	39,2	75,2	39,01
	Ağustos	8875	5625	7,5	25,4	34,3	75,4	33,14
	Eylül	9425	5900	7,6	23,5	103	79,2	28,22
	Ekim	10000	5950	7,4	16,6	165	87,3	23,92
	Kasım	8925	5525	7,5	14	23,7	75,8	24,17
	Aralık	8575	5500	7,4	7,1	33,6	78	24
2016	Ocak	9300	5800	7,4	6,1	156	77,4	30,14
	Şubat	9000	5600	7,3	11,7	133	73,6	28,54
	Mart	12300	6300	7,4	11,6	89,3	70,7	28,33
	Nisan	10900	6000	7,3	16,6	53,6	65,6	33,37
	Mayıs	9450	5850	7,4	18	98	74,3	39,11
	Haziran	9700	5720	7,3	23,6	97,6	71,7	41,34
	Temmuz	8800	5400	7,6	24,7	29,4	74,4	49,19
	Ağustos	9250	5750	7,4	25,5	67,2	78,9	50,52
	Eylül	10850	6450	7,5	21	44,7	75,6	51,23
	Ekim	11700	5900	7,4	15,5	42,9	83,1	45,99
	Kasım	9050	5150	7,5	11,2	84,1	81,5	48,21
	Aralık	8750	5000	7,4	3,9	207	83,8	43,43
2017	Ocak	9850	5600	7,5	4	85,1	79	40,42
	Şubat	8450	5400	7,4	8	20,2	69,9	32,61
	Mart	7450	4500	7,5	10,1	41,4	76,4	40,34
	Nisan	11400	6400	7,4	12,3	75,2	72,2	39,82
	Mayıs	10800	6200	7,5	17,2	67,4	78,2	37,12
	Haziran	9350	4900	7,4	22,5	117	77	35,82
	Temmuz	9350	4900	7,4	24,7	50,2	74,2	37,55
	Ağustos	9260	5120	7,5	24,6	64,9	79	36,71
	Eylül	9300	5200	7,4	22	34,7	75	32,96
	Ekim	9150	4850	7,5	15,2	97	80	35,25
	Kasım	8800	4500	7,4	11,7	41,2	80,9	45,61
	Aralık	9200	4900	7,4	11,2	119	69,8	40,85

Yukarıdaki tablo 5.11. deki değerleri kullanılarak excel programındaki veri çözümleme modulündeki regreyyon hesaplamasından metan üretim sabiti ($k=0,45$) olarak belirlenmiştir.

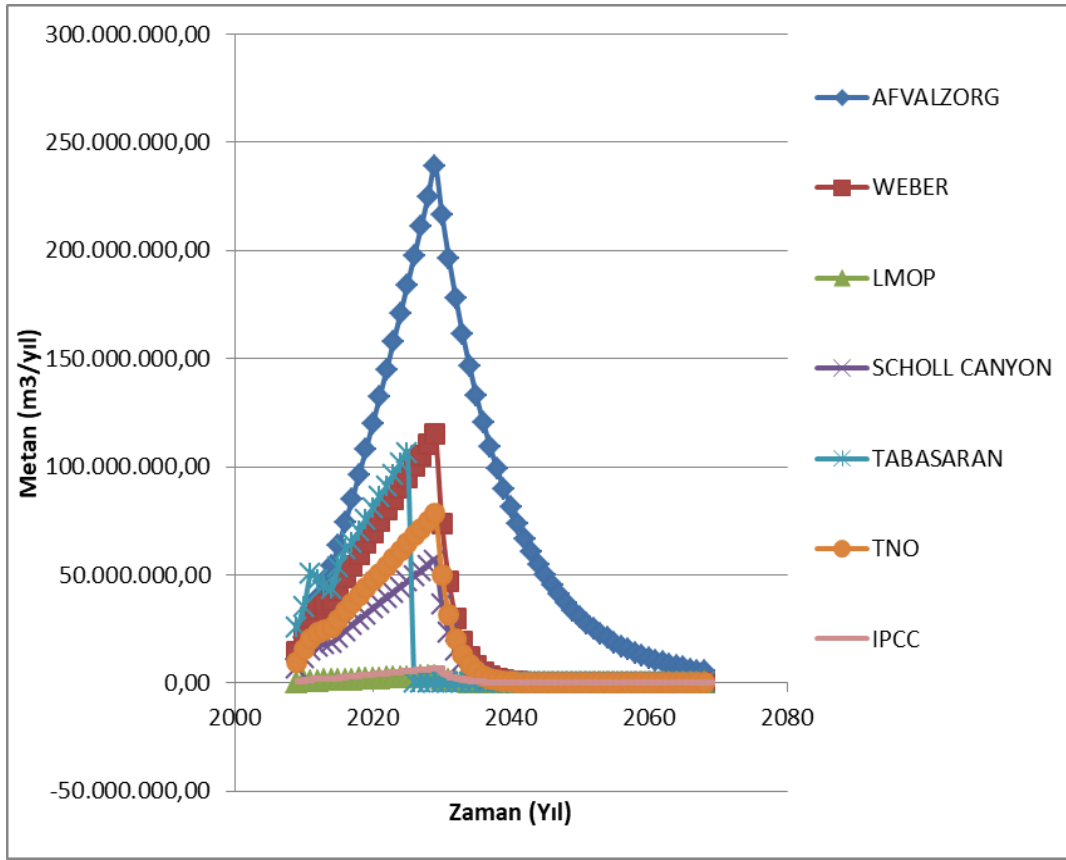
Hesaplanan $k=0,45$ değeri ve EPA'ya göre $Lo=157$ alınarak hesaplanan model sonuçları tablo 5.12. de gösterilmiştir.

Tablo 5.12. Saha verilerinden belirlenen ($k=0,45$) ve EPA'ya göre belirlenen ($Lo=157$) sabit değerlere göre hesaplanan model sonuçları

YILLAR	AFVALZORG	WEBER	LMOP	SCHOLL CANYON	TABASARAN	TNO	IPCC
2009	10912676,44	14089103,4	415490,67	6924844,49	25677682,47	9567753,29	830981,34
2010	21011095,53	23336676,7	688203,586	11470059,8	35269548,72	15847677,5	1376407,2
2011	30984627,94	30289047,7	893230,492	14887174,9	50561449,01	20568955,2	1786461
2012	39413761,3	33930181,8	1000608,31	16676805,2	47421398,98	23041608,9	2001216,6
2013	47030469,21	36218875,8	1068102,39	17801706,5	44563820,77	24595835,5	2136204,8
2014	54063932,18	37843189,4	1116003,74	18600062,4	43276217,03	25698888,8	2232007,5
2015	63456494,75	42772373,3	1261366,43	21022773,9	53362856,43	29046242,7	2522732,9
2016	74374573,52	49016942,2	1445520,1	24092001,7	61733108,09	33286859,9	2891040,2
2017	85179277,84	54168164,3	1597430,74	26623845,7	64863606,75	36784997,6	3194861,5
2018	96391613,82	59281232,4	1748216,22	29136936,9	69950133,93	40257225,2	3496432,4
2019	108077884,8	64504704,3	1902257,52	31704292	75461792,17	43804426,8	3804515
2020	120093041,7	69668423,6	2054536,7	34242278,4	80625432,69	47311051,2	4109073,4
2021	132406382,8	74794042,9	2205692,31	36761538,6	85797481,65	50791802,2	4411384,6
2022	144990072,2	79895368,7	2356131,5	39268858,4	90973082,16	54256055,8	4712263
2023	157818872,5	84981204,2	2506113,88	41768564,6	96150159,99	57709790	5012227,8
2024	170869902,5	90057162,6	2655804,98	44263416,3	101327844,6	61156816,9	5311610
2025	184122416,6	95126823,2	2805310,35	46755172,5	106505775,7	64599567	5610620,7
2026	197557606,3	100192468	2954697,3	49244955	45,09868392	68039590,1	5909394,6
2027	211158418,4	105255552	3104008,74	51733479	16,00161695	71477874,3	6208017,5
2028	224909392	110317004	3253272,03	54221200,5	5,67758777	74915049,8	6506544,1
2029	238796509,3	115377415	3402504,62	56708410,4	2,014484406	78351518,3	6805009,3
2030	216504593,4	73567887,7	2169532,73	36158878,9	0,714765899	49959133,8	4339065,5
2031	196293652,3	46908956,2	1383355,15	23055919,1	0,253608495	31855350,2	2766710,3
2032	177969424,7	29910471,1	882066,185	14701103,1	0,089983746	20311868	1764132,4
2033	161355783,8	19071758,4	562430,231	9373837,19	0,031927451	12951418,9	1124860,5
2034	146293044,5	12160690	358621,349	5977022,48	0,011328198	8258189,28	717242,7
2035	132636428,4	7753998,32	228667,068	3811117,8	0,004019417	5265653,96	457334,14
2036	120254672,4	4944167,61	145804,56	2430076	0,001426056	3357529,2	291609,12
2037	109028766,9	3152540,46	92969,0919	1549484,87	0,00050617	2140855,14	185938,18
2038	98850811,99	2010148,54	59279,7103	987995,171	0,000179492	1365069,51	118559,42
2039	89622980,32	1281727,3	37798,4121	629973,535	6,37174E-05	870406,746	75596,824
2040	81256576,86	817265,41	24101,3316	401688,861	2,26498E-05	554995,845	48202,663
2041	73671186,33	521111,433	15367,6875	256128,126	8,0094E-06	353880,975	30735,375
2042	66793900,33	332275,32	9798,8702	163314,503	2,6301E-06	225644,472	19597,74
2043	60558616,51	211868,098	6248,03549	104133,925	5,96E-08	143877,267	12496,071
2044	54905403,27	135093,064	3983,92332	66398,7221	8,568E-07	91740,1961	7967,8467
2045	49779923,69	86139,1404	2540,26166	42337,6944	6,71E-08	58496,1317	5080,5233
2046	45132913,24	54924,7409	1619,74235	26995,7058	4,843E-07	37298,7803	3239,4847
2047	40919706,31	35021,561	1032,79332	17213,222	0	23782,7523	2065,5866
2048	37099806,87	22330,7332	658,538096	10975,6349	0	15164,5524	1317,0762
2049	33636499,23	14238,7041	419,902429	6998,37382	0	9669,34553	839,80486
2050	30496495,15	9078,99861	267,74161	4462,36016	0	6165,44692	535,48322
2051	27649613,9	5789,0251	170,719588	2845,32646	0	3931,26252	341,43918
2052	25068492,13	3691,24537	108,855615	1814,26025	0	2506,68366	217,71123
2053	22728320,91	2353,64197	69,4094047	1156,82341	0	1598,33207	138,81881
2054	20606607,23	1500,74838	44,2573904	737,623173	0	1019,14152	88,514781
2055	18682957,86	956,919413	28,219758	470,329301	0	649,833324	56,439516
2056	16938883,26	610,158757	17,9937122	299,895203	0	414,352021	35,987424
2057	15357619,94	389,0544	11,4732974	191,221624	0	264,202513	22,946595

Tablo 5.12. (Devamı) Saha verilerinden belirlenen ($k=0,45$) ve EPA'ya göre belirlenen ($Lo=157$) sabit değerlere göre hesaplanan model sonuçları

2058	13923969,28	248,072038	7,31569743	121,928291	0	168,46296	14,631395
2059	12624151,49	158,177715	4,66469463	77,7449105	0	107,416726	9,3293893
2060	11445673,11	100,858564	2,97434061	49,5723436	0	68,4919285	5,9486812
2061	10377206,97	64,3102598	1,89652331	31,6087218	0	43,6723817	3,7930466
2062	9408483,327	41,0060321	1,20927665	20,1546109	0	27,84674	2,4185533
2063	8530191,095	26,1466004	0,77106884	12,8511473	0	17,7558654	1,5421377
2064	7733888,405	16,6718085	0,4916552	8,19425328	0	11,3216396	0,9833104
2065	7011921,444	10,6304144	0,31349319	5,22488657	0	7,21899615	0,6269864
2066	6357350,89	6,77825151	0,19989209	3,33153477	0	4,60303517	0,3997842
2067	5763885,216	4,32200398	0,12745682	2,12428036	0	2,93502481	0,2549136
2068	5225820,212	2,75583141	0,08127006	1,35450096	0	1,87145444	0,1625401



Şekil 5.27. ($k=0,45$ ve $Lo = 157$) değerlerine göre 59 yıllık model sonuçları

Sahadaki verileri kullanarak excel regresyon hesaplamasından metan üretim sabiti $k=0,45$ olarak elde edilmiştir ve $Lo=157$ verisini kullanarak saha için model sonuçları teorik olarak metan salınım değerlerine ulaşılmıştır.

Modellerden Afvalzorg modelinde 2009 yılından başlayarak 2029 yılına kadar hızlı yükseliş 2029 yılından sonra pik kırılma görülerek değerlerde hızlı düşüş görülmektedir. Diğer modellerde ise 2029 ve yakın yıllara kadar hızlı yükselişten

sonra pik kırılmalar görülerek değerlerde dike yakın çok keskin düşüşler görülmektedir.(Şekil 5.27.)

Modellerden afvalzorg modeli; Metan salınım değerlerinde hızlı yükselişten sonra 2029 yılında 238.796.509,3 m³/yıl değeri ile zirve değere ulaşmış ve bu yıldan itibaren düşüşe geçmiştir.

Modellerde Tabasaran modeli; Değerlerde belirli bir yükselişten sonra 2011 ile 2013 yılları arasında grafik çizgisi düşüş eğilimine geçmiş 2013 yılından sonra yükseliş trendine girerek 2025 yılında keskin bir düşüş göstererek 2047 yılından başlayarak 2068 yılına kadar yatay bir metan değeri göstermiştir.

Modellerden Weber, TNO, Scholl Canyon, Tabasaran orta seviyede pik kırılma görülmüştür.

Tüm modellerin “ Afvalzorg-Weber-LMOP-Scholl Canyon- Tabasaran-TNO-IPCC” 59 yıllık için toplam metan salınımı sırasıyla “4.682.115.245,00 – 1.574.133.619,00 – 46.421.536,92 – 773.692.281,90 – 1.133.521.461,00 – 1.068.976.623,00 – 92.843.073,83 “ m³/yıl olarak hesaplanmıştır.

Modellerden Afvalzorg modeli 59 yıl için 4.682.115.245,00 m³/yıl ile en fazla teorik metan salınımı gösteren model olmuştur. Ayrıca modellerden LMOP modeli 59 yıl için 46.421.536,92 m³/yıl ile en düşük teorik metan salınımı gösteren model olmuştur.

5.7. Reaktörlerdeki Sızıntı suyu Verileri ile Excel Regresyon da Hesaplanan (k=0,60) ve (Lo=157) Verilerine Göre Model Sonuçları

Reaktörlerden iki haftada bir peryoduna göre toplam da 38 adet ölçüm alınmıştır ve reaktörlerin işletmesi 19 ay sürmüştür. Reaktörlerden Sıcaklık, pH, İletkenlik, KOİ, Metan ve Gaz miktarları elde edilmiştir. Söz konusu bu değerler kullanılarak excel de regresyon analizi yapılmıştır. Regresyon analizinde kullanılan değerler tablo 5.13. ve tablo 5.14. de gösterilmiştir.

Tablo 5.13. Reaktör 1'in regresyon analizinde kullanılan değerler

İki Hafta	Sıcaklık (°C)	Sızıntı Suyu(ml)	pH	İletkenlik (ms/cm)	KOİ (mg/L)	Organik Atık(%)	Metan (%CH ₄)
1	19,4	0	6,38	2303,58	7102	0,4	0
2	21,2	1500	6,23	2403,33	7922	0,4	0
3	22,6	100	6,43	2203,83	6281	0,4	0
4	21,9	0	6,57	2315,49	6742	0,4	0
5	23,1	700	6,3	2556,66	5820	0,4	0
6	24	0	6,08	2074,33	5556	0,4	0
7	23	1100	6,3	1901	6084	0,4	0
8	23,3	400	6,38	2506,66	5755	0,4	0
9	24,9	600	6,36	2466,66	7071	0,4	0
10	23,9	0	6,41	2393,33	5689	0,4	0
11	22,6	555	6,4	2393,33	5423	0,4	0
12	23,9	600	6,47	2413,33	5890	0,4	0
13	24,4	865	6,49	2290	4288	0,4	0
14	23,3	980	6,51	2286,66	4328	0,4	0
15	25,9	750	6,58	2293,33	3030	0,4	0
16	24,3	930	6,59	1998,66	3564	0,4	0
17	22,1	822	6,62	2175,33	3361	0,4	0
18	33,2	710	6,68	2034,33	3177	0,4	0
19	34,5	760	6,7	1886,66	3102	0,4	0
20	35,2	460	6,3	2027,66	2978	0,4	0,4482
21	26	700	6,34	1900,33	3184	0,4	0,5712
22	29,1	1540	6,44	1315	2782	0,4	0,6942
23	27,9	790	6,49	1349,33	2486	0,4	0,7167
24	37,3	720	6,54	1472,66	2391	0,4	1,9955
25	37,3	600	6,57	1196,66	1744	0,4	0,8401
26	27,9	465	6,6	1683,33	1954	0,4	0,954
27	31,6	260	6,58	1814,66	2643	0,4	0,8219
28	37,5	160	6,66	1560	5110	0,4	0,7525
29	39,2	0	6,21	1167	10734	0,4	0,5671
30	41,6	65	6,26	1172	7999	0,4	0,5328
31	37,6	40	6,27	1240	8377	0,4	0,5497
32	36,8	130	6,27	1268,66	8250	0,4	0,5581
33	40	55	6,29	1261,33	7450	0,4	0,458
34	33,8	30	6,27	1063	7345	0,4	0,3503
35	43,9	40	6,3	985	7265	0,4	0,0893
36	40,2	80	6,4	810	3666	0,4	0,2444
37	39,8	30	6,42	711	4838	0,4	0
38	42,2	0	7,49	560	5138	0,4	0

Tablo 5.14. Reaktör 2'nin regresyon analizinde kullanılan değerler

İki Hafta	Sıcaklık (°C)	Sızıntı suyu(ml)	Döngü(ml)	pH	İletkenlik (ms/cm)	KOİ (mg/L)	Organik Atık(%)	Metan (%CH ₄)
1	19,1	0	0	6,27	2727,49	8345	0,4	0
2	21,2	1000	1000	6,33	2671,66	8204	0,4	0
3	22,5	0	0	6,48	2443,33	8122	0,4	0
4	21,9	0	0	6,64	1356,66	8286	0,4	0
5	22,5	500	945	6,32	3530	7958	0,4	0
6	23,3	0	1000	6,36	2900	8127	0,4	0
7	22,7	500	1000	6,29	2783,33	7899	0,4	0
8	22,6	500	1000	6,23	3356,66	7789	0,4	0
9	24,1	500	1000	6,31	3190	8921	0,4	0
10	23,3	0	760	6,28	3170	8614	0,4	0
11	22,2	780	1000	6,37	3026,66	7184	0,4	0
12	23,6	1080	1000	6,43	2946,66	6387	0,4	0
13	24	990	1000	6,51	2660	6485	0,4	0
14	22,9	460	790	6,51	2346,66	5476	0,4	0
15	25,6	1710	660	6,61	1829	5081	0,4	0
16	24,1	800	755	6,69	1658,33	3391	0,4	0
17	22,5	810	630	6,75	1924,66	3084	0,4	0
18	32,5	690	650	6,62	2040,66	3199	0,4	0
19	33,5	860	890	6,83	1661	4041	0,4	0
20	34,6	790	700	6,5	1576,66	2893	0,4	0
21	25,2	700	700	6,39	1665,66	2476	0,4	0
22	28,1	800	800	6,51	1346,66	3097	0,4	0,2437
23	27,5	800	710	6,5	1466,66	2976	0,4	0,3323
24	36,1	800	450	6,53	1735	2855	0,4	2,0042
25	36,1	280	300	6,55	1462,66	2642	0,4	0,3709
26	27,5	215	390	6,62	1746	2219	0,4	0,9912
27	31,9	210	200	6,57	1973,33	2751	0,4	0,8107
28	36,7	140	200	6,47	1200	4245	0,4	0,6486
29	38,8	50	150	6,34	1250	7802	0,4	0,5497
30	40,8	110	100	6,35	1300	8394	0,4	0,4435
31	36,3	90	150	6,31	1400	8987	0,4	0,487
32	35,3	30	150	6,3	1450	8577	0,4	0,4049
33	38,5	75	150	6,33	1000	8167	0,4	0,3229
34	32,8	60	150	6,37	606,33	8725	0,4	0,2566
35	42,6	40	150	6,35	644	6700	0,4	0,2898
36	41,5	75	110	6,47	540,6	3013	0,4	0
37	40,3	60	0	7,33	500	3236	0,4	0
38	41,6	0	0	6,91	627,33	5271	0,4	0

Regresyon analizinde organik atık %40 olarak alınmıştır ve her iki reaktör için ayrı regresyon hesaplaması yapılmıştır. Hesaplama sonucunda metan üretim sabiti için ortak (0,60) katsayı değeri bulunmuştur ve model hesaplamalarında her iki reaktör için bu katsayı değeri ortak olarak kullanılmıştır.

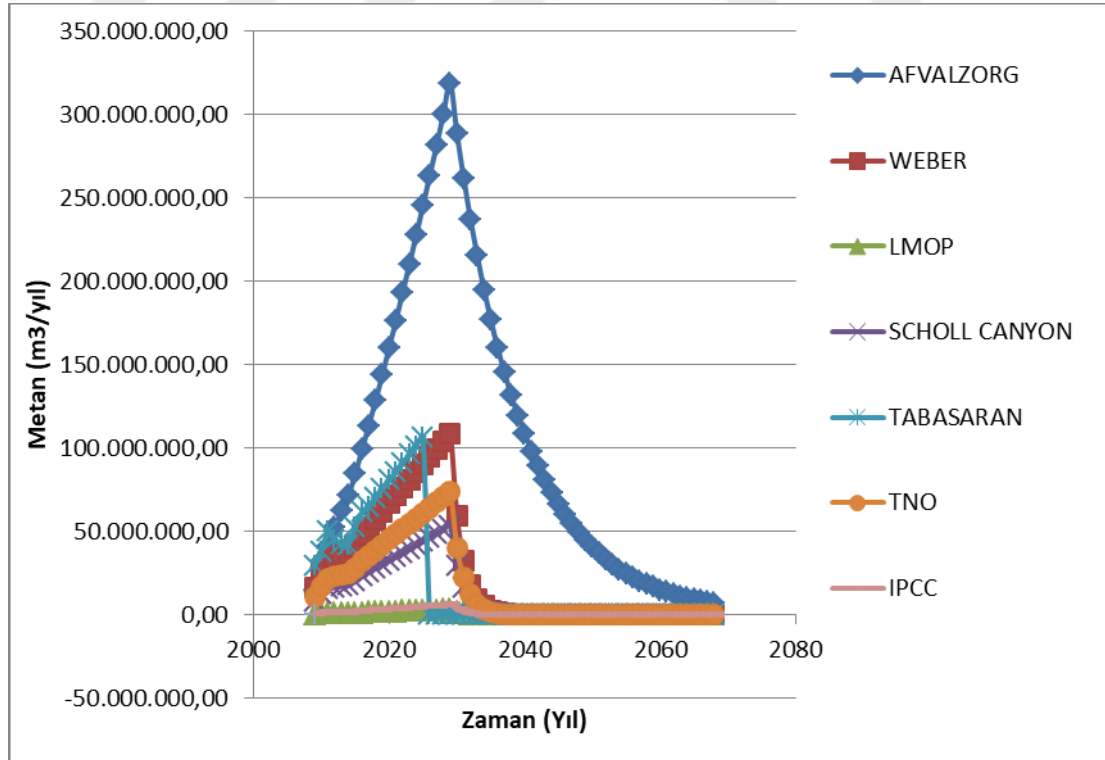
Hesaplanan $k=0,60$ değeri ve EPA'ya göre belirlenen $Lo=157$ verilerine göre model sonuçları tablo 5.15. de gösterilmiştir.

Tablo 5.15. Reaktör verilerinden belirlenen ($k=0,60$) ve EPA'ya göre belirlenen ($Lo=157$) sabit değerlere göre hesaplanan model sonuçları

YILLAR	AFVALZORG	WEBER	LMOP	SCHOLL CANYON	TABASARAN	TNO	IPCC
2009	14550235,3	16168804,8	476821,5	7947025,2	29801827,77	10980055,4	953643,02
2010	28014794	25345361,5	747440,1	12457335	37846056,51	17211752,9	1494880,3
2011	41312837,3	31593276,3	931692,5	15528208	50287201,79	21454642,4	1863384,9
2012	52551681,7	34113419,4	1006012	16766867	45080172,77	23166043,5	2012024,1
2013	62707292,3	35458637,1	1045683	17428046	42639342,23	24079565,9	2091365,6
2014	72085242,9	36386238,6	1073038	17883966	42147622,52	24709489,7	2146075,9
2015	84608659,7	41363511,4	1219819	20330313	52811412,99	28089500,2	2439637,6
2016	99166098	47654505,6	1405342	23422359	61469649,83	32361644,4	2810683,1
2017	113572370	52449217,7	1546739	25778977	64740874,39	35617680	3093477,3
2018	128522152	57179021,9	1686222	28103693	69895784,4	38829637,5	3372443,2
2019	144103846	62027823,7	1829214	30486896	75438408,06	42122404,8	3658427,6
2020	160124056	66792572,2	1969727	32828787	80615573,45	45358092,5	3939454,5
2021	176541844	71511191,3	2108880	35148005	85793395,34	48562454,2	4217760,6
2022	193320096	76204493,9	2247287	37454780	90971411,62	51749623,8	4494573,6
2023	210425163	80883902,7	2385284	39754726	96149484,68	54927358,2	4770567,2
2024	227826537	85555686,3	2523055	42050925	101327574,1	58099914,5	5046111
2025	245496556	90223285,2	2660704	44345066	106505668,3	61269628,9	5321407,9
2026	263410142	94888587,4	2798285	46638079	0,207601838	64437783,7	5596569,4
2027	281544558	99552629,1	2935828	48930472	0,052147239	67605082,6	5871656,6
2028	299879189	104215979	3073352	51222525	0,013098881	70771911,7	6146703
2029	318395346	108878950	3210863	53514392	0,003290035	73938483	6421727
2030	288672791	59754034,5	1762159	29369321	0,000826597	40578299,8	3524318,5
2031	261724870	32793709,4	967093,5	16118225	0,00020767	22269843,1	1934187
2032	237292566	17997569,3	530752,2	8845869,4	5,21E-05	12221949	1061504,3
2033	215141045	9877275,46	291283	4854716,1	1,31E-05	6707547,85	582565,93
2034	195057393	5420763,71	159859,5	2664324,7	3,12E-06	3681180,31	319718,96
2035	176848571	2974978,2	87732,74	1462212,4	5,96E-08	2020274,59	175465,49
2036	160339563	1632702,65	48148,75	802479,17	0	1108750,2	96297,5
2037	145371689	896046,214	26424,59	440409,91	2,46E-07	608495,012	52849,189
2038	131801083	491760,589	14502,12	241702,08	0	333949,143	29004,25
2039	119497307	269883,933	7958,935	132648,91	0	183275,176	15917,87
2040	108342102	148115,443	4367,956	72799,268	0	100583,549	8735,9121
2041	98228248,4	81287,4786	2397,185	39953,085	0	55201,4221	4794,3702
2042	89058533,8	44611,5141	1315,603	21926,718	0	30295,1828	2631,2062
2043	80744822	24483,3181	722,0183	12033,638	0	16626,3488	1444,0366
2044	73207204,4	13436,7298	396,252	6604,2006	0	9124,7337	792,50407
2045	66373231,6	7374,23369	217,4677	3624,4621	0	5007,76003	434,93546
2046	60177217,7	4047,06525	119,3488	1989,147	0	2748,31698	238,69764
2047	54559608,4	2221,0765	65,50002	1091,667	0	1508,30834	131,00004
2048	49466409,2	1218,95263	35,94717	599,11956	0	827,777166	71,894347

Tablo 5.15. (Devamı) Reaktör verilerinden belirlenen ($k=0,60$) ve EPA'ya göre belirlenen ($Lo=157$) sabit değerlere göre hesaplanan model sonuçları

2049	44848665,6	668,975387	19,72823	328,80379	0	454,293741	39,456454
2050	40661993,5	367,141477	10,82708	180,45134	0	249,321691	21,654161
2051	36866151,9	201,491514	5,942028	99,033797	0	136,830645	11,884056
2052	33424656,2	110,580888	3,261054	54,3509	0	75,0942502	6,522108
2053	30304427,9	60,6880779	1,789704	29,828407	0	41,2125983	3,5794088
2054	27475476,3	33,3063233	0,982211	16,370177	0	22,6179535	1,9644212
2055	24910610,5	18,2788978	0,539049	8,9841434	0	12,4129961	1,0780972
2056	22585177,7	10,0316718	0,295836	4,9306024	0	6,81239669	0,5916723
2057	20476826,6	5,50549822	0,162358	2,705972	0	3,73872257	0,3247166
2058	18565292,4	3,02148148	0,089104	1,4850689	0	2,05185445	0,1782083
2059	16832202	1,6582242	0,048901	0,8150231	0	1,1260816	0,0978028
2060	15260897,5	0,91005273	0,026838	0,4472942	0	0,61800668	0,0536753
2061	13836276	0,49944753	0,014729	0,2454802	0	0,33916926	0,0294576
2062	12544644,4	0,27410262	0,008083	0,1347224	0	0,18614004	0,0161667
2063	11373588,1	0,15043071	0,004436	0,0739372	0	0,10215582	0,0088725
2064	10311851,2	0,08255812	0,002435	0,0405776	0	0,0560643	0,0048693
2065	9349228,59	0,04530886	0,001336	0,0222695	0	0,03076874	0,0026723
2066	8476467,85	0,02486603	0,000733	0,0122217	0	0,01688624	0,0014666
2067	7685180,29	0,01364677	0,000402	0,0067074	0	0,00926737	0,0008049
2068	6967760,28	0,0074895	0,000221	0,0036811	0	0,00508604	0,0004417



Şekil 5.28. ($k=0,60$ ve $Lo=157$) değerlerine göre 59 yıllık model sonuçları

Reaktör verilerine göre hesaplanan $k=0,60$ katsayı değeri, sahadaki sızıntısu verilerine göre hesaplanan $k=0,45$ katsayı değerine göre benzer grafik sonuçları göstermiştir. Ancak Afvalzorg modeli burada 29 yıl için 300 milyonun üzerinde bir değer görmüştür.

Tabasaran ve Weber modelleri 100 milyon seviyelerinden sonra pik kırılma göstermiştir.

TNO modeli 50 milyon üzerine bir yükseliş göstermiş ve Scholl canyon modelin artan yükselişi 50 milyon düzeyinde kalmıştır.

LMOP ve IPCC modelleri en düşük değerleri göstermiştir.

Tüm modellerin “ Afvalzorg – Weber – LMOP – Scholl Canyon – Tabasaran – TNO – IPCC “ 59 yıl için toplam metan salınımı sırasıyla “ 6.242.820.326 – 1.450.884.097 – 42.786.882 – 713.114.702 – 1.133.521.416 – 985.279.244 – 85.573.764” $m^3/$ yıl olarak hesaplanmıştır.

5.8. Sahada Üretilen Enerji ve Model Sonuçlarından Hesaplanan Enerji

Sakarya Büyük Şehir Belediyesine ait olan katı atık düzenli depolama sahasından enerji elde etmek amacıyla bir özel firma 29 yıllığına işletme hakkını elde etmiştir.

Yüklenici firma düzenli depolama sahasında; Geri dönüşüm malzemelerinin ayrılması ve organik mineral gübre üretimi yapımı, değerlendirilemeyen atıkların düzenli depolanması işlerini yapacaktır.

Ayrıca gelecekte evsel nitelikli belediye atıklarının içerisinde bulunan biyobozunur atıklardan biyogaz elde edilmesi ile 10,4 MW elektrik enerjisi üretilmesi planlanmaktadır.

Söz konusu yüklenici firma Entegre Katı Atık Bertaraf Tesisin inşası için toplam 25 milyon Euro (€) yatırım yapmıştır, tesisin işletilmesi devam etmektedir [121].



Şekil 5.29. Çöp sahasının yer altından gelen yatay gaz borular

Yüklenici firma 2019 yılın ocak ayında 19 adet gaz bacalarını kapatarak yatay borularla elektrik enerjisi üretimi için tek boru halinde gaz motorlarına yönlendirmiştir (Şekil 5.30.). Yukarıdaki şekil 5.29. da çöp sahasının altından gelen yatay borular görülmektedir.



Şekil 5.30. Yatay boruların birleşip tek gaz borusu halinde çıkışı



Şekil 5.31. Gaz motorları ve koruyucu konteynırlar

Şekil 5.31. da koruyucu konteynır içinde içten yanmalı gaz motorları bulunmaktadır. Tesisde üç tane gaz motoru bulunmaktadır. Tesis 4,5 megawatt (Mw) kurulu kapasiteye sahiptir.



Şekil 5.32. Tesis de gaz emsiyon değerini gösteren ekran görüntüsü

Yukarıdaki şekil 5.32. de gaz emisyon değerleri gösteren ekran paneli görülmektedir.

Tesis de enerji üretimi yapılmaktadır ve aylık ortalama (3 - 3,5) megawatt (mw) arasında elektrik üretimi gerçekleştirilmiştir. 2019 yılı için aylık 3,5 mw elektrik üretimi 3.500.000 kWh eşdeğerdir, dört kişilik bir ailenin aylık elektrik tüketimi 200 kWh kabul edilirse 17500 evin elektrik ihtiyacı karşılayabilecek enerji üretilmektedir.

Tesis gelecek yıllarda aylık enerji üretimini 10,4 megawatt (mw) kapasitesine çıkarmayı hedeflemektedir.

Katı atık düzenli depolama sahası için elde edilen metan değerlerinin enerji dönüşümünü belirlenmesi için metanın kalorifik değeri bilinmesi gerekir.

Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının Düzenli depolama tesisi saha yönetimi ve işletme klavuzuna göre metanın kalorifik değeri (5040 ile 5600) kcal/kg olarak belirlenmiştir. Bu Çalışmada enerji dönüşümü için metanın kalorifik değerini 5600 kcal/kg olarak alınmıştır.

Metanın enerji miktarı aşağıdaki denklem 5.3’de hesaplanabilmektedir. [69]

$$\text{Brüt Enerji Miktarı (kwh)} = \frac{(M_{CH_4} \times H_{CH_4})}{860 \times 8760} \quad (5.3)$$

M_{CH_4} : Yıllık metan gazı miktarı ($m^3/yıl$)

H_{CH_4} : Metanın kalorifik değeri

(1 kwh = 860 kcal)

(1 kcal – kWh dönüşümü $1 / 860 = 1,163 \times 10^{-3}$ ve bir yıl 8760 saat olarak verilmektedir.)

Tablo 5.16. (k = 0,06 ve Lo = 157) sabit değerlerine göre tahmini enerji miktarı (kWh)

YILLAR	AFVALZORG	WEBER	LMOP	SCHOLL CANYON	TABASARAN	TNO	IPCC
2009	1081,6	2062,4	60,8	1013,7	2290,6	1400,6	121,6
2010	2082,4	4043,4	119,2	1987,4	7213,7	2745,8	238,5
2011	3070,9	6063,6	178,8	2980,3	14094,2	4117,7	357,6
2012	3906,4	7850,2	231,5	3858,4	19053,4	5331	463
2013	4661,3	9527,9	281	4683	23142,5	6470,3	562
2014	5358,4	11132	328,3	5471,5	26554,4	7559,7	656,6
2015	6289,3	13213	389,6	6494,2	33733,7	8972,7	779,3
2016	7371,4	15626	460,8	7680,4	40673,5	10611,7	921,7
2017	8442,2	18071	532,9	8881,8	45199	12271,6	1065,8
2018	9553,5	20640	608,7	10144,7	50363	14016,5	1217,4
2019	10711,8	23348	688,5	11475,4	55588,4	15855	1377
2020	11902,6	26165	771,6	12860,4	60475,7	17768,6	1543,2
2021	13123	29088	857,8	14296,7	65211,9	19753,1	1715,6
2022	14370,2	32108	946,9	15781,2	69804,5	21804,2	1893,7
2023	15641,7	35221	1039	17311,1	74263,8	23918,1	2077,3
2024	16935,2	38421	1133	18883,9	78601	26091	2266,1
2025	18248,7	41703	1230	20496,9	82828,3	28319,7	2459,6
2026	19580,2	45062	1329	22147,9	11867,4	30600,8	2657,8
2027	20928,2	48493	1430	23834,7	10336,1	32931,3	2860,2
2028	22291,1	51994	1533	25555,1	9002,3	35308,3	3066,6
2029	23667,5	55559	1638	27307,2	7840,7	37729,1	3276,9
2030	21458,1	52323	1543	25716,9	6829	35532	3086
2031	19455	49276	1453	24219,3	5947,8	33462,7	2906,3
2032	17638,8	46406	1369	22808,9	5180,3	31514	2737,1
2033	15992,2	43704	1289	21480,6	4511,9	29678,8	2577,7
2034	14499,3	41159	1214	20229,7	3929,7	27950,4	2427,6
2035	13145,8	38762	1143	19051,6	3422,6	26322,7	2286,2
2036	11918,6	36505	1077	17942,1	2981	24789,8	2153,1
2037	10806	34379	1014	16897,2	2596,3	23346,2	2027,7
2038	9797,3	32377	954,8	15913,2	2261,3	21986,6	1909,6
2039	8882,7	30491	899,2	14986,5	1969,5	20706,2	1798,4
2040	8053,5	28716	846,8	14113,8	1715,4	19500,4	1693,7
2041	7301,7	27043	797,5	13291,8	1494	18364,7	1595
2042	6620	25468	751,1	12517,8	1301,2	17295,3	1502,1
2043	6002,1	23985	707,3	11788,8	1133,3	16288,1	1414,7
2044	5441,8	22588	666,1	11102,3	987,1	15339,5	1332,3
2045	4933,8	21273	627,3	10455,7	859,7	14446,2	1254,7
2046	4473,2	20034	590,8	9846,8	748,8	13604,9	1181,6
2047	4055,6	18867	556,4	9273,4	652,2	12812,6	1112,8
2048	3677	17769	524	8733,4	568	12066,5	1048
2049	3333,8	16734	493,5	8224,8	494,7	11363,8	987
2050	3022,6	15759	464,7	7745,8	430,9	10702	929,5
2051	2740,4	14842	437,7	7294,7	375,3	10078,8	875,4

Tablo 5.16. (Devamı) (k = 0,06 ve Lo = 157) sabit değerlerine göre tahmini enerji miktarı (kWh)

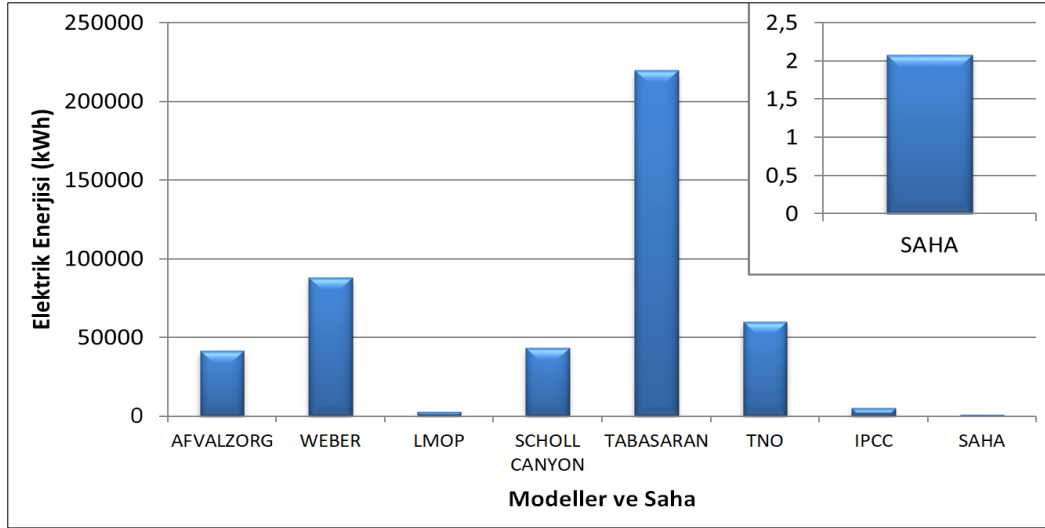
2052	2484,6	13977	412,2	6869,9	326,9	9491,8	824,4
2053	2252,6	13163	388,2	6469,8	284,7	8939,1	776,4
2054	2042,4	12397	365,6	6093,1	247,9	8418,5	731,2
2055	1851,7	11675	344,3	5738,2	216	7928,3	688,6
2056	1678,8	10995	324,2	5404,1	188,1	7466,5	648,5
2057	1522,1	10355	305,4	5089,3	163,8	7031,7	610,7
2058	1380	9751,6	287,6	4793	142,7	6622,2	575,2
2059	1251,2	9183,8	270,8	4513,8	124,3	6236,6	541,7
2060	1134,4	8648,9	255,1	4251	108,2	5873,4	510,1
2061	1028,5	8145,3	240,2	4003,4	94,3	5531,4	480,4
2062	932,5	7670,9	226,2	3770,3	82,1	5209,2	452,4
2063	845,4	7224,2	213	3550,7	71,5	4905,9	426,1
2064	766,5	6803,5	200,6	3343,9	62,3	4620,2	401,3
2065	695	6407,3	189	3149,2	54,2	4351,1	377,9
2066	630,1	6034,2	177,9	2965,8	47,2	4097,7	355,9
2067	571,3	5682,8	167,6	2793,1	41,1	3859,1	335,2
2068	517,9	5351,8	157,8	2630,4	35,8	3634,4	315,7

Tablo 5.17. (k = 0,185 ve Lo = 157) sabit değerlerine göre tahmini enerji miktarı (kWh)

YILLAR	AFVALZORG	WEBER	LMOP	SCHOLL CANYON	TABASARAN	TNO	IPCC
2009	3334,8	5612	165,5	2758,3	10261,8	3811	331
2010	6420,9	10381	306,1	5102,4	17156,3	7049,8	612,3
2011	9468,7	14766	435,4	7257,3	29758,5	10027,2	870,9
2012	12044,6	18094	533,6	8893,3	34247,2	12287,4	1067
2013	14372,2	20847	614,8	10246,4	35923,7	14157,1	1230
2014	16521,6	23201	684,2	11403,4	36323,3	15755,5	1368
2015	19391,9	26708	787,6	13127,1	43283,8	18137,2	1575
2016	22728,4	30858	910	15167	49084,6	20955,6	1820
2017	26030,3	34774	1025,5	17091,3	51073,2	23614,3	2051
2018	29456,7	38756	1142,9	19048,5	54355,6	26318,5	2286
2019	33027,9	42847	1263,6	21059,6	57976	29097,1	2527
2020	36699,7	46978	1385,4	23089,8	61404,9	31902,2	2771
2021	40462,6	51141	1508,2	25136,1	64909	34729,4	3016
2022	44308,1	55331	1631,7	27195,6	68482,2	37574,9	3264
2023	48228,5	59544	1756	29266,1	72115,5	40435,7	3512
2024	52216,8	63775	1880,8	31345,8	75798,4	43309,2	3762
2025	56266,7	68022	2006	33433,2	79521,3	46193,1	4012
2026	60372,4	72282	2131,6	35526,8	316,6	49085,9	4263
2027	64528,7	76552	2257,5	37625,8	206,8	51985,8	4515
2028	68730,9	80832	2383,7	39729,1	135	54891,9	4768
2029	72974,8	85118	2510,2	41836	88,2	57802,9	5020
2030	66162,5	70742	2086,2	34770,1	57,6	48040,3	4172
2031	59986,1	58794	1733,9	28897,6	37,6	39926,5	3468

Tablo 5.17. (Devamı) (k = 0,185 ve Lo = 157) sabit değerlerine göre tahmini enerji miktarı (kWh)

2032	54386,4	48864	1441	24016,9	24,6	33183,1	2882
2033	49309,3	40611	1197,6	19960,5	16	27578,6	2395
2034	44706,3	33752	995,4	16589,3	10,5	22920,7	1991
2035	40532,9	28052	827,2	13787,4	6,8	19049,5	1655
2036	36749,1	23314	687,5	11458,8	4,5	15832,1	1375
2037	33318,5	19376	571,4	9523,4	2,9	13158,1	1143
2038	30208,2	16104	474,9	7915	1,9	10935,8	949,8
2039	27388,2	13384	394,7	6578,2	1,2	9088,8	789,4
2040	24831,5	11123	328	5467,1	0,8	7553,7	656,1
2041	22513,5	9244,6	272,6	4543,8	0,5	6277,9	545,3
2042	20411,8	7683,3	226,6	3776,3	0,3	5217,6	453,2
2043	18506,3	6385,6	188,3	3138,5	0,2	4336,4	376,6
2044	16778,8	5307,1	156,5	2608,5	0,1	3604	313
2045	15212,4	4410,7	130,1	2167,9	0,1	2995,3	260,1
2046	13792,3	3665,8	108,1	1801,7	0,1	2489,4	216,2
2047	12504,8	3046,7	89,8	1497,4	0	2068,9	179,7
2048	11337,5	2532,1	74,7	1244,5	0	1719,5	149,3
2049	10279,1	2104,4	62,1	1034,3	0	1429,1	124,1
2050	9319,5	1749	51,6	859,6	0	1187,7	103,2
2051	8449,6	1453,6	42,9	714,4	0	987,1	85,7
2052	7660,8	1208,1	35,6	593,8	0	820,4	71,3
2053	6945,6	1004,1	29,6	493,5	0	681,8	59,2
2054	6297,3	834,5	24,6	410,1	0	566,7	49,2
2055	5709,4	693,5	20,5	340,9	0	471	40,9
2056	5176,4	576,4	17	283,3	0	391,4	34
2057	4693,2	479	14,1	235,5	0	325,3	28,3
2058	4255,1	398,1	11,7	195,7	0	270,4	23,5
2059	3857,9	330,9	9,8	162,6	0	224,7	19,5
2060	3497,7	275	8,1	135,2	0	186,8	16,2
2061	3171,2	228,6	6,7	112,3	0	155,2	13,5
2062	2875,2	190	5,6	93,4	0	129	11,2
2063	2606,8	157,9	4,7	77,6	0	107,2	9,3
2064	2363,4	131,2	3,9	64,5	0	89,1	7,7
2065	2142,8	109	3,2	53,6	0	74,1	6,4
2066	1942,8	90,6	2,7	44,5	0	61,5	5,3
2067	1761,4	75,3	2,2	37	0	51,2	4,4
2068	1597	62,6	1,8	30,8	0	42,5	3,7

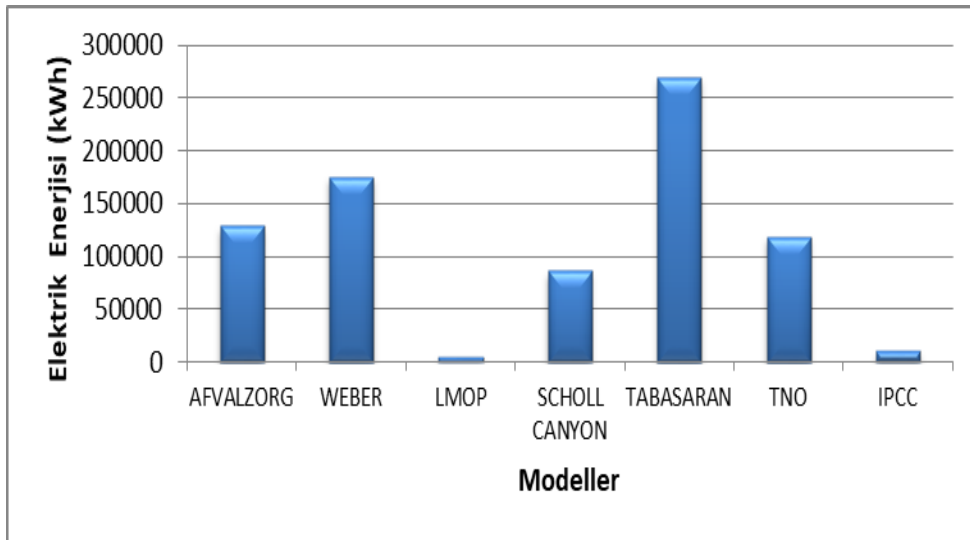


Şekil 5.33. Saha verileri ile modeller arasındaki (2013 ile 2018) yılları arasında 6 yıl için toplam elektrik enerji değerleri (kWh) ($k=0,06$ ve $Lo=157$ ye göre)

Yukardaki şekil 5.33. de; 2013 ile 2018 yılları arasında modellerdeki toplam metan değerleri ile sahadaki metan değerlerin enerji dönüşümleri karşılaştırılmıştır.

Burada ($k=0,06$) ve ($Lo=157$) sabit değerlere göre modellerden tahmin edilen metan sonuçların enerji dönüşümleri en fazla 219.666,13 kWh elektrik enerjisi değeri ile Tabasaran modeli olmuştur ve en düşük değer olarakta enerji dönüşümü 2.601,33 kWh olarak elektrik enerjisi değeri veren LMOP modeli olmuştur.

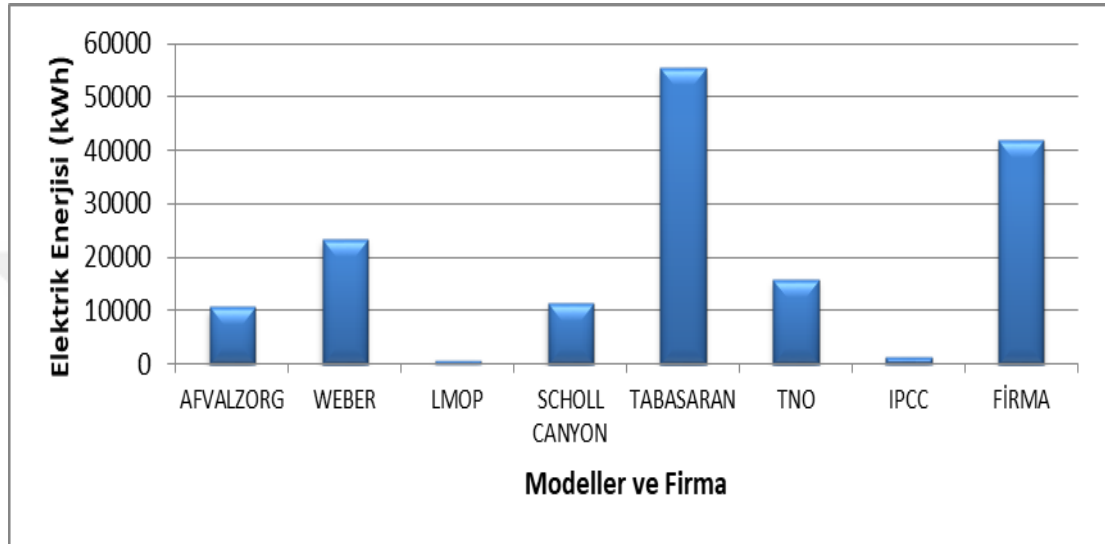
Ayrıca IPCC ve LMOP oldukça düşük derecede enerji değeri veren modellerdir ek olarak sahada ölçtüğümüz metan değerinin enerji dönüşümü 2,07 kWh olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.34. Modellerin (2013 ile 2018) yılları arasında 6 yıl için toplam elektrik enerji değerleri (kWh) ($k=0,185$ ve $Lo=157$ ye göre)

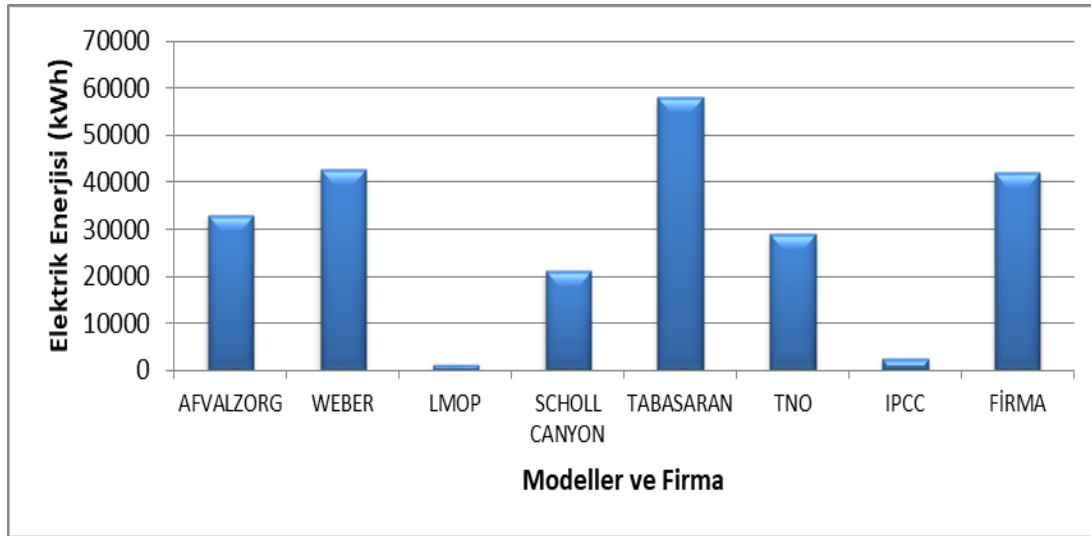
Metan üretim hızı ($k=0,185$) göre yukardaki şekil 5.34. incelediğimizde daha önceki şekil 5.33. daki benzer grafik gösterimini sunmaktadır. Burada tabsaran modeli 270.044,20 kWh enerji değeri ile diğer modeller ve saha değerlerine nazaran en yüksek toplam elektrik enerjisi değeri vermektedir.

Aynı şekilde IPCC ve LMOP modelleri en düşük derecede toplam elektrik enerji değerleri vermektedir.



Şekil 5.35. Metan üretim sabiti ($k=0,06$) ve ($Lo=157$)'ye göre 2019 yılı için modellerin enerji dönüşümü ve Tesisde üretilen enerji

Yüklenici firmanın 2019 yılı için aylık enerji üretimini ortalama 3500 kWh kabul sayıldığında, yıllık olarak 42.000 kWh elektrik enerjisi üretimine tekabül eder. 2019 yılı için modellerin sonuçlarını incelediğimizde; ($k=0,06$) metan üretim sabitine göre Tabasaran modelinin 55.588,40 kWh teorik enerji üretimi ile firmanın ürettiği enerji karşılaştırıldığında firmanın ürettiği enerjinin tabsaran modelin teorik enerjisine yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 5.36. Metan üretim sabiti ($k=0,185$) ve ($Lo=157$)'ye göre 2019 yılı için modellerin enerji dönüşümü ve tesis'de üretilen enerji

($k=0,185$) metan üretim sabitine göre; Weber modelin 42.847,26 kWh teorik enerji üretimi hesaplanmıştır. 2019 yılı için firmanın üretmiş olduğu 42.000 kWh enerji Weber modelin teorik enerji eşdeğerine çok yakın olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak Saha için model hesaplamaların da Weber, Afvalzorg, TNO, Tabasaran modellerin 2019 yılı teorik enerji eşdeğerlerinin, yüklenici firmanın 2019 yılı için üretmiş olduğu enerji değerini destekler niteliktedir.

Tablo 5.18. ($k = 0,05$ ve $Lo = 157$) sabit değerlerine göre tahmini enerji miktarı (kWh)

YILLAR	AFVALZORG	WEBER	LMOP	SCHOLL CANYON	TABASARAN	TNO	LANDGEM	IPCC
2009	901,3	1736	51,2	853,2	3217,2	1178,9	0	102,4
2010	1735,4	3419,8	100,9	1680,9	6144,9	2322,4	949,6	201,7
2011	2559,1	5151,6	151,9	2532	12131,2	3498,4	1870,9	303,8
2012	3255,3	6701,4	197,6	3293,8	16639,8	4550,8	2818,3	395,3
2013	3884,4	8171,5	241	4016,3	20505,4	5549,2	3666,2	482
2014	4465,3	9590,3	282,8	4713,7	23858,6	6512,7	4470,5	565,6
2015	5241,1	11419,6	336,8	5612,8	30603,8	7754,9	5246,7	673,5
2016	6142,8	13541,8	399,4	6655,9	37269,8	9196,1	6247,5	798,7
2017	7035,2	15704,7	463,1	7718,9	41877,9	10665	7408,6	926,3
2018	7961,3	17987,3	530,4	8840,8	47116,2	12215	8636,6	1061
2019	8926,5	20400,5	601,6	10026,9	52465,5	13854	9928,3	1203
2020	9918,8	22921,9	676	11266,2	57550,7	15566	11280,6	1352
2021	10935,8	25546,2	753,4	12556,1	62527,7	17348	12690,5	1507
2022	11975,2	28268,4	833,6	13894	67392,6	19197	14155,1	1667
2023	13034,7	31083,6	916,7	15277,7	72145	21109	15672	1833
2024	14112,6	33987,4	1002,3	16705	76787,1	23081	17238,4	2005
2025	15207,2	36975,5	1090,4	18173,6	81323,3	25110	18852	2181

Tablo 5.18. (Devamı) (k = 0,05 ve Lo = 157) sabit değerlerine göre tahmini enerji miktarı (kWh)

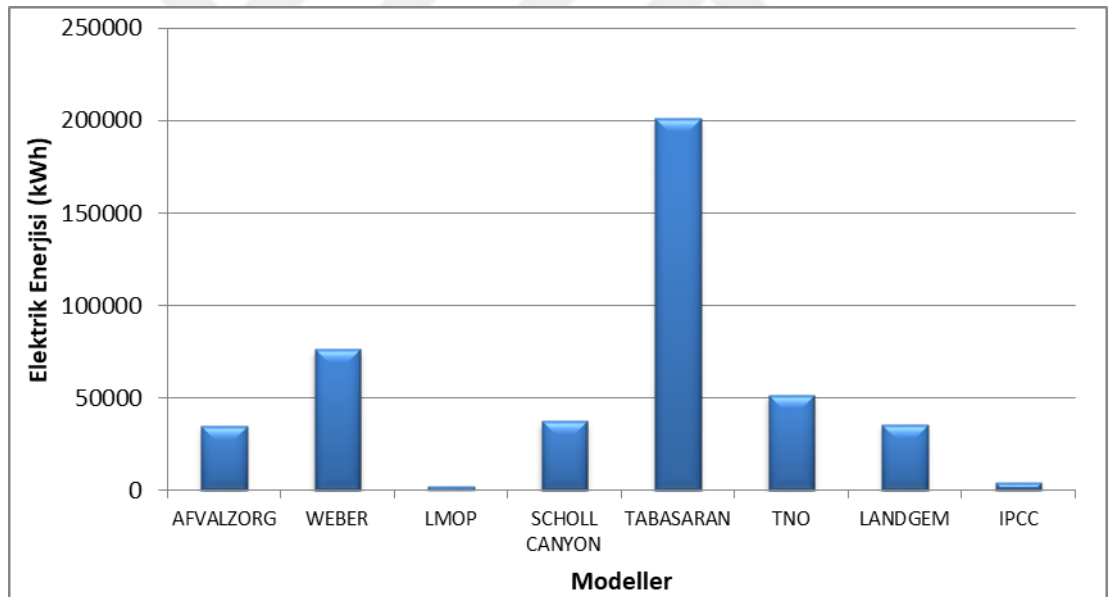
2026	16316,9	40043,7	1180,9	19681,6	14467	27193	20510,4	2362
2027	17440,2	43188,1	1273,6	21227,1	12893,8	29329	22211,6	2547
2028	18575,9	46405	1368,5	22808,2	11491,6	31513	23953,3	2737
2029	19722,9	49690,9	1465,4	24423,3	10241,9	33745	25733,7	2931
2030	17881,8	47267,5	1393,9	23232,1	9128,1	32099	27550,8	2788
2031	16212,5	44962,2	1325,9	22099,1	8135,4	30533	26207,1	2652
2032	14699	42769,4	1261,3	21021,3	7250,7	29044	24929	2523
2033	13326,8	40683,5	1199,8	19996,1	6462,2	27628	23713,2	2400
2034	12082,8	38699,3	1141,3	19020,9	5759,4	26280	22556,7	2283
2035	10954,8	36812	1085,6	18093,2	5133,1	24999	21456,6	2171
2036	9932,2	35016,6	1032,6	17210,8	4574,9	23779	20410,1	2065
2037	9005	33308,8	982,3	16371,4	4077,4	22620	19414,7	1965
2038	8164,4	31684,3	934,4	15573	3634	21517	18467,9	1869
2039	7402,2	30139,1	888,8	14813,5	3238,8	20467	17567,2	1778
2040	6711,2	28669,2	845,5	14091	2886,6	19469	16710,4	1691
2041	6084,7	27271	804,2	13403,8	2572,6	18519	15895,4	1609
2042	5516,7	25940,9	765	12750,1	2292,9	17616	15120,2	1530
2043	5001,7	24675,8	727,7	12128,2	2043,5	16757	14382,8	1455
2044	4534,8	23472,3	692,2	11536,7	1821,3	15940	13681,3	1384
2045	4111,5	22327,6	658,4	10974,1	1623,2	15162	13014,1	1317
2046	3727,7	21238,7	626,3	10438,9	1446,7	14423	12379,4	1253
2047	3379,7	20202,8	595,8	9929,8	1289,4	13720	11775,6	1192
2048	3064,2	19217,5	566,7	9445,5	1149,2	13050	11201,3	1134
2049	2778,1	18280,3	539,1	8984,8	1024,2	12414	10655	1078
2050	2518,8	17388,7	512,8	8546,6	912,8	11809	10135,4	1026
2051	2283,7	16540,7	487,8	8129,8	813,5	11233	9641,1	975,6
2052	2070,5	15734	464	7733,3	725,1	10685	9170,9	928
2053	1877,2	14966,6	441,4	7356,1	646,2	10164	8723,6	882,7
2054	1702	14236,7	419,8	6997,4	575,9	9668	8298,1	839,7
2055	1543,1	13542,4	399,4	6656,1	513,3	9196,5	7893,4	798,7
2056	1399	12881,9	379,9	6331,5	457,5	8748	7508,5	759,8
2057	1268,4	12253,6	361,4	6022,7	407,7	8321,3	7142,3	722,7
2058	1150	11656	343,7	5729	363,4	7915,5	6793,9	687,5
2059	1042,7	11087,5	327	5449,6	323,9	7529,4	6462,6	653,9
2060	945,3	10546,8	311	5183,8	288,7	7162,2	6147,4	622,1
2061	857,1	10032,4	295,9	4931	257,3	6812,9	5847,6	591,7
2062	777,1	9543,1	281,4	4690,5	229,3	6480,6	5562,4	562,9
2063	704,5	9077,7	267,7	4461,7	204,4	6164,6	5291,1	535,4
2064	638,8	8635	254,6	4244,1	182,1	5863,9	5033,1	509,3
2065	579,1	8213,9	242,2	4037,1	162,3	5577,9	4787,6	484,5
2066	525,1	7813,3	230,4	3840,2	144,7	5305,9	4554,1	460,8
2067	476,1	7432,2	219,2	3653	128,9	5047,1	4332	438,4
2068	431,6	7069,7	208,5	3474,8	114,9	4801	4120,7	417

Tablo 5.19. (k = 0,09 ve Lo = 157) sabit değerlerine göre tahmini enerji miktarı (kWh)

YILLAR	AFVALZORG	WEBER	LMOP	SCHOLL CANYON	TABASARAN	TNO	IPCC
2009	1622,4	3002,2	88,5	1475,6	5537,2	2038,8	177,1
2010	3123,7	5802,3	171,1	2851,9	10141,8	3940,3	342,2
2011	4606,4	8586,4	253,2	4220,2	19221,9	5830,9	506,4
2012	5859,5	10962,1	323,3	5387,9	24911,3	7444,2	646,5
2013	6991,9	13126,3	387,1	6451,6	29039,4	8913,9	774,2
2014	8037,5	15139,4	446,5	7441,1	32061,4	10281	892,9
2015	9433,9	17808,9	525,2	8753,1	39731,3	12094	1050
2016	11057,1	20909,5	616,6	10277,1	46720,6	14199	1233
2017	12663,4	23992,5	707,5	11792,4	50512,7	16293	1415
2018	14330,3	27199,8	802,1	13368,8	55024,3	18471	1604
2019	16067,6	30549,3	900,9	15015,1	59558,9	20746	1802
2020	17853,9	34001,2	1002,7	16711,7	63683,3	23090	2005
2021	19684,5	37546,6	1107,3	18454,3	67656,4	25498	2215
2022	21555,3	41177,5	1214,3	20238,9	71511,3	27963	2429
2023	23462,5	44886,4	1323,7	22061,8	75276,6	30482	2647
2024	25402,8	48666,8	1435,2	23919,9	78976,7	33049	2870
2025	27373	52512,4	1548,6	25810	82631,4	35661	3097
2026	29370,4	56417,6	1663,8	27729,4	5688,4	38313	3328
2027	31392,4	60377,3	1780,5	29675,7	4623,7	41002	3561
2028	33436,7	64386,8	1898,8	31646,3	3758,3	43724	3798
2029	35501,2	68441,8	2018,4	38356,2	3054,8	46478	4037
2030	32187,2	62551,1	1844,6	35055	2483,1	42478	3689
2031	29182,4	57167,4	1685,9	32037,8	2018,3	38822	3372
2032	26458,2	52247,1	1540,8	29280,4	1640,5	35480	3082
2033	23988,3	47750,2	1408,2	26760,2	1333,5	32427	2816
2034	21749	43640,4	1287	24457	1083,9	29636	2574
2035	19718,7	39884,4	1176,2	22352	881	27085	2352
2036	17877,9	36451,6	1075	20428,2	716,1	24754	2150
2037	16209	33314,2	982,4	18670	582,1	22623	1965
2038	14695,9	30446,9	897,9	17063,1	473,1	20676	1796
2039	13324	27826,4	820,6	15594,5	384,6	18897	1641
2040	12080,2	25431,4	750	14252,3	312,6	17270	1500
2041	10952,5	23242,5	685,4	13025,6	254,1	15784	1371
2042	9930,1	21242,1	626,4	11904,5	206,5	14425	1253
2043	9003,1	19413,8	572,5	10879,9	167,9	13184	1145
2044	8162,6	17742,9	523,2	9943,5	136,5	12049	1047
2045	7400,6	16215,8	478,2	9087,7	110,9	11012	956,4
2046	6709,8	14820,1	437	8305,5	90,2	10064	874,1
2047	6083,4	13544,6	399,4	7590,6	73,3	9198	798,9
2048	5515,5	12378,8	365,1	6937,3	59,6	8406,3	730,1
2049	5000,6	11313,4	333,6	6340,2	48,4	7682,8	667,3
2050	4533,8	10339,6	304,9	5794,5	39,4	7021,5	609,8
2051	4110,6	9449,7	278,7	5295,8	32	6417,2	557,3
2052	3726,9	8636,4	254,7	4840	26	5864,9	509,4

Tablo 5.19. (Devamı) ($k = 0,09$ ve $Lo = 157$) sabit değerlerine göre tahmini enerji miktarı (kWh)

2053	3379	7893,1	232,8	4423,4	21,1	5360,1	465,5
2054	3063,5	7213,7	212,7	4042,7	17,2	4898,8	425,5
2055	2777,5	6592,8	194,4	3694,8	14	4477,1	388,8
2056	2518,3	6025,4	177,7	3376,8	11,3	4091,8	355,4
2057	2283,2	5506,8	162,4	3086,1	9,2	3739,6	324,8
2058	2070	5032,8	148,4	2820,5	7,5	3417,7	296,8
2059	1876,8	4599,7	135,6	2577,8	6,1	3123,6	271,3
2060	1701,6	4203,8	124	2355,9	5	2854,7	247,9
2061	1542,8	3842	113,3	2153,1	4	2609	226,6
2062	1398,7	3511,3	103,5	1967,8	3,3	2384,5	207,1
2063	1268,2	3209,1	94,6	1798,4	2,7	2179,3	189,3
2064	1149,8	2932,9	86,5	1643,6	2,2	1991,7	173
2065	1042,4	2680,4	79	1502,2	1,8	1820,3	158,1
2066	945,1	2449,7	72,2	1372,9	1,4	1663,6	144,5
2067	856,9	2238,9	66	1254,7	1,2	1520,4	132,1
2068	776,9	2046,2	60,3	1146,7	0,9	1389,6	120,7



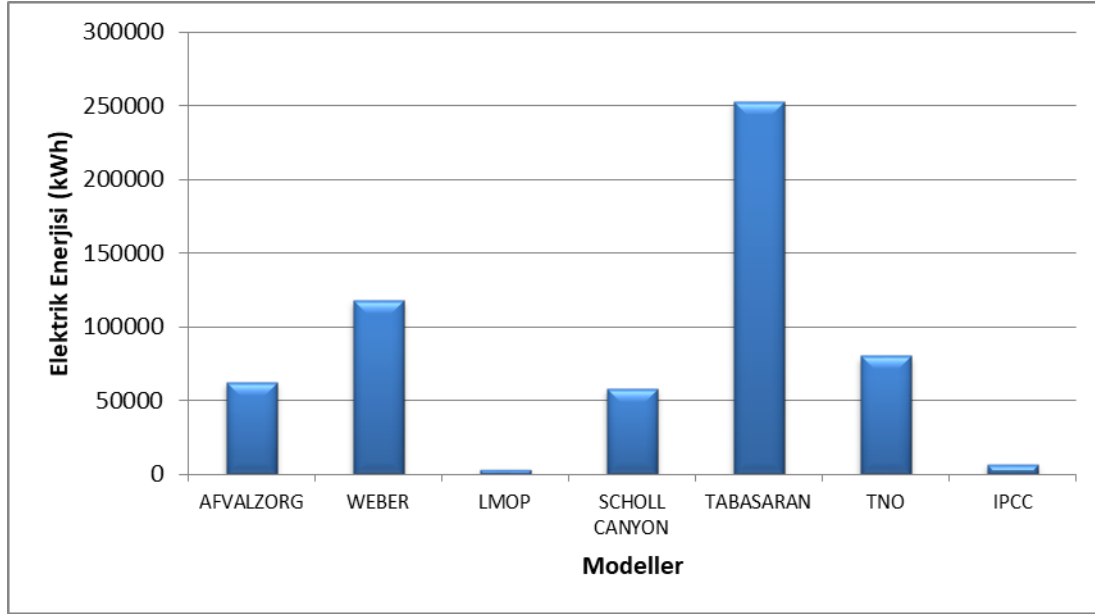
Şekil 5.37. Modellerin (2013 ile 2018) yılları arasında 6 yıl için toplam elektrik enerji değerleri (kWh) ($k=0,05$ ve $Lo=157$ ye göre)

Yukardaki şekil 5.37. de; ($k=0,05$ ve $Lo=157$) sabit değerlerine göre (landgem de $Lo=170$ alınmıştır) modellerin 2013 ile 2018 yılları arasında toplam metan değerlerin enerji dönüşümleri karşılaştırılmıştır.

Modellerden tahmin edilen metan sonuçların enerji dönüşümleri en fazla 201.231,62 kWh elektrik enerjisi değeri ile Tabasaran modeli olmuştur ve en düşük değer

olarakta enerji dönüşümü 2.253,50 kWh olarak elektrik enerjisi değeri veren LMOP modeli olmuştur.

Ayrıca Weber, TNO modelleri 50.000 kWh'ın üzerinde ve Afvalzorg, Scholl Canyon, Landgem ve IPCC modelleri 50.000 kWh'ın altında enerji dönüşümleri olmuştur.



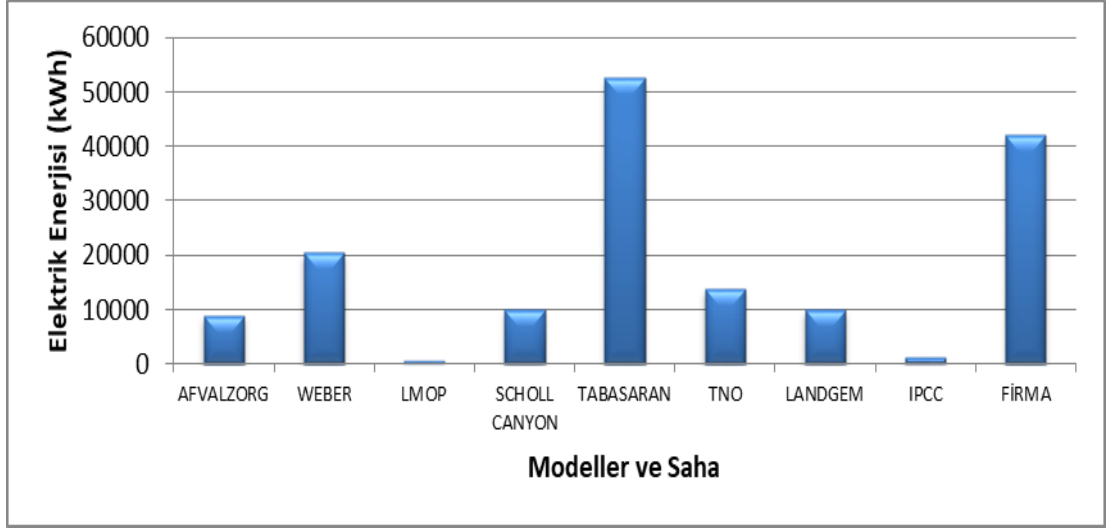
Şekil 5.38. Modeller arasındaki (2013 ile 2018) yılları arasında 6 yıl için toplam elektrik enerji değerleri (kWh) ($k=0,09$ ve $Lo=157$ ye göre)

Şekil 5.38. de ($k=0,09$) ve ($Lo=157$) sabit değerlere göre modellerden tahmin edilen metan sonuçların enerji dönüşümleri en fazla 253.089,68 kWh elektrik enerjisi değeri ile Tabasaran modelidir ve en düşük değer olarakta enerji dönüşümü 3.485,04 kWh olarak elektrik enerjisi değeri veren LMOP modelidir.

Weber modeli 100.000,00 kWh elektrik enerjisi üzerinde değere sahiptir.

Afvalzorg, Scholl Canyon ve TNO modelellerin enerji dönüşümleri 50.000 kWh üzerindedir

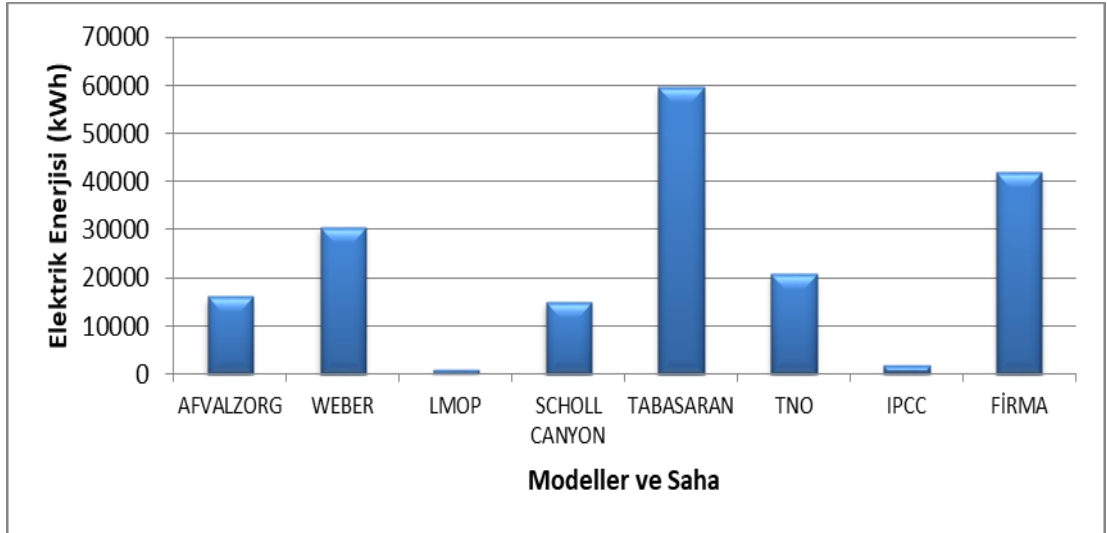
Ayrıca IPCC ve LMOP oldukça düşük derecede enerji değeri veren modellerdir.



Şekil 5.39. Metan üretim sabiti ($k=0,05$) ve ($Lo=157$)'ye göre 2019 yılı için modellerin enerji dönüşümü ve tesis’de üretilen enerji

Yüklenici firmanın 2019 yılı için aylık enerji üretimini ortalama 3500 kWh kabul varsayılırsa yıllık olarak 42.000 kWh elektrik enerjisi üretimine tekabül eder. 2019 yılı için modellerin sonuçlarını incelediğimizde; ($k=0,05$) metan üretim sabitine göre; Tabasaran modelinin 52.465,51 kWh teorik enerji üretimi ile firmanın ürettiği enerji karşılaştırıldığında firmanın ürettiği enerjinin tabasaran modelin teorik enerjisine yakın olduğu görülmektedir.

Ayrıca Weber modelin enerji dönüşümü 20.000,00 kWh seviyesinde ve diğer modellerin enerji dönüşümleri 20.000 kWh’ın altındadır.



Şekil 5.40. Metan üretim sabiti ($k=0,09$) ve ($Lo=157$)'ye göre 2019 yılı için modellerin enerji dönüşümü ve tesis’de üretilen enerji

Burada; ($k=0,09$) metan üretim sabitine göre Weber modelin enerji dönüşümü 30.000,00 kWh seviyesindedir. 2019 yılı için firmanın üretmiş olduğu 42.000 kWh enerji, birinci sırada Weber modeli ve ikinci olarak Tabasaran, TNO modelelerinin teorik enerji eşdeğerlerine yakın olduğu görülmektedir.

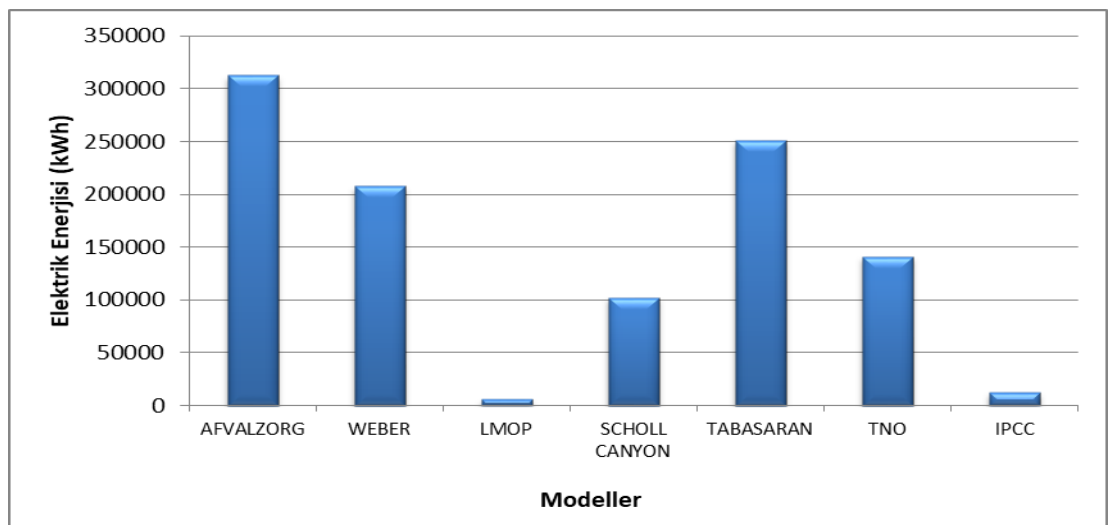
Sonuç olarak Saha için model hesaplamaların da Weber, Tabasaran ve TNO modellerin 2019 yılı teorik enerji eşdeğerlerinin, yüklenici firmanın 2019 yılı için üretmiş olduğu enerji değerini destekler niteliktedir.

Tablo 5.20. ($k=0,45$ ve $Lo=157$) sabit değerlerine göre tahmini enerji miktarı (kWh)

YILLAR	AFVALZORG	WEBER	LMOP	SCHOLL CANYON	TABASARAN	TNO	IPCC
2009	8111,8	10472,9	308,8	5147,5	19087,2	7112,1	617,7
2010	15618,3	17347	511,6	8526,1	26217,1	11780	1023
2011	23032	22515	664	11066,2	37584,2	15290	1328
2012	29297,7	25221,5	743,8	12396,5	35250,1	17128	1488
2013	34959,5	26922,8	794	13232,7	33125,9	18283	1588
2014	40187,7	28130,2	829,6	13826,1	32168,8	19103	1659
2015	47169,5	31794,3	937,6	15627	39666,6	21591	1875
2016	55285,3	36436,1	1074,5	17908,5	45888,5	24743	2149
2017	63316,9	40265,2	1187,4	19790,5	48215,5	27344	2375
2018	71651,4	44065,9	1299,5	21658,5	51996,5	29925	2599
2019	80338,2	47948,7	1414	23567	56093,5	32561	2828
2020	89269,5	51787,1	1527,2	25453,5	59931,8	35168	3054
2021	98422,5	55597,1	1639,6	27326,2	63776,4	37755	3279
2022	107776,4	59389,1	1751,4	29190	67623,6	40331	3503
2023	117312,5	63169,6	1862,9	31048,1	71471,9	42898	3726
2024	127013,8	66942,8	1974,2	32902,6	75320,7	45460	3948
2025	136864,9	70711,2	2085,3	34754,8	79169,6	48019	4171
2026	146851,8	74476,7	2196,3	36605,6	0	50576	4393
2027	156961,8	78240,3	2307,3	38455,4	0	53132	4615
2028	167183,4	82002,7	2418,3	40304,6	0	55687	4837
2029	177506,2	85764,2	2529,2	42153,4	0	58242	5058
2030	160935,8	54685,7	1612,7	26878,2	0	37136	3225
2031	145912,2	34869,1	1028,3	17138,3	0	23679	2057
2032	132291,2	22233,5	655,7	10927,9	0	15099	1311
2033	119941,6	14176,7	418,1	6967,9	0	9627,3	836,1
2034	108745	9039,5	266,6	4442,9	0	6138,6	533,2
2035	98593,5	5763,8	170	2832,9	0	3914,2	340
2036	89389,7	3675,2	108,4	1806,4	0	2495,8	216,8
2037	81045,1	2343,4	69,1	1151,8	0	1591,4	138,2
2038	73479,4	1494,2	44,1	734,4	0	1014,7	88,1
2039	66620	952,8	28,1	468,3	0	647	56,2
2040	60401	607,5	17,9	298,6	0	412,5	35,8
2041	54762,5	387,4	11,4	190,4	0	263,1	22,8

Tablo 5.20. (Devamı) ($k=0,45$ ve $Lo=157$) sabit değerlerine göre tahmini enerji miktarı (kWh)

2042	49650,3	247	7,3	121,4	0	167,7	14,6
2043	45015,4	157,5	4,6	77,4	0	106,9	9,3
2044	40813,2	100,4	3	49,4	0	68,2	5,9
2045	37003,2	64	1,9	31,5	0	43,5	3,8
2046	33548,9	40,8	1,2	20,1	0	27,7	2,4
2047	30417,1	26	0,8	12,8	0	17,7	1,5
2048	27577,6	16,6	0,5	8,2	0	11,3	1
2049	25003,2	10,6	0,3	5,2	0	7,2	0,6
2050	22669,2	6,7	0,2	3,3	0	4,6	0,4
2051	20553	4,3	0,1	2,1	0	2,9	0,3
2052	18634,3	2,7	0,1	1,3	0	1,9	0,2
2053	16894,8	1,7	0,1	0,9	0	1,2	0,1
2054	15317,6	1,1	0	0,5	0	0,8	0,1
2055	13887,7	0,7	0	0,3	0	0,5	0
2056	12591,3	0,5	0	0,2	0	0,3	0
2057	11415,9	0,3	0	0,1	0	0,2	0
2058	10350,2	0,2	0	0,1	0	0,1	0
2059	9384	0,1	0	0,1	0	0,1	0
2060	8508	0,1	0	0	0	0,1	0
2061	7713,8	0	0	0	0	0	0
2062	6993,7	0	0	0	0	0	0
2063	6340,8	0	0	0	0	0	0
2064	5748,9	0	0	0	0	0	0
2065	5212,2	0	0	0	0	0	0
2066	4725,7	0	0	0	0	0	0
2067	4284,5	0	0	0	0	0	0
2068	3884,5	0	0	0	0	0	0

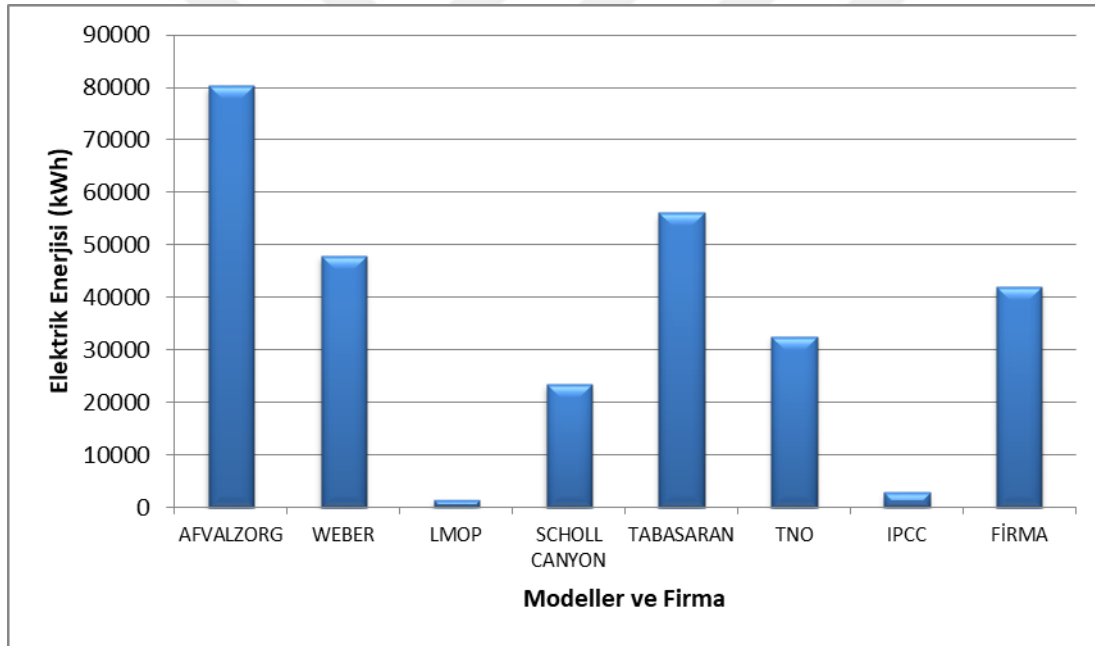


Şekil 5.41. Modeller arasındaki (2013 ile 2018) yılları arasında 6 yıl için toplam elektrik enerji değerleri (kWh) ($k=0,45$ ve $Lo=157$ ye göre)

Katı atık sahasında sızıntı suyu analizlerinden elde edilen “KOİ-BOİ ve pH” verileri ayrıca bölgenin “Sıcaklık, yağış ve nem” gibi meteorolojik verilerini kullanarak excel programında veri çözümleme modulündeki regresyon hesaplamasında metan üretim sabiti ($k=0,45$) olarak belirlenmiştir. Şekil 5.41. de ($k=0,45$) ve ($Lo=157$) sabit değerlere göre modellerden tahmin edilen metan sonuçların enerji dönüşümleri en fazla 312.570,30 kWh elektrik enerjisi dönüşüm değeri ile Afvalzorg modelidir ve en düşük değer olarak da enerji dönüşümü 6.122,59 kWh olarak elektrik enerjisi değeri veren LMOP modelidir.

Tabasaran modelin enerji dönüşümü 250.000 kWh eşit sayılır ve Weber modelin enerji dönüşümü 200.000 kWh üzerindedir. Scholl Canyon ve TNO modellerin enerji dönüşümleri 150.000 kWh’ın altındadır.

Ayrıca IPCC ve LMOP oldukça düşük derecede enerji değeri veren modellerdir.



Şekil 5.42. Metan üretim sabiti ($k=0,45$) ve ($Lo=157$)’ye göre 2019 yılı için modellerin enerji dönüşümü ve sahada üretilen enerji

2019 yılı için firmanın üretmiş olduğu 42.000 kWh tahmini enerji, Weber ve TNO model sonuçlarının teorik enerji eşdeğerlerine birinci derecede yakın olduğu görülmektedir.

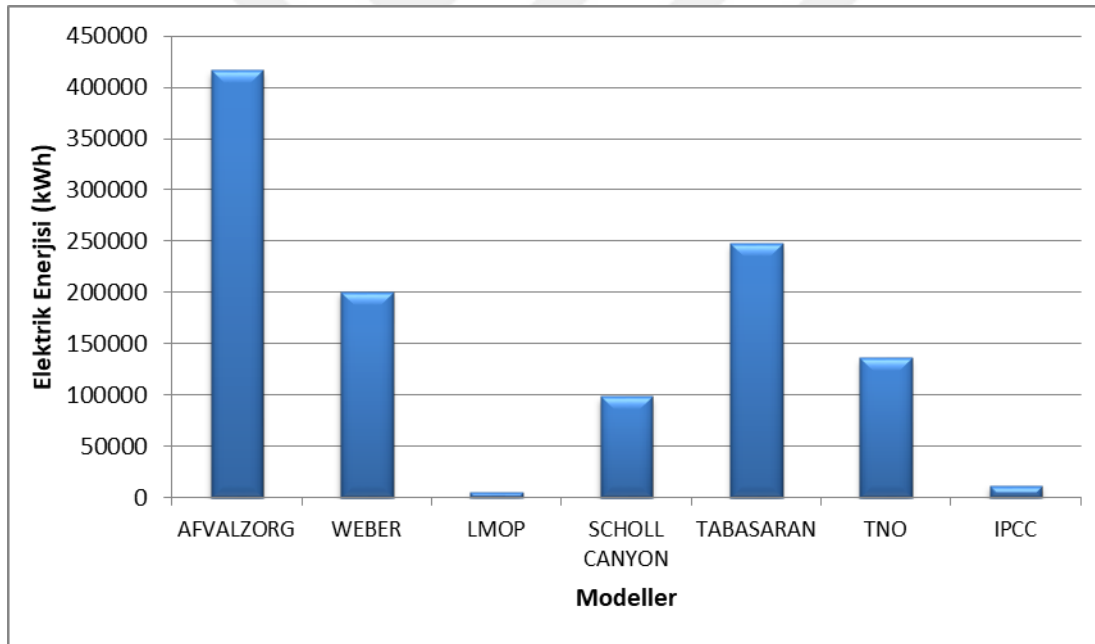
Ayrıca Scholl Canyon modeli 20.000 kWh üzerindeki seviye ile tabasaran modeli de 50.000 kWh üzerindeki seviye ile ikinci derecede firmanın ürettiği elektrik enerjisine yakın olduğu görülmektedir.

Tablo 5.21. (k=0,60 ve Lo=157) sabit değerlerine göre tahmini enerji miktarı (kWh)

YILLAR	AFVALZORG	WEBER	LMOP	SCHOLL CANYON	TABASARAN	TNO	IPCC
2009	10815,72123	12018,9	354,4	5907,314	22152,7869	8162	709
2010	20824,41948	18840,1	555,6	9259,992	28132,3559	12794	1111
2011	30709,34064	23484,4	692,6	11542,68	37380,3135	15948	1385
2012	39063,58417	25357,8	747,8	12463,42	33509,7387	17220	1496
2013	46612,62036	26357,7	777,3	12954,9	31695,3802	17899	1555
2014	53583,59354	27047,2	797,6	13293,8	31329,867	18367	1595
2015	62892,70655	30747	906,7	15112,26	39256,6519	20880	1813
2016	73713,78211	35423,3	1045	17410,7	45692,6355	24056	2089
2017	84422,49051	38987,4	1150	19162,46	48124,2562	26476	2299
2018	95535,20891	42503,3	1253	20890,5	51956,0891	28863	2507
2019	107117,6516	46107,5	1360	22662,02	56076,1237	31311	2719
2020	119026,0581	49649,4	1464	24402,84	59924,4998	33716	2928
2021	131229,9996	53156,9	1568	26126,8	63773,3639	36098	3135
2022	143701,8874	56645,6	1670	27841,51	67622,3724	38467	3341
2023	156416,7084	60124	1773	29551,14	71471,4233	40830	3546
2024	169351,7847	63596,7	1875	31257,99	75320,4863	43188	3751
2025	182486,555	67066,3	1978	32963,31	79169,5527	45544	3956
2026	195802,3778	70534,2	2080	34667,79	0,00015432	47899	4160
2027	209282,3516	74001,1	2182	36371,81	0	50253	4365
2028	222911,1528	77467,5	2285	38075,57	0	52607	4569
2029	236674,888	80933,7	2387	39779,2	0	54961	4774
2030	214581,0278	44417,4	1310	21831,29	0	30163	2620
2031	194549,6536	24376,8	718,9	11981,27	0	16554	1438
2032	176388,2302	13378,3	394,5	6575,458	0	9085	789
2033	159922,1955	7342,14	216,5	3608,688	0	4986	433
2034	144993,2832	4029,45	118,8	1980,49	0	2736	238
2035	131458,0013	2211,41	65,21	1086,916	0	1502	130
2036	119186,2528	1213,65	35,79	596,5121	0	824,2	71,6
2037	108060,0854	666,064	19,64	327,3728	0	452,3	39,3
2038	97972,55798	365,544	10,78	179,666	0	248,2	21,6
2039	88826,71229	200,615	5,916	98,60278	0	136,2	11,8
2040	80534,64133	110,1	3,247	54,11435	0	74,77	6,49
2041	73016,64427	60,424	1,782	29,69859	0	41,03	3,56
2042	66200,46049	33,1614	0,978	16,29893	0	22,52	1,96
2043	60020,57493	18,1993	0,537	8,945043	0	12,36	1,07
2044	54417,58846	9,98801	0,295	4,909143	0	6,783	0,59
2045	49337,64692	5,48154	0,162	2,694195	0	3,722	0,32
2046	44731,9235	3,00833	0,089	1,478606	0	2,043	0,18
2047	40556,1494	1,65101	0,049	0,811476	0	1,121	0,1
2048	36770,18839	0,90609	0,027	0,445347	0	0,615	0,05
2049	33337,651	0,49727	0,015	0,244412	0	0,338	0,03
2050	30225,54473	0,27291	0,008	0,134136	0	0,185	0,02
2051	27403,957	0,14978	0,004	0,073615	0	0,102	0,01
2052	24845,76757	0,0822	0,002	0,040401	0	0,056	0
2053	22526,38793	0,04511	0,001	0,022173	0	0,031	0

Tablo 5.21. (Devamı) ($k=0,60$ ve $Lo=157$) sabit değerlerine göre tahmini enerji miktarı (kWh)

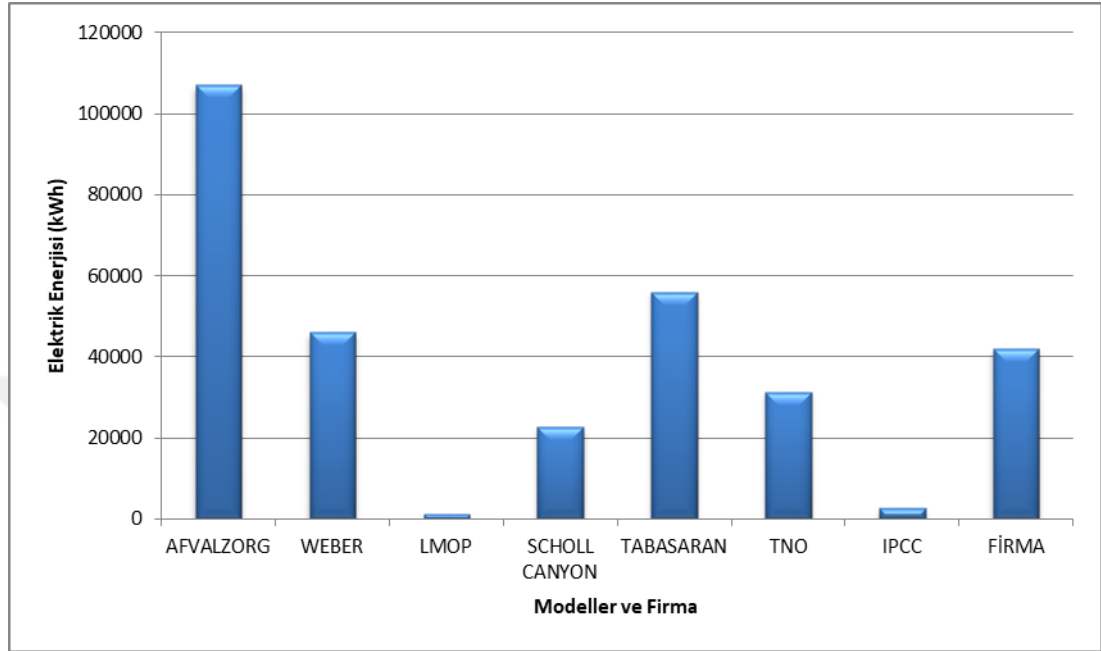
2054	20423,52492	0,02476	0	0,012169	0	0,017	0
2055	18516,96648	0,01359	0	0,006678	0	0,009	0
2056	16788,38736	0,00746	0	0,003665	0	0,005	0
2057	15221,173	0,00409	0	0,002011	0	0,003	0
2058	13800,25981	0,00225	0	0,001104	0	0,002	0
2059	12511,99043	0,00123	0	0,000606	0	0	0
2060	11343,98241	0,00068	0	0,000332	0	0	0
2061	10285,00921	0,00037	0	0,000182	0	0	0
2062	9324,892328	0,0002	0	0,0001	0	0	0
2063	8454,403407	0,00011	0	0	0	0	0
2064	7665,175581	0	0	0	0	0	0
2065	6949,623037	0	0	0	0	0	0
2066	6300,868108	0	0	0	0	0	0
2067	5712,675163	0	0	0	0	0	0
2068	5179,390674	0	0	0	0	0	0



Şekil 5.43. Modeller arasındaki (2013 ile 2018) yılları arasında 6 yıl için toplam elektrik enerjisi değerleri ($k=0,60$ ve $Lo=157$ ye göre)

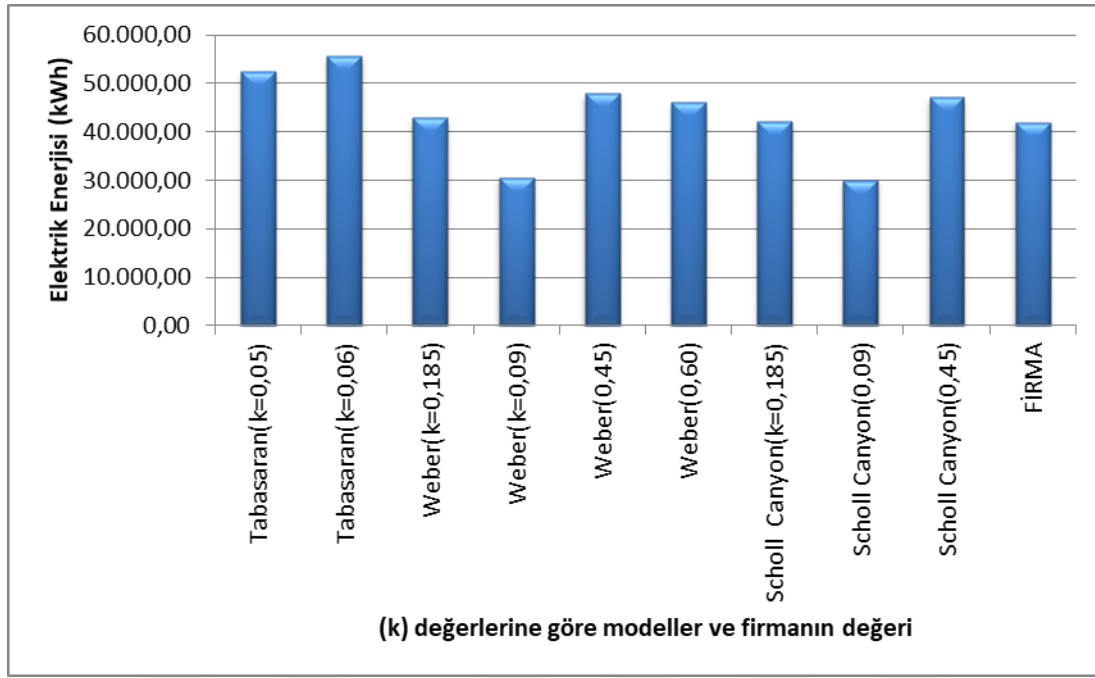
Reaktörlerin sızıntı suyu analizlerinden elde edilen verilerden, excel programında regresyon hesaplaması yapılmış ve hesaplama sonucunda metan üretim sabiti $k=0,60$ olarak belirlenmiştir. Şekil 5.43. de $k=0,60$ ve $Lo=157$ sabit değerlere göre; Metan sonuçların enerji dönüşümlerin de en fazla 416.760 kWh elektrik enerjisi ile Afvalzorg modelidir. Bu değer $k=0,45$ katsayı değerine göre bulunan 312 bin kWh enerjiye göre 104 bin kWh daha fazladır. LMOP ve IPCC modellerinden elde edilen

değerler 50.000 kWh çok altında sonuç vermiştir ve en düşük enerji değerleridir. Tabasaran modeli 250.000 KWh yakın değeri ile Afvalzorg modeline en yakın enerji değeridir. Weber modeli 200.000 kWh enerji değeri seviyesinde ve TNO modeli 150.000 kWh enerji seviyesine yaklaşmıştır.



Şekil 5.44. Metan üretim sabiti ($k=0,60$ ve $Lo=157$)'ye göre 2019 yılı için modellerin enerji dönüşümü ve sahada üretilen enerji

Yukardaki şekil 5.44. incelediğimiz de; Weber modelin 46.107 kWh enerji değeri ile firmanın ürettiği 42.000 KWh enerji değerine çok yakın olduğu görülmektedir. Tabasaran ve TNO modelleri sırasıyla 56.076 kWh - 31.311,12 kWh değerleri ile weber den sonra firmanın değerine yakın seviyededirler. Afvalzorg modelin 2019 yılı için 107.117 kWh değeri oldukça iyimser bir tablodur.



Şekil 5.45. 2019 yılı için yüklenici firma tarafından sahada üretilen maximum elektrik enerjisi ile Saha değerine en yakın modellerin metan üretim sabitine(k) göre hesaplanan teorik elektrik enerjisi sonuçların karşılaştırması

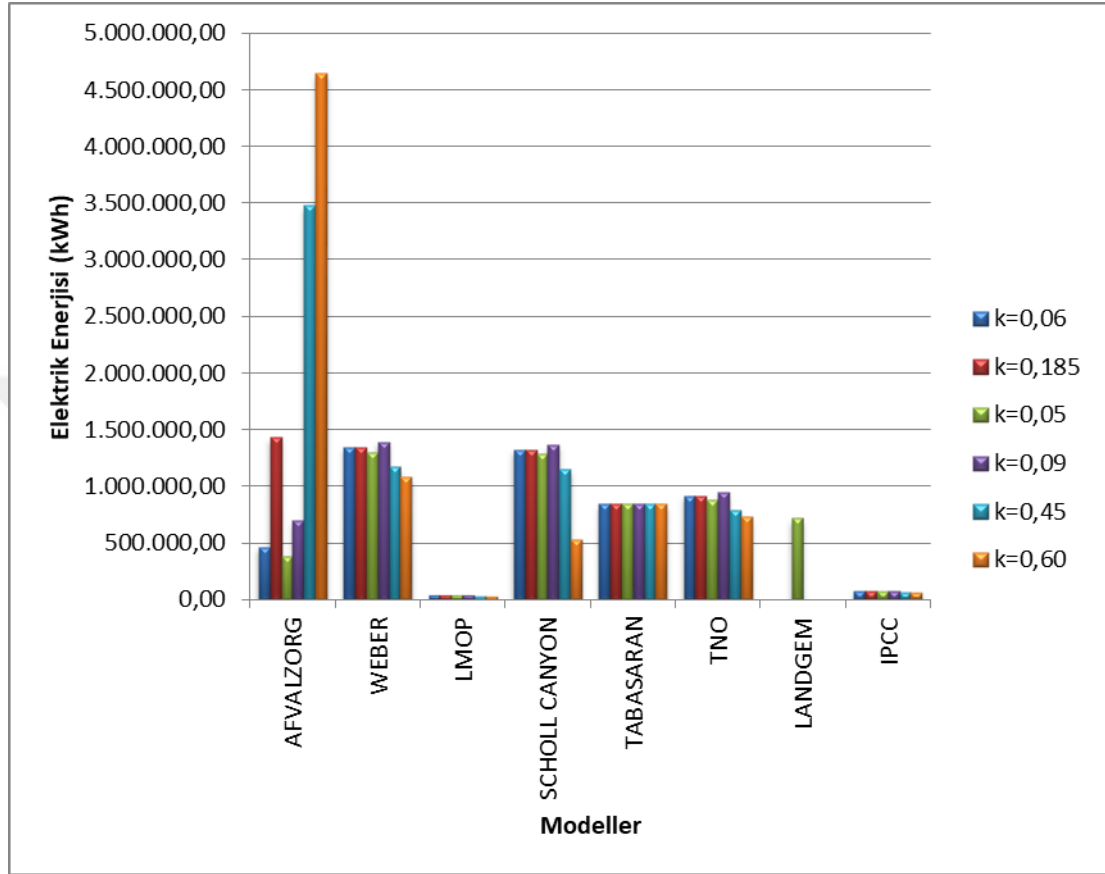
IPCC 2006 yönergesinden belirlenen ($k=0,05$ - $k=0,06$ - $k=0,09$ - $k=0,185$) metan üretim sabit değerleri, sahadaki sızıntı suyu verileriyle göre hesaplanan ($k=0,45$) metan üretim sabit değeri ve reaktörlerin analizine göre hesaplanan ($k=0,60$) metan üretim sabiti ile hesaplanan model sonuçlarında; 2019 yılı için sahada üretilen 42.000 kWh elektrik enerjisine weber ve scholl canyon modelleri en yakın sonuçları vermiştir.

Özellikle ($k=0,185$) metan üretim sabitine göre; Weber modeli (42.847,26 kWh) ve Scholl Canyon (42.119, 16 kWh) 2019 yılı için ile saha değerine çok yakın modeller olarak belirlenmiştir.

Saha da portatif gaz ölçüm cihazı ile açık gaz bacalardan 6 yıl için ölçüm yapılmıştır. Sistem açık olduğu için sıcaklık ve basınç gibi etmenlerden dolayı, debi hesaplamaların çok düşük olduğu öngörülmüştür. 2019 yılında saha da bacalar kapatılmıştır. Kapalı sistemde debi değerlerinin fazla olmasından dolayı, tesisden elde edilen enerji değeri dikkate alınmıştır.

Düzenli depolama katı atık elektrik üretim tesisinde 2019 yılı için elektrik enerji değerleri elde edilebilmiştir.

Bundan dolayı bir yıl için saha enerji değerleri ile model enerji değerleri karşılaştırılmış ve bir yıldan sonra hem saha için hemde modeller için metan üretim hızı katlanarak devam edeceği öngörülmektedir ve bir yıllık süreci inceleme konjoktürel gerçeği yansıtabilir.



Şekil 5.46. Modellerden hesaplanan 59 yıl için toplam elektrik enerji dönüşüm değerleri (kWh)

Düzenli depolama sahasında 2009 ile 2068 yılları arasında 59 yıl için toplam tahmini elektrik enerji dönüşümü şekil 5.46. da gösterilmiştir. Afvalzorg modelinde; ($k=0,60$) sabitine göre 4.500.000 kWh üzerinde ve ($k=0,45$) sabitine göre 3.500.000 kWh oldukça yakın bir seviyede elektrik enerji değerleri hesaplanmıştır. Afvalzorg modelinde genel olarak (k) değeri yükseldikçe enerji üretim seviyeside yükselebilir diyebiliriz.

Weber ve Scholl Canyon modellerinde farklı (k) değerleri birbirine yakındır genel olarak enerji seviyeleri (1.000.000 ile 1.500.000) kWh arasındadır.

Tabasaran, TNO ve LandGEM modellerinde; Bütün (k) değerleri yakın sonuçlar vermiştir ve ortalama elektrik enerjisi değerleri (500.000 ile 1.000.000) kWh arasındadır.

LMOP ve IPCC modellerinde; Bütün (k) değerleri düşük sonuçlar vermiştir ve ortalama elektrik enerjisi değerleri 500.000 kWh çok altındadır.

Genel olarak 2019 yılı için tesisde üretilen elektrik enerji değeri weber modelini destekler niteliktedir. Eğer 59 yıl için sahada üretilen elektrik enerjisi oranı düşmeden devam ederse, uzun vadede weber modeli sahadaki metan emisyon sonuçlarını yansıtabilir.



6. SONUÇLAR

Sakarya Belediyesi tarafından işletmesi sürdürülen katı atık düzenli depolama sahasında 2009 yılında çöp alımına başlanmış ve 2024 yılına kadar 1.748.600 ton/yıl çöp miktarı toplanmıştır. Sahanın gaz emsiyon değerlerinin belirlemek için 2013 ile 2018 yılları arasında toplam da altı yıl için portatif gaz ölçüm cihazı ile sahaya yerleştirilmiş 19 adet gaz bacasından her ay periyodik olarak düzenli ölçüm yapılmış ve ($\text{CH}_4\text{-CO}_2\text{-H}_2\text{S-CO-H}_2\text{-O}_2$) gaz emsiyonları ölçülmüştür.

Saha da (%) olarak ölçülen gaz emsiyonlarının (m^3/saat) olarak miktarlarını belirlemek için portatif hız ölçüm cihazı ile gaz emsiyonların hızları ölçülmüştür. Debi hesaplanmasın da; Gaz bacaların yüzey alanı ve 4,76 m/s sabit hız verileri kullanılarak, 257,04 m^3/saat sabit debi belirlenmiştir ve gaz emsiyonların (m^3/saat) değerleri bu sabit debiye göre hesaplanmıştır.

Sahada ölçülen gaz emsiyonlardan ($\text{CH}_4\text{-CO}_2\text{-H}_2\text{S-O}_2$)’nin altı yıllık genel toplam değerleri sırasıyla “48.246,21 m^3/saat – 31.546,08 m^3/saat – 156.793,96 ppm – 42.500,52 m^3/saat ” ve üç yıllık ölçülen ($\text{H}_2\text{-CO}$)’nin gaz emsiyonlarının genel toplam değeri sırasıyla “24.135,2 ppm – 4.264 ppm”dir.

Saha daki 19 adet gaz bacalarından 2013 ile 2018 yılları için en yüksek metan salınımı “GB17-GB23-GB25-GB22-GB18-GB19-GB20-GB24” numaralı gaz bacalarında belirlenmiştir.

GB23 gaz bacası 32,5 metre derinliği ile sahanın en derin ve 5.388,35 m^3/saat toplam metan değeri ile sahanın en fazla metan salınımı olan gaz bacasıdır. Özellikle GB24 numaralı gaz bacasının grafik değerinde yer yer düşüşler görülsede altı yıllık metan salınım değerlerinde yükseliş göstermesi ile modellerin altı yıllık grafik değerleri ile benzerlik göstermektedir. Sahada her gaz bacaları değişik verimlerde metan salınımı karakteristiği göstermiştir. Metan oluşumunu etkileyen faktörleri minimum seviyeye indirgendiğinde bacalardan salınan metan değerleri modellerden elde edilen teorik metan değerleri doğrular nitelikte olmaktadır.

Sahada toplanan atık numuneler sahaya özgü katı atık karakterizasyona göre tasnif edilip işlenerek laboratuvar ortamında geri devirli ve geri devirsiz olarak iki reaktör kurulmuştur. Reaktörler 12.10.2018 tarihinde işletilmeye başlatılmıştır ve işletme süreci 1 yıldan fazla sürmüştür “pH, iletkenlik, KOİ, Gaz miktarı ve Metan gaz konsantrasyonu” gibi değerler ölçülmüştür. Bu değerlerin genel ortalaması sırasıyla; Geri devirsiz reaktör 1 için “6,45 mg/L - 1775,10 ms/cm - 5171,54 mg/L - 474,06 ml- % 0,65” olarak belirlenmiştir. Geri devirli reaktör 2 için “6,48 mg/L - 2547,35 ms/cm - 5917,52 mg/L - 444,42 ml - % 0,58” olarak belirlenmiştir. Ayrıca 2014 ile 2017 yılları arasında her ay periyodik olarak sahadaki sızıntı suyun’dan elde edilen pH , BOİ ve KOİ değerlerine ulaşılmıştır. Bu değerlerin genel ortalaması sırasıyla “7,45 mg/L, 5.249,79 mg/L – 8.831,04 mg/L”dir.

Reaktörlerin analizinden elde edilen “Sıcaklık-İletkenlik-pH-KOİ-Metan” verilerinden iki reaktör için ayrı ayrı excel de regresyon hesaplamaları yapılmış. Hesaplama sonuçların da her iki reaktör için ortak 0,60 katsayısı bulunmuştur. Burada metan verisi bağımlı değişken diğer veriler bağımsız değişken olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca hesaplamalarda organik atık %40 alınmıştır.

Sakarya vilayetinin iklim koşulları ve düzenli katı atık sahasındaki çöp karakteristiğini dikkate alarak IPCC 2006 sera gazı envanter yönergesindeki metan üretim oranlarından ($k=0,05$ - $k=0,06$ – $k=0,09$ - $k=0,185$) sabit veriler ve katı atık çöp sahasındaki sızıntısu örneğinden “KOİ-BOİ-pH” verileri ek olarak Sakarya vilayeti meteoroloji istasyon müdürlüğünden elde edilen “Nem-Sıcaklık-Yağış” gibi meteorolojik verileri kullanarak excel regresyon hesaplamasından elde edilen ($k=0,45$) sabit verisi ayrıca EPA’ya bağlı kalarak metan üretim potansiyeli de $Lo=157 \text{ m}^3/\text{saat}$ olarak belirlenmiştir. Ayrıca Landgem modelinde; IPCC 2006 da verilen (k) ve (Lo) sabit değerlerine göre oldukça düşük sonuçlar verdiği için EPA daki ($k=0,05$) ve ($Lo=170$) sabit değerleri kullanılmıştır. Belirlenen bu sabit değerler “Afvalzorg-Weber-LMOP-Scoll Canyon-Tabasaran-TNO-Landgem-IPCC” modeller üzerinde kullanılarak saha için tahmini metan üretim hesaplaması yapılmıştır. Model hesaplamaları 2009 yılından itibaren başlamış ve 2068 yılında sonlandırılarak toplamda 59 yıl için yapılmıştır.

Tabasaran modeli 25. Yıla kadar ve diğer tüm modellerde 29. Yıla kadar tahmini metan üretiminde yükselişe geçmiş ve bu yıllardan itibaren pik kırılma görülerek tahmini metan üretim değerlerinde düşüşe geçmiştir.

Metan üretim sabiti ($k=0,06$) göre tüm modellerde; “Afvalzorg-Weber-LMOP-Scoll Canyon-Tabasaran-TNO-IPCC” 59 yıl için toplam tahmini metan üretim değerleri sırasıyla; (624.282.032,60 - 1.812.523.382,00 - 53.451.701,99 - 890.861.699,80 - 1.131.142.099,00 - 1.230.864.458,00 - 106.903.404,00) $m^3/yıl$ olarak belirlenmiştir. Metan üretim sabiti ($k=0,06$) göre; Toplam tahmini metan üretim sonuçlarında en yüksek değerleri veren Weber modelidir. Ayrıca en düşük tahmini metan üretim sonuçlarını da IPCC modeli vermiştir.

Metan üretim sabiti ($k=0,185$) göre tüm modellerde; “Afvalzorg-Weber-LMOP-Scoll Canyon-Tabasaran-TNO-IPCC” 59 yıl için toplam tahmini metan üretim değerleri sırasıyla; (1.924.869.601,00 - 1.809.360.915,00 - 53.358.440,16 - 889.307.336,00 - 1.133.521.461,00 - 1.228.716.862,00 - 106.716.880,30) $m^3/yıl$ olarak belirlenmiştir. Metan üretim sabiti ($k=0,185$) göre; Toplam tahmini metan üretim sonuçlarında en yüksek değerleri veren Afvalzorg modelidir. Ayrıca en düşük tahmini metan üretim sonuçlarını da LMOP modeli vermiştir.

Metan üretim sabiti ($k=0,05$) göre tüm modellerde; “Afvalzorg-Weber-LMOP-Scoll Canyon-Tabasaran-TNO-LandGEM-IPCC” 59 yıl için toplam tahmini metan üretim değerleri sırasıyla; (520.235.027,2 - 1.753.212.239 - 51.702.603,7 - 861.710.061,60 - 1.132.254.485,0 - 1.190.586.921,0 - 966.017.172,5 - 103.405.207,4) $m^3/yıl$ olarak belirlenmiştir. Metan üretim sabiti ($k=0,05$) göre; Toplam tahmini metan üretim sonuçlarında en yüksek değerleri veren Weber modelidir. Ayrıca en düşük tahmini metan üretim sonuçlarını da LMOP modeli vermiştir.

Metan üretim sabiti ($k=0,09$) göre tüm modellerde; “Afvalzorg-Weber-LMOP-Scoll Canyon-Tabasaran-TNO-IPCC” 59 yıl için toplam tahmini metan üretim değerleri sırasıyla; (936.423.048,9 - 1.870.650.180 - 55.165.873,66 - 991.142.396,00 - 1.133.515.946 - 1.270.337.719 - 110.331.747,3) $m^3/yıl$ olarak belirlenmiştir.

Metan üretim sabiti ($k=0,09$) göre; Toplam tahmini metan üretim sonuçlarında en yüksek değerleri veren Weber modelidir. Ayrıca en düşük tahmini metan üretim sonuçlarını da LMOP modeli vermiştir.

IPCC 2006 sera gazı envanter yönergesinde belirlenmiş varsayılan metan üretim oranları(k) baz alınarak hesaplanan model sonuçlarına göre saha için en fazla tahmini metan üretim sonuçları veren Afvalzorg ve Weber modelleri olduğu görülmektedir.

Metan üretim sabiti ($k=0,45$) göre tüm modellerde; “Afvalzorg-Weber-LMOP-Scoll Canyon-Tabasaran-TNO-IPCC” 59 yıl için toplam tahmini metan üretim değerleri sırasıyla; (4.682.115.245 - 1.574.133.619 - 46.421.536,92 - 773.692.281,90 - 1.133.521.461 - 1.068.976.623 - 92.843.073,83) $m^3/yıl$ olarak belirlenmiştir.

Metan üretim sabiti ($k=0,45$) göre; Toplam tahmini metan üretim sonuçlarında en yüksek değerleri veren Afvalzorg modelidir. Ayrıca en düşük tahmini metan üretim sonuçlarını da LMOP modeli vermiştir.

Metan üretim sabiti ($k=0,60$) göre tüm modellerde; “Afvalzorg-Weber-LMOP-Scoll Canyon-Tabasaran-TNO-IPCC” 59 yıl için toplam tahmini metan üretim değerleri sırasıyla; (6.242.820.326 - 1.450.884.097 - 42.786.882 - 713.114.702 - 1.133.521.416 - 985.279.244 - 85.573.764) $m^3/ yıl$ olarak belirlenmiştir.

Metan üretim sabiti ($k=0,60$) göre; Toplam tahmini metan üretim sonuçlarında en yüksek değerleri veren Afvalzorg modelidir. Ayrıca en düşük tahmini metan üretim sonuçlarını da LMOP modeli vermiştir.

Modellerin elektrik enerji dönüşümlerinin değerlendirilmesinde; ($k=0,05$ - $k=0,06$ - $k = 0,45$ - $k=0,09$ - $k=0,185$) metan üretim sabitlerine göre hesaplanan tahmini metan salınım sonuçlarının, 5600 kcal metanın kalorifik değerini kullanarak, gerekli formülasyon hesabına göre metan($m^3/yıl$) değerleri, (kWh) elektrik enerjisine dönüşümü yapılmıştır.

($k=0,06$) metan üretim sabitine göre; “Afvalzorg-Weber-LMOP-Scoll Canyon-Tabasaran-TNO-IPCC” modellerinin 59 yıllık için toplam elektrik enerji dönüşümleri sırasıyla “464.051,63- 1.347.314,82 - 39.732,60- 662.210,03 - 840.819,23 - 914.946,50 - 79.465,20 “ kWh olarak hesaplanmıştır. Bu elektrik enerjisi dönüşümünde 1.347.314,82 kWh değerinde en yüksek verimli model Weber modelidir.

($k=0,185$) metan üretim sabitine göre; “Afvalzorg-Weber-LMOP-Scoll Canyon-Tabasaran-TNO-IPCC” modellerinin 59 yıllık için toplam elektrik enerji dönüşümleri sırasıyla; “1.430.825,86 - 1.344.964,04 - 39.663,27 - 661.054,61 - 842.587,90- 913.350,11 - 79.326,55” kWh olarak hesaplanmıştır. Bu elektrik enerjisi dönüşümün de 1.430.825,86 kWh değerinde en yüksek verimli model Afvalzorg modelidir.

($k=0,05$) metan üretim sabitine göre; “Afvalzorg-Weber-LMOP-Scholl Canyon-Tabasaran-TNO-LandGEM-IPCC” modellerinin 59 yıllık için toplam elektrik enerji dönüşümleri sırasıyla; “386.709,69 – 1.303.226,68 – 38.432,43 – 640.540,55 – 841.646,10- 885.006,73 – 718.075,84 – 76.864,86” kWh olarak hesaplanmıştır. Bu elektrik enerjisi dönüşümün de 1.303.226,68 kWh değerinde en yüksek verimli model Weber modelidir.

($k=0,09$) metan üretim sabitine göre; “Afvalzorg-Weber-LMOP-Scholl Canyon-Tabasaran-TNO-IPCC” modellerinin 59 yıllık için toplam elektrik enerji dönüşümleri sırasıyla; “696.077,44 – 1.390.522,59 – 41.006,80 – 736.752,33 – 842.583,79- 944.288,41 – 82.013,61” kWh olarak hesaplanmıştır. Bu elektrik enerjisi dönüşümün de 1.390.522,59 kWh değerinde en yüksek verimli model Weber modelidir.

($k=0,45$) metan üretim sabitine göre; “Afvalzorg-Weber-LMOP-Scholl Canyon-Tabasaran-TNO-IPCC” modellerinin 59 yıllık için toplam elektrik enerji dönüşümleri sırasıyla; “3.480.387,24 – 1.170.111,01 – 34.506,82 – 575.113,72 – 842.587,89- 794.609,36 – 69.013,64” kWh olarak hesaplanmıştır. Bu elektrik enerjisi dönüşümün de 3.480.387,24 kWh değerinde en yüksek verimli model Afvalzorg modelidir.

($k=0,60$) metan üretim sabitine göre; “Afvalzorg-Weber-LMOP-Scholl Canyon-Tabasaran-TNO-IPCC” modellerinin 59 yıllık için toplam elektrik enerji dönüşümleri sırasıyla; “4.640.516,33 – 1.078.495,13 – 31.805,05 – 530.084,20 – 842.587,89- 732.394,04 – 63.610,10” kWh olarak hesaplanmıştır. Bu elektrik enerjisi dönüşümün de 4.640.516,33 kWh değerinde en yüksek verimli model Afvalzorg modelidir.

Formülasyon hesaplamasına göre yüksek verimli enerji değerleri veren Weber ve Afvalzorg modelleridir.

Yüklenici firmanın 2019 yılı için üretmiş olduğu 42.000 kWh elektrik enerjisinin model sonuçları ile karşılaştırmasını da;

Tabasaran ($k=0,05$) – Tabasaran ($k=0,06$) – Weber ($k=0,185$) – Weber ($k=0,09$) – Weber ($0,45$) – Weber ($0,60$) – Scholl Canyon ($k=0,185$) – Scholl Canyon ($k=0,09$) – Scholl Canyon ($k=0,60$) modellerinin sırasıyla “ 52.465,51 – 55.588,40 – 42.847,26 – 30.549,33 – 47.948,70 – 46.107,50 – 42.119,16 – 30.030,21 – 47.133,91” kWh

enerji değerleri ile Weber ($k=0,185/42.847,26$ kWh) ve Scholl Canyon ($k=0,185/42.119,16$ kWh) modelleri, tesis de üretilen 42.000 kWh enerji değerine en yakın sonuçlardır.

Saha değeri ile model değerlerini bir yıl için değerlendirmek belki yeterli gelmeyebilir fakat gelecek yıllar için tesisdeki enerji üretim kapasitesi azalmadan artarak devam ederse modellerden çıkan sonuçlar saha da gelecekte üretilecek enerji seviyesine minimum düzeyde de olsada ışık tutmaktadır diyebiliriz.

Sahada 2013 ile 2018 yılları arasında ölçtüğümüz gaz emisyon verilerden toplam da altı yıl için $44.726,34$ m³/saat metan salınımı olmuştur.

Aynı yıllar için modellerden elde edilen teorik toplam metan değerlerin ortalaması ise $22.941.606,13$ m³/yıl'dır.

Ayrıca 2019 yılı için yüklenici firma sahada (36.000 ile 42.000) kWh arasında elektrik enerjisi retmiştire ve 2019 yılı için modellerden elde edilen teorik toplam metan değerlerin ortalaması $33.780.262,39$ m³/yıl'dır enerji dönüşümü ise $25.110,10$ kWh'dir.

Yapılan greceleri hesapları 2019 yılı için değerlendirdiğimizde; En verimli potansiyel enerji birinci sırada saha da üretilen enerji, ikinci sırada modellerden hesaplanan teorik enerji olduğu saptanmıştır.

Modellerden elde edilen enerji dönüşümleri minumum düzeyde tahmini değerlerdir şuan saha da bulunan 4,5 MW enerji kapasitesinde gaz motorlarından 3 tane mevcuttur bu gaz motorlarından bir tanesinin aylık üretim kapasiteleri $31.456.000$ kWh dir. 2013 ile 2018 yılları arasında tespit edilen $44.726,34$ m³/saat toplam metan değeri ile altı yıl boyunca aylık $31.456.000$ kWh üretim yapılsa altı yılda toplam $2.264.832.000$ kWh enerji elde etmiş oluruz bu değerin %50 sini gerçek değerler kabul edersek $1.132.416.000$ kWh enerji değerine ulaşırsınız günlük ortalama bir evin aylık elektrik enerji ihtiyaı 200 kwh dir. Bu değerlere göre altı yılda toplam da 78.640 hanenin enerji ihtiyaı karşılanabilir bu sonuçlar oldukça gelecek vaad etmektedir.

Yüklenici firma tarafından katı atık düzenli depolama işletme tesisin kurulum maliyeti ortalama 25 milyon € ' dur. Tesisin maksimum verim düzeyinde işletildiğinde; Tesis aylık 10,4 Mw enerji üretim kapasitesine ulaşacaktır. 10,4 Mw enerji $10.400.000$ kWh eşdeğerdir. Ortalama bir evin aylık elektrik tüketimi 200

kWh'dir. Tesis 52.000 hanenin aylık elektrik enerji ihtiyacını karşılayabilecek seviyeye gelecektir. Bir hanenin aylık 200 kWh elektrik ihtiyacını bedeli ortalama 300 TL (8,5 €) (1 € = 35 TL) kabul sayarsak, 52.000 hanede bu bedel aylık 15.600.000 TL (445.714,28 €) eşdeğerdir ve yıllık değer ise 187.200.000 TL (5.348.571,42 €) tekabül eder. Tesisin işletme maliyeti, vergiler gibi giderlere %10 iskonto yapıldığında 168.480.000,00 TL (4.813.714,28 €) yıllık net gelir elde edilir. Bu gelir ile beş yıl gibi kısa sürede tesisin yatırım maliyetini karşıladığı görülür.

Ülkemizde 2019 yılı için (29+71) biyogaz tesisi ve yıllık 1560 GWh biyogaz enerji potansiyeli ile G20 ülkeleri arasında iyi bir konumdadır. Ancak Ülkemizin enerjide dışa bağımlı olması ekonomiyi olumsuz etkilemektedir.

Ülkemizin enerji bağımlılığını en aza indirmek için alternatif enerji kaynaklara yönelimin çoğalması özellikle biyogaz sektöründe tesislerin yapımı ve çöp gazı enerji dönüşümünde uzman personellerin yetiştirilmesi Ülkemizin her vilayetlerinde katı atık düzenli depolama sahalarının oluşturulması ve bu sahalara özgü metan üretim sabiti(k) ve metan üretim potansiyelinin(Lo) geliştirilmesi gerekmektedir.

Sakarya katı atık düzenli depolama sahası için yapılan bu tez çalışmasın da saha verileri ile model verilerin uyumlu olduğu görülmektedir, kısıtlı imkanlarla yapılan bu çalışma, çöp gazı enerji dönüşümü alanında bir mozaik taşı oluşturmaktadır ve gelecek çalışmalara aydınlatıcı bilgiler verecektir.



KAYNAKLAR

- [1] Çamurcu, H. (2015). Dünya nüfus artışı ve getirdiği sorunlar. Balıkesir Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sosyal Bilimler Dergisi, Balıkesir, 88-105.
- [2] Kankılıç, T. (2015). Belediye atıklarından düzenli depolama sahalarında Biyogaz ve enerji üretimi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 56, 669.
- [3] Türkiye İstatistik Kurumu. (2020, 16 Aralık). Atık Miktarı. <https://www.tuik.gov.tr> adresinden 16 Aralık 2020 tarihinde alınmıştır.
- [4] Wikipedia. (2020, 16 Aralık). Atmosferdeki metan. <https://www.Tr.wikipedia.org/wiki/metan> adresinden 16 Aralık 2020 tarihinde alınmıştır.
- [5] Dünya Meteoroloji Örgütü. (2020, 17 Aralık). Atmosferdeki Metan. <https://www.dw.com/tr/atmosferde-sera-gaz%C4%B1-yyo%C4%9Funlu%C4%9Fu-rekor-seviyede/a-46411222>. Adresinden 17 aralık 2020 tarihinde alınmıştır.
- [6] Boğaziçi Üniversitesi. (2020, 16 Aralık). İklim Değişimi. <http://climatechange.boun.edu.tr/sera-etkisi-nedir>. Adresinden 16 aralık 2020 tarihinde alınmıştır.
- [7] Atlas Enerji. (2020, 17 Aralık). Türkiyede Elektrik Üretimi. <https://www.atlasenerji.com/biyogaz>. Adresinden 17 Aralık 2020 tarihinde alınmıştır.
- [8] İstanbul Çevre Yönetimi SAN. Ve TİC. A.Ş. Odayeri Çöp Gazı Santrali. (2020, 17 Aralık). <https://www.istac.istanbul/tr/temiz-istanbul/evsel-atik-yonetimi/duzenli-> Adresinden 17 Aralık 2020 tarihinde alınmıştır.
- [9] Çakır, K.A. (2012). *İzmir harmandalı düzenli depolama alanındaki metan gazı potansiyelinin belirlenerek elektrik enerji değerlerinin elde edilmesi* [Doktora Tezi] Ege Üniversitesi.
- [10] Tchobanoglous, G., Theisen, H. And Vigil, S. (1993). *Integrated solid waste management : Engineering principles and management issues*. McGraw-Hill.
- [11] Coğrafya Bilimi. (2020, 18 Aralık). Katı Atık Sınıflaması. <https://www.cografyabilimi.gen.tr/atiklar-nasil-siniflandirilir> Adresinden 18 Aralık 2020 tarihinde alınmıştır.
- [12] Intergovernmental Panel on Climate Change. (2020, 28 Aralık). Katı Atık Sınıflaması. www.ipcc-nggip.iges.or.jp. Adresinden 28 Aralık 2020 tarihinde alınmıştır.

- [13] Ogunjuyigbe, A.S.O., Ayodele, T.R., & Alao, M.A. (2017). Electricity generation from municipal solid waste in some selected cities of Nigeria: An assessment of feasibility, potential and Technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (80), 149–162. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.177>
- [14] Environmental Protection Agency. (2021, 28 Eylül). Landgem pdf kılavuz. <https://www3.epa.gov/ttnecat1/dir1/landgem-v302-guide.pdf>. Adresinden 28 Eylül 2021 tarihinde alınmıştır.
- [15] Christensen, T. H., Demir, A., Akça, L., Solid Waste Technology & Management, Chapter 3.1. John Wiley & Sons, Ltd. Chichester, 69-80, 2010.
- [16] Christensen, T. H., DEMİR, A., AKÇA, L., Solid Waste Technology & Management, Chapter 3.1. John Wiley & Sons, Ltd. Chichester, 774-776, 2010.
- [17] Vesilind, P.A., Worrel, W.A. and Reinhart, D.R. (2002). *Solid waste engineering*. Brooks/Cole, Pacific Grove.
- [18] Tchobanoglous, G., Theisen, H. And Vigil, S. (1993). *Integrated solid waste management : Engineering principles and management issues*. McGraw-Hill.
- [19] Tabasaran, O. (1978). *Katı Atık Teknolojisinde Gelişmeler*, Kurs Notları, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [20] Alpaslan, M.N. (2005). *Katı Atıkların Yönetimi*. TMMOB Çevre Mühendisleri Odası, İzmir.
- [21] Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı. (2019, 21 Ağustos). Entegre Atık Yönetimi. www.webdosya.csb.gov.tr. Adresinden 21 Ağustos 2019 tarihinde alınmıştır.
- [22] İstanbul Çevre Yönetimi SAN. Ve TİC. A.Ş. (2021, 28 Eylül). Entegre Atık Yönetimi. https://istac.istanbul/contents/44/cevre-makaleleri_130838592910380265.pdf Adresinden 28 Eylül 2021 tarihinde alınmıştır.
- [23] İstanbul Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Kontrol Dairesi Başkanlığı. (2020, 19 Aralık). Düzenli Depolama Sahası Yapımı. <https://atikyonetimi.ibb.istanbul/hizmetlerimiz/duzenli-depolama-alanlari>. Adresinden 19 Aralık 2020 tarihinde alınmıştır.
- [24] Demir, A., Özkaya, B. and Bilgili, S.B. (2003). *Effect of leachate recirculation on methane production and storage capacity in landfill*, Fresenius Environmental Bulletin, 12, 29-38.
- [25] Christensen, T.H. and Kjeldsen, P. (1995). *Basic biochemical process in landfills, Symposium on Solid Waste Management in the Mediterranean Countries*, 9-13, 29-49.
- [26] Mcbean, E.A., Rovers, F.A. and Farquhar, G.J. (1995). *Solid waste landfill engineering and design*, Prentice Hall PTR.
- [27] Özcan, H.K. (2009). *Katı atık düzenli depolama gazlarının genetik algoritmalarla düzenlemesi* [Doktora Tezi]. İstanbul Üniversitesi.

- [28] Tınmaz, E., ve Demir, İ. (2005, Mayıs, 193-200). *Aerobik depolama yönteminin uygulanma esasları ve uygulamadan bazı örnekler*, III. Ulusal Katı Atık Kongresi, İzmir, Türkiye.
- [29] Tchobanoglous, G., Theisen, H. and Vigil, S. (1993). *Integrated solid waste management-engineering principles and management issues*, McGraw-Hill.
- [30] Martin, S., Maranon, E.M., Sastre H., (1997). *Landfill gas extraction technology study, simulation and manually controlled extraction*, *Bioresource Technology*, 62, 47-54.
- [31] Bottomley, V. (1993). *Monitoring of landfill gas*, *The Institute of Wastes Management's Technical Sub Committee, Department of Environment*, Third Print.
- [32] El-fadel, M., Findikakis, N.A., & Leckie, O.J. (1997). *Environmental impacts of solid waste landfilling*, *Journal of Environmental Management*, 50, 1-25.
- [33] Christensen, T. H., DEMİR, A., AKÇA, L., *Solid Waste Technology & Management*, Chapter 3.1. John Wiley & Sons, Ltd. Chichester, 774-776, 2010.
- [34] Uşak Belediyesi. (2021, 28 Eylül). Atık Yönetimi Rapor. <https://www.usak.bel.tr/dosya/usakkatiatikyonetimiraporu.pdf>. Adresinden 28 Eylül 2021 tarihinde alınmıştır.
- [35] Çelebi, H. (2019). *Ordu ili katı atığının enerji üretme potansiyelinin belirlenmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. Ondokuz Mayıs Üniversitesi.
- [36] Keskin, A.C. (2021). *Katı atık düzenli depolama sahalarında depo gazından enerji elde edilmesi ve depo gazı oluşumunu etkileyen faktörler* [Yüksek Lisans Tezi]. Aksaray Üniversitesi.
- [37] Arslan, Z. (2022). *Erzurum katı atık düzenli depolama sahasındaki depo gazı verimliliğinin landgem modeli kullanılarak incelenmesi* [Yüksek Lisans Tezi] Atatürk Üniversitesi.
- [38] Geçgel, T. (2023). *Gerçek ölçekli genç katı atık depolama sahasında metan üretim potansiyelinin ve sızıntı suyu karakterizasyonunun belirlenmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. Pamukkale Üniversitesi.
- [39] Akar, İ. (2019). *Afyonkarahisar katı atık düzenli depolama tesisi'nde oluşan depo gazının matematiksel modeller kullanılarak belirlenmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. Süleyman Demirel Üniversitesi.
- [40] Gürdal, U. (2019). *Düzenli depolama sahalarının işletilmesi atık karakterizasyonu ve LFG gazından enerji üretimi* [Yüksek Lisans Tezi]. Aksaray Üniversitesi.
- [41] Altan, H.S. (2015). *The effects of biodegradable waste diversion on landfill gas potential in Turkey* [M.Sc. Thesis]. İstanbul Technical University.
- [42] Altuntaş, E. (2021). *Düzenli depolama sahalarında depo gazı (LFG) yöntemi kullanılarak enerji eldesi ve Edirne uygulamaları* [Yüksek Lisans Tezi]. Trakya Üniversitesi.

- [43] Fayetörbay, M.T. (2022). *Katı atık düzenli depolama sahalarında depo gazı ve Erzurum ili metan gazından elektrik üretimi tesisinin incelenmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. Atatürk Üniversitesi.
- [44] Christensen, T. H., DEMİR, A., AKÇA, L., Solid Waste Technology & Management, Chapter 3.1. John Wiley & Sons, Ltd. Chichester, 774-776, 2010.
- [45] Rajaram, R., Siddiqui, Faisal, Z. and Emran, Khan, M. (2012). *From Landfill Gas to Energy - Technologies and Challenges*, CRC Press Kindle Edition.
- [46] Yenice, O.T. (2005). *Kırsal kesimde kurulabilecek doğalgaz yakıtlı otoproduktör kojenerasyon santralleri üzerine bir araştırma* [Doktora Tezi] Ankara Üniversitesi.
- [47] Pravadalıoğlu, S. (2021, 28 Eylül). Kojenerasyon pdf makale <https://file.ttmd.org.tr/makale/77-1.PDF>. Adresinden 28 Eylül 2021 tarihinde alınmıştır.
- [48] Tres Enerji. (2019, 30 Eylül). Trijenerasyon. <http://www.tresenerji.com.tr/tr/birlesik>. Adresinden 30 Eylül 2019 tarihinde alınmıştır.
- [49] Ak Enerji. (2019, 30 Eylül). Kojenerasyon ve Trijenerasyon. <http://www.akenerji.com.tr/koj>. Adresinden 30 Eylül 2019 tarihinde alınmıştır.
- [50] Geliş, K. (2019), *Farklı akış alanı tasarımlarının yakıt pili performansına etkisinin deneysel ve sayısal incelenmesi*, [Doktora Tezi]. Erzurum Teknik Üniversitesi.
- [51] Sungur, B., Özdoğan, M., Topaloğlu, B., ve Namlı, L. (2017). Küresel Enerji Tüketimi Bağlamında Mikro Kojenerasyon Sistemlerinin Teknik ve Ekonomik Değerlendirilmesi, 58, 686, 1-20.
- [52] Akkuş, F. (2018). *Biyogaz enerjisi ve gaz motorlu kojenerasyon tesisi tasarımı* [Yüksek Lisans Tezi]. Aksaray Üniversitesi.
- [53] Wikipedia. (2020, 22 Aralık). Internal Combustion Engine. https://en.wikipedia.org/wiki/Internal_combustion_engine. Adresinden 22 Aralık 2020 tarihinde alınmıştır.
- [54] Elektrik Port. (2020, 22 Aralık). Stirling Motoru. <https://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/stirling-motoru-nedir/15095#ad-image-0>. Adresinden 22 Aralık 2020 tarihinde alınmıştır.
- [55] Çeçil, Ü. (2018). *Kojenerasyon ve trijenerasyon sistemlerinin kullanılabilirliği ve ekonomik analizi* [Yüksek Lisans Tezi]. Atatürk Üniversitesi.
- [56] Elektrik Port. (2020, 22 Aralık). Stirling Motoru. <https://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/stirling-motoru-nedir>. Adresinden 22 Aralık 2020 tarihinde alınmıştır.

- [57] Çakır, D. (2006). *Gaz türbinli kojenerasyon sistemlerinde yakıt olarak doğalgaz kullanımının incelenmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. Yıldız Teknik Üniversitesi.
- [58] Testo. (2019, 3 Ekim). Gaz Türbin. www.testo.com.tr. Adresinden 3 Ekim 2019 tarihinde alınmıştır.
- [59] Enerji Sistemleri Mühendisliği. (2020, 22 Aralık). Buhar Türbin. <https://www.enerjisistemlerimuhendisligi.com/buhar-turbini.html>. Adresinden 22 Aralık 2020 tarihinde alınmıştır.
- [60] School Work Helper. (2020, 22 Aralık). Buhar Türbin. <https://schoolworkhelper.net/steam-turbines-summary-uses>. Adresinden 22 Aralık 2020 tarihinde alınmıştır.
- [61] Semantic Scholar. (2020, 22 Aralık). Mikrogaz Türbin. <https://www.semanticscholar.org/paper/Development-of-a-hydrogen-fuelled-1-kW-ultra-micro-Robinson-Funke/ce6a93c9b059c5ee3fdc00460256276ee8550f61>. Adresinden 22 Aralık 2020 tarihinde alınmıştır.
- [62] Pinterest. (2019, 4 Ekim). Mikrogaz Türbin. <https://tr.pinterest.com/pin/400116748128741449/?lp=true>. Adresinden 4 Ekim 2019 tarihinde alınmıştır.
- [63] Ergün, A., Özkaymak, M., Kılınçaslan, E. (2016). Organik Rankine Çevrimi Prensibi ile Düşük Sıcaklıktaki Kaynaklardan Elektrik Üretim Uygulamaları (4) 686-696.
- [64] Force Field Denerty. (2019, 24 Kasım). Organik Rankine Çevrimi. www.forcefielddenerty.com. Adresinden 24 Kasım 2019 tarihinde alınmıştır.
- [65] Mühendis Beyinler. (2019, 10 Ekim). Yakıt Pili. <https://www.muhendisbeyinler.net/yakit-pili-nedir>. Adresinden 10 Ekim 2019 tarihinde alınmıştır.
- [66] Geliş, K. (2019), *Farklı akış alanı tasarımlarının yakıt pili performansına etkisinin deneysel ve sayısal incelenmesi*, [Doktora Tezi]. Erzurum Teknik Üniversitesi.
- [67] Aslanbay, H. (2010). *Katı oksit yakıt pillerinde kullanılmak üzere k_2nif_4 yapısında elektrot madde sentezleri ve elektrokimyasal karakterizasyonu yakıt pilleri* [Yüksek Lisans Tezi]. Süleyman Demirel Üniversitesi.
- [68] Akpınar, N. (2006). *Kentsel Katı Atıklardan Enerji Üretimi* [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [69] Çakır, K.A. (2012). *İzmir harmandalı düzenli depolama alanındaki metan gazı potansiyelinin belirlenerek elektrik enerji değerlerinin elde edilmesi* [Doktora Tezi] Ege Üniversitesi.
- [70] Çetindemir, H.M. (2012). *Katı atık düzenli depolama sahalarında depo gazı tahmin modellerine alternatif model geliştirilmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. Yıldız Teknik Üniversitesi.

- [71] Intergovernmental Panel on Climate Change. (2020, 28 Aralık). Katı Atık Sınıflaması. www.ipcc-nggip.iges.or.jp. Adresinden 28 Aralık 2020 tarihinde alınmıştır.
- [72] Sawyer, J. (2007). Canadian Landfill Gas Production: Improving the Model to Estimate Present and Future Methane Production [Doktora Tezi]. University of Manitoba.
- [73] Preen, P.J., and Murphy, R.J. (2001). Evaluation of alternatives for extending the life of landfills. *Environmental Engineering Policy* (June): 213-223.
- [74] Kim, M. (2003). The study of landfill microbial communities using landfill gas and landfill gas condensate. [Doctor of Philosophy]. Drexel University.
- [75] Huitric, R., and Soni, R. (1997). Making the most of landfill gas projections models. Paper presented at SWANA Proceedings.
- [76] Jacobs, J., and Scharff, H. (2001). Comparison of methane emission models and methane emission measurements.
- [77] Borjesson, G.B., Samuelsson, Galle, J., and Svensson, B.H. (2000). Methane emissions from landfills: Options for measurement and control. Stratford-upon-Avon.
- [78] EPER. (2003). Supporting document for the determination of diffuse methane emissions from landfill sites. Retrieved January 12, 2006. [http://www.eper.cec.eu.int/eper/documents/Supporting Document determination of emissions of landfills pdf](http://www.eper.cec.eu.int/eper/documents/Supporting_Document_determination_of_emissions_of_landfills.pdf).
- [79] Findikakis, A.N., Papelis, C., Halvadakis, C.P., and Leckie, J.O. (1988). Modeling gas production in managed sanitary landfills. *Waste Management and Research*: 115- 123.
- [80] Coops, O., Luning, L., Oonk, H., and Weenk, A. (1995). Validation of landfill gas formation models.
- [81] Environmental Protection Agency. (2021, 28 Eylül). Landgem pdf kılavuz. <https://www3.epa.gov/ttnecat1/dir1/landgem-v302-guide.pdf>. Adresinden 28 Eylül 2021 tarihinde alınmıştır.
- [82] Lombardi, L., Landfill Gas : Generation Models and Energy Recovery in Landfill Research Trends. Velinni Nova Science Publishers Inc. New York, pages, 81-85, 2007.
- [83] Tabasaran, O. and Rettenberger, G. (1987). *Grundlagen Zur Planung Von Entgasungsanlagen, In Müll und Abfallbeseitigung, kumpf, Maas, Straub, Hrsg, kennziffer 4547, E. Schmidt-verlag, Bielefeld*.
- [84] Baştürk, A. Ve Demir, A. (1994). *Katı Atık Depo Sahaları Tip Projesi Nihai Rapor*, Yıldız Teknik Üniversitesi.
- [85] Benny, D.E. (2002). *Katı atık düzensiz sahalar için uygun gaz oluşum modellerin belirlenmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [86] Scharff H., Jacobs J., Applying guidance for methane emission estimation for landfills. *Waste Management*, 26, 417-429, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2005.11.015>

- [87] Deepam, D., Bijoy, Kumar, M., Soumyajit, P., Tushar, J., Estimation of land-fill gas generation from municipal solid waste in Indian Cities. *Energy Procedia*, 90, 50-56, 2016 <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.11.169>
- [88] Environmental Protection Agency. (2021, 28 Eylül). Lmop pdf kılavuz <https://www.epa.gov/lmop/documents/pdfs>. Adresinden 28 Eylül 2021 tarihinden alınmıştır.
- [89] İzaydaş. (2021, 28 Eylül). Weber Model. <https://www.izaydas.com.tr/files/IZAYDAS-Annual-Report-2020.PDF>. Adresinden 28 Eylül 2021 tarihinden alınmıştır.
- [90] Mackie, K.R., ve Cooper, C.D. (2009). Landfill gas emission prediction using Voronoi diagrams and importance sampling. *Environmental Modelling & Software*, 24, 1223-1232. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2009.04.003>
- [91] Garg A., Achari G., & Joshi R.C. (2006). A model to estimate the methane generation rate constant in sanitary landfills using fuzzy synthetic evaluation. *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy*, 24, 363-375. <https://doi.org/10.1177/0734242X06065189> .
- [92] Ozkaya, B., Demir, A., & Bilgili, M.S. (2007). Neural network prediction model for the methane fraction in biogas from field-scale landfill bioreactors. *Environmental Modelling & Software*, 22, 815-822. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2006.03.004>
- [93] Nojedehe P., Heidari M., Ataei A., Nedaei M., & Elnaz K. (2016). Environmental assessment of energy production from landfill gas plants by using Long-range Energy Alternative Planning (LEAP) and IPCC methane estimation methods: A case study of Tehran. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 16, 33-42. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2016.04.001> .
- [94] Thompson, S., Sawyer, J., Bonam, R., & Valdivia, J.E. (2009). Building a better methane generation model: Validating models with methane recovery rates from 35 Canadian landfills. *Waste Management*, 29, 2085-2091. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.02.004>
- [95] Çakır, K.A. (2012). *İzmir harmandalı düzenli depolama alanındaki metan gazı potansiyelinin belirlenerek elektrik enerji değerlerinin elde edilmesi* [Doktora Tezi] Ege Üniversitesi.
- [96] Aguilar-Virgen, Q., Taboada-González, P., Ojeda-Benítez, S., & Cruz-Sotelo, S. (2014). Power generation with biogas from municipal solid waste : Prediction of gas generation with in situ parameters. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, 412-419. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.10.014>
- [97] International Solid Waste Association. (2021, 28 Eylül). Dünya Atık Bileşimi. <https://www.iswa.org/?v=ebe021079e5a>. Adresinden 28 Eylül 2021 tarihinde alınmıştır.

- [98] American Biogas Council. (2021, 28 Eylül). Biyogaz Tesis. <https://americanbiogascouncil.org/biogas-market-snapshot>. Adresinden 28 Eylül 2021 tarihinde alınmıştır.
- [99] Canada Biogas Association. (2021, 28 Eylül). Biyogaz Tesis. https://biogasassociation.ca/about_biogas/projects_canada. Adresinden 28 Eylül 2021 tarihinde alınmıştır.
- [100] International Energy Agency. (2021, 28 Eylül). Brezilya Bioenerji Rapor. <http://task37.ieabioenergy.com/country-reports.html>. Adresinden 28 Eylül 2021 tarihinde alınmıştır.
- [101] International Energy Agency. (2021, 30 Eylül). İsveç Bioenerji Rapor. <https://www.iea.org/countries/sweden>. Adresinden 30 Eylül 2021 tarihinde alınmıştır.
- [102] Swedish Gas Association. (2021, 30 Eylül). İsveç Bioenerji Rapor. <http://task37.ieabioenergy.com/country-reports.html>. Adresinden 30 Eylül 2021 tarihinde alınmıştır.
- [103] European Biogas Association. (2021, 30 Eylül). Almanya biyogaz tesis. <https://www.europeanbiogas.eu/10176/>. Adresinden 30 Eylül 2021 tarihinde alınmıştır.
- [104] International Energy Agency. (2021, 28 Eylül). Güney Kore Bioenerji Rapor. <http://task37.ieabioenergy.com/country-reports.html>. Adresinden 28 Eylül 2021 tarihinde alınmıştır.
- [105] International Energy Agency. (2021, 30 Eylül). Güney Kore Bioenerji Rapor. <http://task37.ieabioenergy.com/country-reports.html>. Adresinden 30 Eylül 2021 tarihinde alınmıştır.
- [106] Enerji Atlası. (2021, 30 Eylül). Türkiye'nin Düzenli Depolama Envanteri. www.enerjiatlası.com. Adresinden 30 Eylül tarihinde alınmıştır.
- [107] International Renewable Energy Agency. (2021, 30 Eylül). Yenilebilir Enerji Kaynakları. www.resourceirena.irena.org/gateway/countrysearch. Adresinden 30 Eylül 2021 tarihinde alınmıştır.
- [108] İndigo Dergisi. (2019, 9 Eylül). Türkiye'nin Biyogaz Potansiyeli. <https://indigodergisi.com/2018/06/turkiye-sahip-oldugu-biyogaz>. Adresinden 9 Eylül 2019 tarihinde alınmıştır.
- [109] Çelebi, M. (2017). *Belediye atıklarından çöp gazı (landfill gas) elde edilerek elektrik enerjisi üretilmesi ve ülkemizdeki örneklerinin incelenmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. Gazi Üniversitesi.
- [110] Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2021, 30 Eylül). Türkiye'nin Biyogaz Tesis Envanteri. <https://csb.gov.tr/>. Adresinden 30 Eylül 2021 tarihinde alınmıştır.
- [111] Toptaş, P. (2018). *Biyoreaktör düzenli depolama sahalarında kısmi havalandırmanın stabilizasyona etkisinin araştırılması* [Yüksek Lisans Tezi]. Sakarya Üniversitesi.

- [112] Tınmaz, E. (2009). *Bioreaktör depolama alanlarında sızıntı suyu geri devrinin, atık boyutunun, havalandırmanın ve havalandırma yönünün atık stabilizasyonuna etkisi* [Doktora Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [113] Kontrol Otomasyon. (2021, 30 Eylül). Gas Kromotogfisi pdf. <https://kontrolotomasyon.files.wordpress.com> Adresinden 30 Eylül 2021 tarihinde alınmıştır.
- [114] Öztürk, İ. (2010). *Katı atık yönetimi ve AB uyumlu uygulamaları*. İstaç Teknik Kitaplar Serisi-2.
- [115] GIS Geography. (2021, 28 Ekim). IDW. <https://gisgeography.com/inverse-distance-weighting-idw-interpolation/>. Adresinden 28 ekim 2021 tarihinde alınmıştır.
- [116] Genceli, O.F. (2016). *Ölçme Tekniği Boyut-Basınç-akü ve sıcaklık ölçmeleri* Birsen Yayın evi, 151.
- [117] Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2021, 28 Eylül). Sakarya İli İklimi. <https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/editordosya/Sakarya2015.pdf>. Adresinden 28 Eylül 2021 tarihinde alınmıştır.
- [118] Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021, 30 Eylül). (k) katsayı değerleri. <https://www.ipcc.ch/>. Adresinden 30 Eylül 2021 tarihinde alınmıştır.
- [119] Environmental Protection Agency. (2021, 28 Eylül). Lmop pdf kılavuz <https://www.epa.gov/lmop/documents/pdfs>. Adresinden 28 Eylül 2021 tarihinden alınmıştır.
- [120] Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2021, 28 Eylül). Sakarya İli İklimi. <https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/editordosya/Sakarya2015.pdf>. Adresinden 28 Eylül 2021 tarihinde alınmıştır.
- [121] Sakarya Entegre Katı Atık Yönetimi A.Ş. (2021, 30 Eylül). Düzenli Depolama Envanter Bilgileri www.sekay.com.tr. Adresinden 30 Eylül 2021 tarihinde alınmıştır.
- [122] Atmaca, K. (2015). *Samsun katı atık düzenli depolama sahası deponi gazı enerji verimliliğinin incelenmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. Ondokuz Mayıs Üniversitesi.
- [123] Türkiye Belediyeler Birliği. (2021, 3 Kasım). Düzenli Depolama Tasarım. <https://silo.tips/download/dzenli-depolama-sahalar-nn-tasarm-yer-seimi-ve-vahi-depolama-alar-nn-islak>. Adresinden 3 Kasım 2021 tarihinde alınmıştır.
- [124] Jaffrin, A., Bentounes, N., Joan, A.M., & Makhoul, S. (2003). *Landfill biogas for heating greenhouses and providing carbon dioxide supplement for plant growth*, *Biosystems Engineering*, 86 (1), 113-123.
- [125] International Energy Agency. (2021, 30 Eylül). Biyogaz Rapor. <http://task37.ieabioenergy.com/biogaz/report>. Adresinden 30 Eylül 2021 tarihinde alınmıştır.

- [126] Technology in the Environmental. (2021, 30 Eylül). Portatif gaz ölçüm cihazı. <https://envirotecmagazine.com/2017/01/24/single-instrument-solution-for-monitoring-landfill-gas-collection-2>. Adresinden 30 Eylül 2021 tarihinde alınmıştır.
- [127] Environmental Site Service. (2021, 30 Eylül). Portatif gaz ölçüm cihazı. <https://www.environmentalsiteservices.com.au/gas-monitoring-equipment/>. Adresinden 30 Eylül 2021 tarihinde alınmıştır.
- [128] Çevre Mühendisleri net. (2021, 30 Eylül). Kimyasal Oksijen İhtiyacı. <https://www.cevremuhendisleri.net>. Adresinden 30 Eylül 2021 tarihinde alınmıştır.
- [129] İşlem. (2021, 30 Eylül). ArcGIS yazılım. www.islem.com.tr. Adresinden 30 Eylül tarihinde alınmıştır.
- [130] Zamorano, M., Pe'rez, I.J., Pave's, A.I., & Ridao, A.R. (2007). Study of the energy potential of the biogas produced by an urban waste landfill in Southern Spain. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11, 909-922. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2005.05.007>
- [131] Couth, R., Trois, C., & Jones, V.S. (2011). Modelling of greenhouse gas emissions from municipal solid waste disposal in Africa. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 5, 1443-1453. <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2011.08.001>
- [132] Amini, R.H., ve Reinhart, R.D. (2011). Regional prediction of long-term landfill gas to energy potential. *Waste Management*, 31, 2020-2026. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.05.010>
- [133] Lyons, S., Murphy, L., & Richard, S.J. (2010). Estimating historical landfill quantities to predict methane emissions. *Atmospheric Environment*, 44, 3901-3906. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.07.022>
- [134] Laner, D., Fellner, J., & Brunner, P.H. (2011). Future landfill emissions and the effect of final cover installation - A case study. *Waste Management*, 31, 1522-1531. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.02.022>
- [135] Al-Jarrah, Ö., ve Abu-Qdais, H. (2006). Municipal solid waste landfill siting using intelligent system. *Waste Management*, 26, 299-306. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2005.01.026>
- [136] Penteado, R., Cavalli, M., Magnano, E., & Chiampo, F. (2012). Application of the IPCC model to a Brazilian landfill: First results. *Energy Policy*, 42, 551-556. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.12.023>
- [137] Czepiel, P.M., Shorter, J.H., Mosher, B., Allwine, E., McManus, J.B., Harriss, R.C., Kolb, C.E., & Lamb, B.K. (2003). The influence of atmospheric pressure on landfill methane emissions. *Waste Management*, 23, 593-598. [https://doi.org/10.1016/S0956-053X\(03\)00103-X](https://doi.org/10.1016/S0956-053X(03)00103-X)
- [138] Chakraborty, M., Sharma, C., Pandey, J., Singh, N., & Gupta, P.K. (2011). Methane emission estimation from landfills in Delhi: A comparative assessment of different methodologies. *Atmospheric Environment*, 45, 7135-7142. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.09.015>

- [139] Lamborn, J. (2012). Observations from using models to fit the gas production of varying volume test cells and landfills. *Waste Management*, 32, 2353-2363. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.06.013>
- [140] Wu, X., Yue, B., Huang, Q., Wang, Q., Lin, Y., Zhang, W., & Yan, Z. (2017). Spatio-temporal variation of landfill gas in pilot-scale 2 semi-aerobic and anaerobic landfills over 5 years. *Journal of Environmental Sciences*, 54, 288-297. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2016.09.015>
- [141] Di Bella, G., Di Trapani, D., & Viviani, G. (2011). Evaluation of methane emissions from Palermo municipal landfill : Comparison between field measurements and models. *Waste Management*, 31, 1820-1826. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.03.013>
- [142] Jucá Maciel, F., ve Thomé Jucá, J.F. (2011). Evaluation of landfill gas production and emissions in a MSW large-scale Experimental Cell in Brazil. *Waste Management*, 31, 966-977 <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.01.030>
- [143] El-Fadel, M., Abi-Esber, L., & Salhab, S. (2012). Emission assessment at the Burj Hammoud inactive municipal landfill: Viability of landfill gas recovery under the clean development mechanism. *Waste Management*, 32, 2106-2114. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.12.027>
- [144] Aronica, S., Bonanno, A., Piazza, V., Pignato, L., & Trapani, S. (2009). Estimation of biogas produced by the landfill of Palermo, applying a Gaussian model. *Waste Management*, 29, 233-239. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.02.026>
- [145] Jin Feng, S., ve Teng Zheng, Q. (2015). A two-dimensional gas flow model for layered municipal solid waste landfills. *Computers and Geotechnics*, 63, 135-145. <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2014.09.004>
- [146] Tabran Lando, A., Nakayama, H., & Shimaoka, T. (2017). Application of portable gas detector in point and scanning method to estimate spatial distribution of methane emission in landfill. *Waste Management*, 59, 255-266. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.10.033>
- [147] Aydi, A., Abichou, T., Zairi, M., & Sdiri, A. (2015). Assessment of electrical generation potential and viability of gas collection from fugitive emissions in a Tunisian landfill. *Energy Strategy Reviews*, 8, 8-14. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2015.06.002>
- [148] Yekini Suberu, M., Bashir, N., & Wazir Mustafa, M. (2013). Biogenic waste methane emissions and methane optimization for bioelectricity in Nigeria. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25, 643-654. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.017>
- [149] Bove, R., ve Lunghi, P. (2006). Electric power generation from landfill gas using traditional and innovative technologies. *Energy Conversion and Management*, 47, 1391-1401. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2005.08.017>
- [150] Ogunjuyigbe, A.S.O., Ayodele, T.R., & Alao, M.A. (2017). Electricity generation from municipal solid waste in some selected cities of Nigeria: An

- assessment of feasibility, potential and technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, 149-162. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.177>
- [151] Xydis G., Nanaki E., & Koroneos C. (2013). Exergy analysis of biogas production from a municipal solid waste landfill. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 4, 20-28. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2013.08.003>
- [152] Yechiel A., ve Shevah, Y. (2016). Optimization of energy generation using landfill biogas. *Journal of Energy Storage*, 7, 93-98. <https://doi.org/10.1016/j.est.2016.05.002>
- [153] Desideri U., Di Maria F., Leonardi D., & Proietti, S. (2003). Sanitary landfill energetic potential analysis: a real case study. *Energy Conversion and Management*, 44, 1969-1981. [https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(02\)00224-8](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(02)00224-8)
- [154] Kumar S., Nimchuk N., Kumar R., Zietsman J., Ramani T., Spiegelman C., & Kenney, M. (2016). Specific model for the estimation of methane emission from municipal solid waste landfills in India. *Bioresource Technology*, 216, 981-987. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.06.050>
- [155] Mambeli Barros R., Tiago Filho G. L., & Rodrigo da Silva, T. (2014). The electric energy potential of landfill biogas in Brazil. *Energy Policy*, 65, 150-164. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.10.028>
- [156] Mebarki B., Adouane B., Khaldi F., Dehimi S., & Haddad D. (2015). Theoretical estimation of the production of biogas from the landfill of Batna city and its electrical conversion by a SOFC. *International Journal of Hydrogen Energy*, 40, 13799-13805. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2015.03.062>
- [157] Melikoglu, M. (2013). Visio 2023: Assessing the feasibility of electricity and biogas production from municipal solid waste in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 19, 52-63. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.11.017>
- [158] Dace E., Blumberga D., Kuplais G., Bozko L., Khabdullina Z., & Khabdullin A. (2015). Optimization of landfill gas use in municipal solid waste landfills in Latvia. *Energy Procedia*, 72, 293-299. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.06.042>
- [159] Sameer S.M., Sameerah S., Mustafa B., & Ali H.M. (2013). Kirkuk municipal waste to electrical energy. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 44, 506-513. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2012.07.053>
- [160] Sandro L., Machado, Miriam F., Carvalho., Jean-Pierre Gourc., Orencio M., Vilar., & Julio C.F., do Nascimento (2009). Methane generation in tropical landfills: Simplified methods and field results. *Waste Management*, 29, 153-161. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.02.017>
- [161] Sang Cho, H., Sun Moon, H., & Young Kim, J. (2012). Effect of quantity and composition of waste on the prediction of annual methane potential from

- landfills. *Bioresource Technology*, 109, 86-92.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.01.026>
- [162] Li, H., Sanchez, R., JoeQin, S., Halil I., Kavak, Ian A., Webster, Theodore T. Tsotsis, & Sahimi, M. (2011). Computer simulation of gas generation and transport in landfills.V: Use of artificial neural network and the genetic algorithm for short-and long-term forecasting and planning. *Chemical Engineering Science*, 66, 2646-2659.
<https://doi.org/10.1016/j.ces.2011.03.013>
- [163] Caresana, F., Comodi, G., Pelagalli, L., Pierpaoli P., & Vagni, S. (2011). Energy production from landfill biogas: An italian case. *Biomass and Bioenergy*, 35, 4331-4339. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.08.002>
- [164] Garcia de Cortazar, A.L., ve Monzon. I.T. (2007). MODUELO 2: A new version of an integrated simulation model for municipal solid waste landfills. *Environmental Modelling & Software*, 22, 59-72.
<https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2005.11.003>
- [165] Mor, S., Ravindra, K., De Visscher, A., Dahiya, R.P., & Chandra, A. (2006). Municipal solid waste characterization and its assessment for potential methane generation: A case study. *Science of The Total Environment*, 371, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.04.014>
- [166] Ribeiro Salomon, K., ve Silva Lora E.E., (2009). Estimate of the electric energy generating potential for different sources of biogas in Brazil. *Biomass and Bioenergy*, 33, 1101-1107.
<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2009.03.001>
- [167] Shina, H.C., Parka, J.P., Kim, H.S., & Shin, E.S. (2005). Environmental and economic assessment of landfill gas electricity generation in Korea using LEAP model. *Energy Policy*, 33, 1261-1270.
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2003.12.002>
- [168] Valencia, G.R., Rodriguez F.M., Cristóbal J., & Thalasso F. (2016). Hotspot detection and spatial distribution of methane emissions from landfills by a surface probe method. *Environmental Monitoring and Assessment*, 55, 299-305. <https://doi.org/10.1007/s10661-014-4083-0>
- [169] Rajaeifara, M.A., Ghanavatib, H., Behrouz B. Dashtid, Heijungse, R., Aghbashlof, M., & Tabatabaei, M. (2017). Electricity generation and GHG emission reduction potentials through different municipal solid waste management technologies: A comparative review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, 414-439.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.109>
- [170] Bidart, C., Fröhling, M., & Schultmann, F. (2013). Municipal solid waste and production of substitute natural gas and electricity as energy alternatives. *Applied Thermal Engineering*, 51, 1107-1115.
<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2012.10.021>
- [171] Tozlu, A., Özahi, E., & Abuşoğlu, A. (2016). Waste to energy technologies for municipal solid waste management in Gaziantep. *Renewable and*

- Sustainable Energy Reviews*, 54, 809-815.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.097>
- [172] Ozturk, M., Sabab, N., Altayc, V., Iqbald, R., Hakeemf, K.R., Jawaidb, M., & Ibrahim, F.H. (2017). Biomass and bioenergy: An overview of the development potential in Turkey and Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, 1285-1302. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.111>
- [173] Toklu, E. (2017). Biomass energy potential and utilization in Turkey. *Renewable Energy*, 107, 235-244.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.02.008>
- [174] De Clercq, D., Wen, Z., Fan, F., & Caicedo, L. (2016). Biomethane production potential from restaurant food waste in megacities and project level-bottlenecks: A case study in Beijing. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 1676-1685. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.323>
- [175] Amini, H.R., Reinhart, D.R., & Mackie, K.R. (2012). Determination of first-order landfill gas modeling parameters and uncertainties. *Waste Management*, 32, 305-316. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.09.021>
- [176] Di Maria, F., Micale, C., & Sordi, A. (2014). Electrical energy production from the integrated aerobic-anaerobic treatment of organic waste by ORC. *Renewable Energy*, 66, 461-467. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.12.045>
- [177] Akpınar, A., Komurcu, M. I., Kankala, M., Özölçer, İ.H., & Kaygusuz, K. (2008). Energy situation and renewables in Turkey and environmental effects of energy use. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12, 2013-2039. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2007.04.011>
- [178] Benli, H. (2013). Potential of renewable energy in electrical energy production and sustainable energy development of Turkey: Performance and policies. *Renewable Energy*, 50, 33-46.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.06.051>
- [179] Nalan, Ç.B., Murat, Ö., & Nuri, Ö. (2009). Renewable energy market conditions and barriers in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 1428-1436. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.09.001>
- [180] Bengü Erdem Z. (2010). The contribution of renewable resources in meeting Turkey's energy-related challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 2710-2722. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.07.003>
- [181] Wangyao, K., Towprayoon, S., Chiemchaisri, C., Gheewala, S.H., & Nopharatana, A. (2010). Application of the IPCC Waste Model to solid waste disposal sites in tropical countries: case study of Thailand. *Environmental Monitoring and Assessment*, 164, 249-261. <https://doi.org/10.1007/s10661-009-0889-6>
- [182] Tsai, W.T. (2007). Bioenergy from landfill gas (LFG) in Taiwan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11, 331-344.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2005.01.001>
- [183] Trauth, K.M., Peyton, R.L., & Banerji, S.K. (2005). Characterization of solid waste disposed at Columbia Sanitary Landfill in Missouri. *Waste*

- [184] Rios, M., ve Kaltschmitt, M. (2016). Electricity generation potential from biogas produced from organic Waste in Mexico. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 384-395. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.033>
- [185] Kumar, S., Gaikwad, S.A., Shekdar, A.V., Kshirsagar, P.S., R.N. & Singh, R.N. (2004). Estimation method for national methane emission from solid waste landfills. *Atmospheric Environment*, 38, 3481-3487. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.02.057>
- [186] Havukainen, J., Uusitalo, V., Niskanen, A., Kapustina, V., & Horttanainen, M. (2014). Evaluation of methods for estimating energy performance of biogas production. *Renewable Energy*, 66, 232-240. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.12.011>
- [187] Chasnyk, O., Sołowski, G., & Shkarupa, O. (2015). Historical technical and economic aspects of biogas development: Case of Poland and Ukraine. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 227-239. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.122>
- [188] Zappini, G., Cocca, P., & Rossi, D. (2010). Performance analysis of energy recovery in an Italian municipal solid waste landfill. *Energy*, 35, 5063-5069. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.08.012>
- [189] Moriarty, P., ve Honneryb, D. (2012). What is the global potential for renewable energy? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 244-252. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.151>
- [190] Broun, R., ve Sattler, M. (2016). A comparison of greenhouse gas emissions and potential electricity recovery from conventional and bioreactor landfills. *Journal of Cleaner Production*, 112, 2664-2673. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.10.010>
- [191] Pinel-Raffaitin, P., Amouroux, D., LeHe'cho, I., Rodri'guez-Gonzalez, P., & Potin-Gautier, M. (2008). Occurrence and distribution of organotin compounds in leachates and biogases from municipal landfills. *Water Research*, 42, 987-996. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.09.013>
- [192] Lou, X.F., ve Nair, J. (2009). The impact of landfilling and composting on greenhouse gas emissions – A review. *Bioresource Technology*, 100, 3792-3798. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.12.006>
- [193] Marion, H.H. (2004). International research into landfill gas emissions and mitigation strategies – IWWG working group “CLEAR” *Waste Management*, 24, 425-427. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2004.02.005>
- [194] Manfredi, S., Niskanen, A., & Christensen, T.H. (2009). Environmental assessment of gas management options at the Old Ämmässuo landfill (Finland) by means of LCA-modeling (EASEWASTE). *Waste Management*, 29, 1588-1594. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.10.005>
- [195] Chanton, J., Abichou, T., Langford, C., Spokas, K., Hater, G., Green, R., Goldsmith, D., & Barlaz, M.A. (2011). Observations on the methane

- oxidation capacity of landfill soils. *Waste Management*, 31, 914-925. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.08.028>
- [196] Abichou, T., Chanton, J., Powelson, D., Fleiger, J., Escoriaza, S., Yuan Lei, Y., & Stern, J. (2006). Methane flux and oxidation at two types of intermediate landfill covers. *Waste Management*, 26, 1305-1312. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2005.11.016>
- [197] Spokas, K.A., ve Bogner, J.E. (2011). Limits and dynamics of methane oxidation in landfill cover soils. *Waste Management*, 31, 823-832. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.12.018>
- [198] Abushammala, M.F.M., Ahmad Basria, N.E., Basria, H., Kadhum, A.A.H., & El-Shafiea, A.H. (2012). Methane and carbon dioxide emissions from Sungai Sedu open dumping during wet season in Malaysia. *Ecological Engineering*, 10, 2276. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.08.013>
- [199] Mohareba, A.K., Warith, M.A., & Diaz, R. (2008). Modelling greenhouse gas emissions for municipal solid waste management strategies in Ottawa, Ontario, Canada. *Resources, Conservation and Recycling*, 52, 1241-1251. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2008.06.006>
- [200] Capelli, L., Sironi, S., Del Rosso, R., Centola, P., & Grande, M. (2008). A comparative and critical evaluation of odour assessment methods on a landfill site. *Atmospheric Environment*, 42, 7050-7058. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.06.009>
- [201] Marion H.H., Kjeldsen, P., & Spokas, K.A. (2011). Special issue on landfill gas emission and mitigation. *Waste Management*, 31, 821-822. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.02.011>
- [202] Song S.K., Shon, Z.H., Kim, K.H., Kim, S.C., Kima, Y.K., & Kim, J.K. (2007). Monitoring of atmospheric reduced sulfur compounds and their oxidation in two coastal landfill areas. *Atmospheric Environment*, 41, 974-988. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.09.026>
- [203] Ayman. A., Debra, F., Reinhart, R., & Huaxin, Y. (2007). First-order kinetic gas generation model parameters for wet landfills. *Waste Management*, 27, 946-953. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.05.007>
- [204] Qdaisa, A.H., Hanib, K.B., & Shatnawia. N. (2010). Modeling and optimization of biogas production from a waste digester using artificial neural network and genetic algorithm. *Resources, Conservation and Recycling*, 54, 359-363. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2009.08.012>
- [205] Georgaki, I., Soupios, P., Sakkas, N., Ververidis, F., Trantasa, E., Vallianatos, F., & Manios, T. (2008). Evaluating the use of electrical resistivity imaging technique for improving CH₄ and CO₂ emission rate estimations in landfills. *Science of The Total Environment*, 389, 522-531. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.08.033>
- [206] Sanchez, R., Hashemi, M., Tsotsis, T.T., & Sahimi, M. (2006). Computer simulation of gas generation and transport in landfills II: Dynamic conditions.

Chemical Engineering Science, 61, 4750-4761.
[https://doi.org/10.1016/S0009-2509\(02\)00142-2](https://doi.org/10.1016/S0009-2509(02)00142-2)

- [207] Donovan, S.M., Bateson, T., Gronow, J.R., & Voulvoulis, N. (2010). Modelling the behaviour of mechanical biological treatment outputs in landfills using the GasSim model. *Science of The Total Environment*, 408, 1979-1984. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.12.011>
- [208] Chiemchaisri, C., ve Visvanathan, C. (2008). Greenhouse Gas Emission Potential of the Municipal Solid Waste Disposal Sites in Thailand. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 58, 629-635. <https://doi.org/10.3155/1047-3289.58.5.629>
- [209] Chen, Y.C., Chen, K.S., & Wu, C.H. (2003). Numerical simulation of gas flow around a passive vent in a sanitary landfill. *Journal of Hazardous Materials*, 100, 39-52. [https://doi.org/10.1016/s0304-3894\(03\)00089-x](https://doi.org/10.1016/s0304-3894(03)00089-x)
- [210] Ouda, O.K.M., Raza, S.A., Nizami, A.S., Rehan, M., Al-Waked, R., & Korres, N.E. (2016). Waste to energy potential: A case study of Saudi Arabia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 61, 328-340. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.04.005>
- [211] Ali, R., Dauta, I., & Taib, S. (2012). A review on existing and future energy sources for electrical power generation in Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 4047-4055. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.03.003>
- [212] Tsai, W.T., ve Kuo, K.C. (2010). An analysis of power generation from municipal solid waste (MSW) incineration plants in Taiwan. *Energy*, 35, 4824-4830. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.09.005>
- [213] Lombardi, L., ve Carnevale, E.A. (2016). Analysis of an innovative process for landfill gas quality improvement. *Energy*, 109, 1107-1117. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.05.071>
- [214] Arthur, R., Baidoo, M.F., & Antwi, E. (2011). Biogas as a potential renewable energy source: A Ghanaian case study. *Renewable Energy*, 36, 1510-1516. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.11.012>
- [215] Chen, T., Shena, D., Jinc, Y., Lid, H., Yue, Z., Fenga, H., Longa, Y., & Yina, J. (2017). Comprehensive evaluation of environ-economic benefits of anaerobic digestion technology in an integrated food waste-based methane plant using a fuzzy mathematical model. *Applied Energy*, 208, 666-667. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.09.082>
- [216] Zakir Hossain, H.M., Hasna Hossain, Q., Uddin Monir, Md. M., & Ahmed, Md. T. (2014). Municipal solid waste (MSW) as a source of renewable energy in Bangladesh: Revisited. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 35-41. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.007>
- [217] Gomez, A., Zubizarreta, J., Rodrigues, M., Dopazo, C., & Fueyo, N. (2010). Potential and cost of electricity generation from human and animal waste in Spain. *Renewable Energy*, 35, 498-505. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2009.07.027>

- [218] Hijazi, O., Munro, S., Zerhusen, B., Effenberger, & M. (2016). Review of lifecycle assessment for biogas production in Europe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 1291-1300. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.013>
- [219] Chiemchaisri, C., Chiemchaisri, W., & Kumar, S. (2007). Solid waste characteristics and their relationship to gas production in tropical landfill. *Environmental Monitoring and Assessment*, 135, 41-48. <https://doi.org/10.1007/s10661-007-9706-2>
- [220] Kolat, A. (2009). *Katı atık düzenli depolama alanı ortam havasında karbonmonoksit (CO) konsantrasyonların belirlenmesi ve dağılım modellenmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. Kocaeli Üniversitesi



EKLER

Ek A. (2013-2018) yılları arası toplam 58 ay gaz emisyon envanteri

GB 15	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	CO (ppm)	H2S(ppm)
16.03.2013	39,58416	28,01736	10,9	41,38344	16,1	0	24
27.04.2013	48,8376	33,4152	13	34,95744	13,6	0	5
25.05.2013	73,51344	52,17912	20,3	24,93288	9,7	0	4
30.06.2013	75,8268	54,74952	21,3	24,16176	9,4	1	2
7.07.2013	82,2528	59,37624	23,1	22,10544	8,6	1	4
22.08.2013	76,34088	55,2636	21,5	24,16176	9,4	0	1
28.09.2013	47,5524	33,4152	13	33,4152	13	0	2
27.10.2013	66,31632	46,01016	17,9	28,53144	11,1	0	3
24.11.2013	46,01016	32,38704	12,6	35,72856	13,9	0	1
22.12.2013	47,29536	33,4152	13	36,24264	14,1	0	1
GB 15	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	CO (ppm)	H2S(ppm)
26.01.2014	42,15456	30,33072	11,8	36,75672	14,3	2	1
22.02.2014	24,93288	22,10544	8,6	39,07008	15,2	0	20
5.03.2014	30,8448	20,229048	7,87	43,43976	16,9	0	15
27.04.2014	36,75672	22,74804	8,85	35,85708	13,95	0	6
31.05.2014	50,89392	31,61592	12,3	30,58776	11,9	0	6
21.06.2014	54,621	33,28668	12,95	51,92208	20,2	1	7
20.07.2014	52,17912	31,10184	12,1	40,09824	15,6	1	4
16.08.2014	58,73364	34,82892	13,55	28,01736	10,9	1	21
20.09.2014	45,11052	24,67584	9,6	32,00148	12,45	1	53
26.10.2014	38,68452	29,68812	11,55	32,64408	12,7	0	31
1.11.2014	29,68812	23,39064	9,1	35,9856	14	0	33
1.12.2014	31,61592	22,23396	8,65	38,17044	14,85	0	28
GB 15	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	CO (ppm)	H2S(ppm)
31.01.2015	35,9856	20,5632	8	36,75672	14,3	4	40
28.02.2015	25,96104	16,19352	6,3	40,61232	15,8	1	7
20.03.2015	29,5596	20,5632	8	41,51196	16,15	1	15
28.04.2015	32,51556	22,23396	8,65	39,58416	15,4	2	7
30.05.2015	44,46792	30,45924	11,85	36,88524	14,35	2	13
23.06.2015	43,6968	32,00148	12,45	37,9134	14,75	2	12
29.07.2015	46,39572	33,4152	13	37,78488	14,7	2	18
27.08.2015	43,6968	30,97332	12,05	38,94156	15,15	1	10
22.09.2015	28,2744	20,5632	8	43,6968	17	1	13
26.10.2015	38,556	28,2744	11	41,1264	16	0	16
22.11.2015	25,704	17,9928	7	46,2672	18	0	17
29.12.2015	28,2744	20,5632	8	46,2672	18	0	16
GB 15	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	H2	H2S(ppm)
14.01.2016	23,1336	11,82384	4,6	44,982	17,5	2	6

10.02.2016	22,131144	12,440736	4,84	45,75312	17,8	2	5
10.03.2016	22,131144	12,440736	4,84	45,75312	17,8	2	5
18.04.2016	24,67584	12,08088	4,7	36,75672	14,3	3	7
17.05.2016	28,2744	11,05272	4,3	36,24264	14,1	4	8
15.06.2016	33,4152	11,82384	4,6	35,47152	13,8	5	12
14.07.2016	40,09824	13,10904	5,1	32,90112	12,8	8	30
23.08.2016	41,1264	14,39424	5,6	31,87296	12,4	12	40
19.09.2016	42,66864	15,93648	6,2	30,58776	11,9	15	51
17.10.2016	11,05272	13,36608	5,2	36,75672	14,3	20	58
21.11.2016	13,36608	14,39424	5,6	36,24264	14,1	25	65
20.12.2016	15,93648	11,05272	4,3	40,09824	15,6	22	54

GB 15	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	H2	H2S(ppm)
23.01.2017	23,1336	11,82384	4,6	44,982	17,5	2	6
22.02.2017	22,131144	12,440736	4,84	45,75312	17,8	2	5
22.03.2017	19,53504	13,10904	5,1	41,64048	16,2	3	6
17.04.2017	16,19352	11,05272	4,3	44,21088	17,2	5	8
15.05.2017	15,4224	8,73936	3,4	48,8376	19	9	21
12.06.2017	14,1372	9,25344	3,6	51,66504	20,1	10	22
17.07.2017	10,53864	7,45416	2,9	53,46432	20,8	11	32
21.08.2017	11,82384	6,68304	2,6	53,72136	20,9	5	18
15.09.2017	10,2816	7,7112	3	53,9784	21	6	24
22.10.2017	11,82384	10,2816	4	53,72136	20,9	8	29
15.11.2017	5,91192	5,1408	2	52,17912	20,3	9	32
19.12.2017	7,45416	6,68304	2,6	51,66504	20,1	4	30

GB 15	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	H2	H2S(ppm)
5.01.2018	25,704	12,33792	4,8	42,4116	16,5	3	6
11.02.2018	19,53504	14,39424	5,6	44,21088	17,2	1	8
20.03.2018	20,04912	14,1372	5,5	43,43976	16,9	5	7
22.04.2018	19,278	15,67944	6,1	43,6968	17	4	8
16.05.2018	19,79208	13,62312	5,3	41,1264	16	6	10
17.06.2018	20,5632	15,93648	6,2	35,9856	14	5	12
18.07.2018	23,90472	13,36608	5,2	33,92928	13,2	6	20
20.08.2018	38,556	16,96464	6,6	25,704	10	5	10
27.09.2018	44,72496	18,76392	7,3	14,39424	5,6	8	16
12.10.2018	47,5524	23,90472	9,3	11,82384	4,6	1	5
24.11.2018	50,1228	21,07728	8,2	14,39424	5,6	5	20
11.12.2018	52,17912	23,90472	9,3	11,82384	4,6	4	25

CH4							
GB 10	(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	CO (ppm)	H2S(ppm)
5.03.2014	14,90832	10,79568	4,2	46,52424	18,1	1	0
27.04.2014	6,68304	4,62672	1,8	50,89392	19,8	0	0
31.05.2014	17,47872	11,5668	4,5	46,01016	17,9	1	0
21.06.2014	22,87656	13,36608	5,2	41,89752	16,3	2	0
20.07.2014	28,01736	16,7076	6,5	40,09824	15,6	2	1
16.08.2014	33,4152	20,04912	7,8	38,556	15	2	1
20.09.2014	32,38704	17,22168	6,7	42,4116	16,5	14	144
26.10.2014	31,87296	16,96464	6,6	40,09824	15,6	2	214
1.11.2014	24,16176	16,19352	6,3	44,72496	17,4	2	3

1.12.2014	32,90112	20,5632	8	42,66864	16,6	0	7
GB 10	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	CO (ppm)	H2S(ppm)
31.01.2015	0,51408	0,25704	0,1	51,92208	20,2	0	0
28.02.2015	28,01736	18,50688	7,2	43,43976	16,9	0	2
20.03.2015	25,704	16,7076	6,5	43,6968	17	1	0
28.04.2015	9,76752	6,426	2,5	48,58056	18,9	5	4
30.05.2015	21,33432	13,62312	5,3	43,95384	17,1	0	1
23.06.2015	31,10184	19,02096	7,4	53,46432	20,8	1	5
29.07.2015	40,86936	24,16176	9,4	34,44336	13,4	2	8
27.08.2015	35,9856	20,5632	8	36,75672	14,3	4	40
22.09.2015	28,53144	16,45056	6,4	40,86936	15,9	1	7
26.10.2015	34,7004	24,16176	9,4	30,8448	12	3	4
22.11.2015	34,44336	26,47512	10,3	41,1264	16	2	35
29.12.2015	35,21448	27,50328	10,7	35,9856	14	1	8
GB 10	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	H2	H2S(ppm)
14.01.2016	21,33432	13,62312	5,3	43,6968	17	2	2
10.02.2016	20,074824	14,90832	5,8	44,982	17,5	0	1
10.03.2016	20,074824	14,90832	5,8	44,982	17,5	0	1
18.04.2016	25,704	19,02096	7,4	41,89752	16,3	0	2
17.05.2016	35,9856	20,82024	8,1	40,61232	15,8	1	3
15.06.2016	42,4116	23,64768	9,2	39,07008	15,2	1	5
14.07.2016	37,2708	25,96104	10,1	46,01016	17,9	3	12
23.08.2016	38,81304	26,9892	10,5	44,46792	17,3	5	15
19.09.2016	41,64048	29,04552	11,3	42,15456	16,4	9	22
17.10.2016	18,789624	15,705144	6,11	44,46792	17,3	11	24
21.11.2016	22,36248	18,50688	7,2	47,03832	18,3	15	40
20.12.2016	18,76392	17,22168	6,7	49,60872	19,3	18	45
GB 10	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	H2	H2S(ppm)
23.01.2017	24,16176	14,90832	5,8	42,66864	16,6	3	5
22.02.2017	22,10544	15,93648	6,2	42,15456	16,4	1	2
22.03.2017	24,67584	16,96464	6,6	40,09824	15,6	2	8
17.04.2017	29,04552	21,33432	8,3	40,86936	15,9	4	12
15.05.2017	29,04552	17,47872	6,8	41,64048	16,2	5	12
12.06.2017	20,82024	15,93648	6,2	44,72496	17,4	6	15
17.07.2017	37,52784	16,96464	6,6	39,07008	15,2	8	14
21.08.2017	35,72856	17,47872	6,8	39,8412	15,5	5	12
15.09.2017	33,15816	21,33432	8,3	40,86936	15,9	6	25
22.10.2017	25,704	18,76392	7,3	41,1264	16	5	32
15.11.2017	5,91192	5,65488	2,2	48,8376	19	6	41
19.12.2017	8,48232	6,426	2,5	51,408	20	7	20
GB 10	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	H2	H2S(ppm)
22.01.2018	25,96104	15,4224	6	38,556	15	5	7
19.02.2018	20,82024	14,65128	5,7	40,09824	15,6	0	1
15.03.2018	22,61952	17,73576	6,9	36,24264	14,1	3	12
GB 20	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	CO (ppm)	H2S(ppm)
16.03.2013	42,15456	31,35888	12,2	41,64048	16,2	0	7
27.04.2013	44,982	31,10184	12,1	33,92928	13,2	0	11
25.05.2013	56,03472	38,04192	14,8	26,9892	10,5	0	3

30.06.2013	67,60152	47,03832	18,3	27,24624	10,6	1	1
7.07.2013	64,51704	44,982	17,5	26,9892	10,5	1	1
22.08.2013	72,22824	50,89392	19,8	25,96104	10,1	1	1
28.09.2013	76,85496	53,9784	21	24,67584	9,6	0	2
27.10.2013	56,03472	38,81304	15,1	32,38704	12,6	0	1
24.11.2013	41,64048	28,2744	11	36,49968	14,2	0	1
22.12.2013	48,58056	33,92928	13,2	37,01376	14,4	0	1
GB 20	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	CO (ppm)	H2S(ppm)
26.01.2014	57,31992	40,35528	15,7	32,90112	12,8	4	1
22.02.2014	51,15096	35,47152	13,8	35,72856	13,9	3	0
5.03.2014	47,29536	33,4152	13	35,21448	13,7	2	1
27.04.2014	55,52064	39,58416	15,4	32,90112	12,8	2	0
31.05.2014	48,32352	32,90112	12,8	34,95744	13,6	3	37
21.06.2014	43,18272	29,5596	11,5	37,2708	14,5	2	42
20.07.2014	40,86936	27,76032	10,8	37,52784	14,6	2	6
16.08.2014	38,81304	26,21808	10,2	37,78488	14,7	2	6,1
20.09.2014	52,43616	33,15816	12,9	39,8412	15,5	2	5
26.10.2014	56,80584	29,30256	11,4	29,04552	11,3	3	1
1.11.2014	50,89392	42,92568	16,7	30,58776	11,9	2	0
1.12.2014	60,4044	52,17912	20,3	28,01736	10,9	2	1
GB 20	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	CO (ppm)	H2S(ppm)
31.01.2015	78,14016	55,2636	21,5	11,5668	4,5	10	1
28.02.2015	92,02032	58,09104	22,6	10,02456	3,9	4	2
20.03.2015	103,07304	65,03112	25,3	15,93648	6,2	3	4
28.04.2015	108,72792	82,76688	32,2	9,51048	3,7	13	117
30.05.2015	104,87232	80,19648	31,2	18,76392	7,3	2	1
23.06.2015	90,47808	68,1156	26,5	18,24984	7,1	6	2
29.07.2015	78,14016	56,29176	21,9	17,47872	6,8	9	4
27.08.2015	1,02816	0,25704	0,1	47,5524	18,5	0	8
22.09.2015	1,02816	0,25704	0,1	48,32352	18,8	0	0
26.10.2015	3,08448	1,2852	0,5	50,1228	19,5	1	7
22.11.2015	5,91192	1,2852	0,5	51,66504	20,1	1	0
29.12.2015	8,9964	1,02816	0,4	52,43616	20,4	0	0
GB 20	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	H2	H2S(ppm)
14.01.2016	9,76752	1,54224	0,6	52,43616	20,4	1	1
10.02.2016	8,73936	1,2852	0,5	53,20728	20,7	0	0
10.03.2016	8,73936	1,2852	0,5	53,20728	20,7	0	0
18.04.2016	12,852	1,54224	0,6	48,8376	19	1	3
17.05.2016	16,45056	2,31336	0,9	46,2672	18	3	6
15.06.2016	19,278	2,5704	1	45,49608	17,7	5	10
14.07.2016	24,16176	4,88376	1,9	47,29536	18,4	8	16
23.08.2016	26,21808	5,65488	2,2	45,23904	17,6	12	22
19.09.2016	40,35528	6,68304	2,6	41,38344	16,1	13,2	28
17.10.2016	117,33876	79,476768	30,92	11,5668	4,5	15	45
21.11.2016	139,31568	93,30552	36,3	5,39784	2,1	40	60
20.12.2016	131,86152	95,36184	37,1	4,88376	1,9	39	58
GB 20	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	H2	H2S(ppm)
23.01.2017	119,00952	97,93224	38,1	4,62672	1,8	45	62

22.02.2017	16,45056	2,05632	0,8	49,60872	19,3	0	0
22.03.2017	19,02096	2,82744	1,1	47,29536	18,4	2	6
17.04.2017	13,36608	2,31336	0,9	50,63688	19,7	3	5
15.05.2017	15,16536	4,11264	1,6	51,15096	19,9	5	3
12.06.2017	15,93648	4,11264	1,6	51,66504	20,1	4	6
17.07.2017	13,62312	4,88376	1,9	51,66504	20,1	8	14
21.08.2017	12,59496	5,1408	2	51,408	20	7	16
15.09.2017	9,25344	4,88376	1,9	51,408	20	8	15
22.10.2017	10,53864	3,59856	1,4	51,408	20	9	17
15.11.2017	5,39784	3,34152	1,3	51,408	20	2	22
19.12.2017	7,96824	4,88376	1,9	52,17912	20,3	5	28
GB 20	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	H2	H2S(ppm)
9.01.2018	123,3792	102,816	40	2,31336	0,9	46	65
10.02.2018	13,36608	1,54224	0,6	51,66504	20,1	1	3
20.03.2018	21,33432	8,48232	3,3	40,61232	15,8	3	8
23.04.2018	19,278	9,25344	3,6	37,52784	14,6	5	12
28.05.2018	19,53504	6,68304	2,6	42,66864	16,6	7	15
11.06.2018	20,82024	8,22528	3,2	45,23904	17,6	8	22
2.07.2018	26,21808	11,05272	4,3	47,03832	18,3	5	18
29.08.2018	31,61592	16,96464	6,6	36,49968	14,2	7	19
22.09.2018	34,18632	13,62312	5,3	21,33432	8,3	9	15
15.10.2018	38,29896	23,90472	9,3	21,8484	8,5	5	12
17.11.2018	41,89752	26,21808	10,2	23,64768	9,2	6	15
12.12.2018	36,75672	29,04552	11,3	26,47512	10,3	3	12
GB 19	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	CO (ppm)	H2S(ppm)
16.03.2013	69,14376	51,408	20	29,5596	11,5	1	201
27.04.2013	44,46792	28,78848	11,2	34,95744	13,6	1	225
25.05.2013	138,28752	101,01672	39,3	2,82744	1,1	2	478
30.06.2013	134,68896	98,18928	38,2	4,62672	1,8	3	379
7.07.2013	136,2312	98,44632	38,3	3,59856	1,4	2	425
22.08.2013	124,92144	90,99216	35,4	7,45416	2,9	2	258
28.09.2013	122,35104	90,73512	35,3	7,7112	3	3	210
27.10.2013	129,54816	92,02032	35,8	7,96824	3,1	1	870
24.11.2013	136,74528	99,21744	38,6	6,68304	2,6	1	321
22.12.2013	126,72072	91,2492	35,5	8,73936	3,4	1	343
GB 19	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	CO (ppm)	H2S(ppm)
26.01.2014	136,2312	99,47448	38,7	4,62672	1,8	13	316
22.02.2014	112,58352	83,02392	32,3	12,59496	4,9	7	98
5.03.2014	133,91784	96,39	37,5	4,36968	1,7	6	962
27.04.2014	134,17488	99,47448	38,7	4,11264	1,6	6	612
31.05.2014	70,42896	50,89392	19,8	26,47512	10,3	3	805
21.06.2014	122,86512	84,30912	32,8	9,51048	3,7	6	>>>>
20.07.2014	78,14016	51,92208	20,2	21,33432	8,3	4	200
16.08.2014	45,75312	29,04552	11,3	33,92928	13,2	2	215
20.09.2014	1,2852	0,51408	0,2	52,17912	20,3	3	33
26.10.2014	1,54224	0,77112	0,3	50,37984	19,6	1	6
1.11.2014	1,79928	0,77112	0,3	29,30256	11,4	2	30
1.12.2014	0,25704	0,25704	0,1	32,13	12,5	1	4

GB 19	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	CO (ppm)	H2S(ppm)
31.01.2015	5,65488	2,82744	1,1	45,23904	17,6	1	1
28.02.2015	9,25344	10,79568	4,2	48,06648	18,7	1	0
20.03.2015	10,2816	7,45416	2,9	47,5524	18,5	1	0
28.04.2015	3,8556	2,82744	1,1	49,35168	19,2	1	5
30.05.2015	8,9964	7,45416	2,9	48,06648	18,7	0	0
23.06.2015	11,5668	12,33792	4,8	39,58416	15,4	1	1
29.07.2015	26,73216	17,9928	7	36,75672	14,3	7	3
27.08.2015	2,31336	1,02816	0,4	46,78128	18,2	0	9
22.09.2015	0,77112	0,25704	0,1	48,32352	18,8	0	0
26.10.2015	0,51408	3,08448	1,2	49,35168	19,2	5	0
22.11.2015	1,02816	2,5704	1	36,49968	14,2	3	0
29.12.2015	2,5704	1,2852	0,5	47,80944	18,6	0	0
GB 19	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	H2	H2S(ppm)
14.01.2016	12,852	2,5704	1	48,8376	19	1	1050
10.02.2016	10,692864	2,518992	0,98	50,89392	19,8	2	1160
10.03.2016	13,36608	2,5704	1	48,32352	18,8	2	1100
18.04.2016	15,4224	2,82744	1,1	49,86576	19,4	3	1100
17.05.2016	15,4224	3,8556	1,5	46,2672	18	4	1000
15.06.2016	25,96104	4,88376	1,9	45,23904	17,6	5	780
14.07.2016	34,95744	8,22528	3,2	42,15456	16,4	8	800
23.08.2016	39,8412	10,53864	4,1	40,61232	15,8	15	825
19.09.2016	37,52784	10,02456	3,9	41,1264	16	14	812
17.10.2016	34,44336	42,66864	16,6	8,9964	3,5	22	800
21.11.2016	46,78128	12,33792	4,8	39,07008	15,2	25	840
20.12.2016	49,35168	11,05272	4,3	38,81304	15,1	21	780
GB 19	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	H2	H2S(ppm)
23.01.2017	46,78128	8,22528	3,2	46,78128	18,2	2	880
22.02.2017	19,278	2,5704	1	47,03832	18,3	4	1200
22.03.2017	30,8448	5,1408	2	46,52424	18,1	5	695
17.04.2017	33,92928	15,93648	6,2	43,6968	17	6	652
15.05.2017	30,58776	17,47872	6,8	41,89752	16,3	11	670
12.06.2017	26,21808	18,50688	7,2	39,07008	15,2	12	710
17.07.2017	35,21448	18,50688	7,2	39,8412	15,5	12	700
21.08.2017	32,13	16,96464	6,6	41,1264	16	4	500
15.09.2017	28,2744	13,88016	5,4	43,6968	17	3	400
22.10.2017	26,47512	35,9856	14	11,82384	4,6	5	380
15.11.2017	87,3936	82,2528	32	38,556	15	2	300
19.12.2017	74,5416	61,6896	24	41,1264	16	0	220
GB 19	CH4(m3/saat)	CO3(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	H2	H2S(ppm)
9.01.2018	48,8376	7,7112	3	44,72496	17,4	3	850
11.02.2018	22,10544	5,1408	2	44,72496	17,4	0	1100
15.03.2018	34,95744	6,68304	2,6	41,89752	16,3	7	700
GB 18	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	CO (ppm)	H2S(ppm)
16.03.2013	118,2384	92,5344	36	10,02456	3,9	2	432
27.04.2013	96,90408	75,05568	29,2	39,58416	15,4	1	181
25.05.2013	71,71416	49,09464	19,1	25,704	10	0	301
30.06.2013	35,72856	22,10544	8,6	39,58416	15,4	0	73

7.07.2013	54,49248	36,24264	14,1	32,64408	12,7	0	116
22.08.2013	136,48824	100,50264	39,1	3,59856	1,4	4	479
28.09.2013	140,60088	101,5308	39,5	2,82744	1,1	6	465
27.10.2013	16,96464	9,25344	3,6	41,1264	16	0	210
24.11.2013	14,65128	10,53864	4,1	48,06648	18,7	0	12
22.12.2013	14,1372	11,05272	4,3	49,09464	19,1	0	11
GB 18	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	CO (ppm)	H2S(ppm)
26.01.2014	0,51408	0,25704	0,1	51,92208	20,2	7	2
22.02.2014	36,24264	26,73216	10,4	41,38344	16,1	18	103
5.03.2014	73,51344	58,86216	22,9	25,18992	9,8	20	525
27.04.2014	71,9712	58,09104	22,6	25,96104	10,1	16	407
31.05.2014	37,2708	28,01736	10,9	38,29896	14,9	8	191
21.06.2014	54,23544	42,66864	16,6	29,5596	11,5	8	142
20.07.2014	57,06288	38,81304	15,1	31,87296	12,4	8	150
16.08.2014	94,84776	76,59792	29,8	15,67944	6,1	12	58
20.09.2014	55,77768	42,92568	16,7	32,13	12,5	22	128
26.10.2014	72,74232	57,31992	22,3	24,93288	9,7	6	168
1.11.2014	27,24624	19,53504	7,6	44,21088	17,2	1	49
1.12.2014	63,48888	49,35168	19,2	30,33072	11,8	3	91
GB 18	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	CO (ppm)	H2S(ppm)
31.01.2015	50,89392	40,35528	15,7	30,58776	11,9	3	22
28.02.2015	2,82744	2,31336	0,9	50,63688	19,7	0	2
20.03.2015	13,36608	9,76752	3,8	47,03832	18,3	2	0
28.04.2015	10,53864	7,96824	3,1	46,78128	18,2	2	9
30.05.2015	10,02456	7,19712	2,8	47,80944	18,6	0	3
23.06.2015	7,45416	5,39784	2,1	43,6968	17	0	2
29.07.2015	1,2852	0,25704	0,1	46,52424	18,1	0	1
27.08.2015	21,07728	12,33792	4,8	40,86936	15,9	3	23
22.09.2015	11,82384	7,19712	2,8	44,21088	17,2	2	241
26.10.2015	5,91192	4,11264	1,6	42,4116	16,5	1	0
22.11.2015	9,25344	7,45416	2,9	31,87296	12,4	1	25
29.12.2015	10,53864	8,73936	3,4	48,58056	18,9	0	35
GB 18	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	H2	H2S(ppm)
14.01.2016	18,24984	16,7076	6,5	44,72496	17,4	5	1400
10.02.2016	16,527672	17,453016	6,79	45,49608	17,7	10	1422
10.03.2016	14,39424	17,47872	6,8	43,43976	16,9	10	1423
18.04.2016	19,53504	18,24984	7,1	44,72496	17,4	8	1200
17.05.2016	23,1336	19,53504	7,6	43,6968	17	10	1400
15.06.2016	25,18992	18,50688	7,2	43,18272	16,8	15	1200
14.07.2016	36,49968	21,33432	8,3	40,09824	15,6	19	1100
23.08.2016	39,32712	23,39064	9,1	39,07008	15,2	25	1250
19.09.2016	40,86936	24,4188	9,5	38,556	15	29	1270
17.10.2016	32,13	23,39064	9,1	43,18272	16,8	32	1200
21.11.2016	41,64048	23,90472	9,3	39,07008	15,2	45	1210
20.12.2016	44,72496	24,93288	9,7	36,49968	14,2	44	1150
GB 18	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	H2	H2S(ppm)
23.01.2017	49,60872	18,24984	7,1	44,21088	17,2	6	1100
22.02.2017	41,64048	18,24984	7,1	36,24264	14,1	14	1440

22.03.2017	56,5488	39,07008	15,2	33,92928	13,2	18	600
17.04.2017	61,6896	41,89752	16,3	30,8448	12	22	450
15.05.2017	53,9784	43,43976	16,9	28,2744	11	33	460
12.06.2017	49,35168	44,21088	17,2	25,704	10	39	480
17.07.2017	43,6968	31,61592	12,3	41,64048	16,2	35	480
21.08.2017	47,29536	35,9856	14	41,1264	16	26	350
15.09.2017	43,6968	38,556	15	46,2672	18	32	380
22.10.2017	47,80944	42,66864	16,6	36,75672	14,3	35	320
15.11.2017	101,01672	92,5344	36	32,13	12,5	45	345
19.12.2017	89,964	82,2528	32	25,704	10	25	210
GB 18	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	H2	H2S(ppm)
12.01.2018	51,408	19,53504	7,6	41,89752	16,3	7	1120
10.02.2018	40,61232	20,5632	8	33,4152	13	10	1300
17.03.2018	61,94664	38,29896	14,9	33,15816	12,9	16	550
24.04.2018	67,08744	41,89752	16,3	29,04552	11,3	14	450
GB 23	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	CO (ppm)	H2S(ppm)
16.03.2013	53,9784	31,35888	12,2	37,52784	14,6	0	4,93
27.04.2013	59,63328	46,78128	18,2	39,07008	15,2	3	189
25.05.2013	53,46432	37,01376	14,4	26,9892	10,5	0	3
30.06.2013	62,46072	46,52424	18,1	27,24624	10,6	1	1
7.07.2013	56,29176	38,81304	15,1	32,64408	12,7	0	5
22.08.2013	59,1192	43,18272	16,8	30,58776	11,9	1	118
28.09.2013	59,89032	32,13	12,5	25,704	10	0	4
27.10.2013	56,03472	37,52784	14,6	25,44696	9,9	1	5
24.11.2013	64,26	44,21088	17,2	33,4152	13	1	100
22.12.2013	51,92208	46,2672	18	30,8448	12	1	120
GB 23	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	CO (ppm)	H2S(ppm)
26.01.2014	2,31336	1,2852	0,5	53,46432	20,8	1	3
22.02.2014	142,6572	100,75968	39,2	3,08448	1,2	54	707
5.03.2014	141,11496	106,6716	41,5	1,79928	0,7	32	***
27.04.2014	146,76984	110,5272	43	0	0	29	***
31.05.2014	147,54096	110,01312	42,8	0	0	29	***
21.06.2014	144,97056	108,21384	42,1	0,25704	0,1	22	***
20.07.2014	143,42832	106,41456	41,4	0,25704	0,1	25	***
16.08.2014	145,74168	108,98496	42,4	0	0	29	***
20.09.2014	122,094	93,04848	36,2	8,48232	3,3	46	664
26.10.2014	120,8088	92,02032	35,8	8,9964	3,5	11	335
1.11.2014	114,63984	86,62248	33,7	12,852	5	9	123
1.12.2014	125,17848	94,33368	36,7	8,9964	3,5	6	900
GB 23	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	CO (ppm)	H2S(ppm)
31.01.2015	127,74888	93,30552	36,3	7,7112	3	4	***
28.02.2015	92,27736	64,51704	25,1	20,5632	8	5	777
20.03.2015	124,40736	90,47808	35,2	8,73936	3,4	5	937
28.04.2015	138,8016	95,1048	37	4,62672	1,8	21	***
30.05.2015	105,64344	73,77048	28,7	29,81664	11,6	1	194
23.06.2015	70,94304	49,35168	19,2	25,704	10	2	185
29.07.2015	74,02752	48,8376	19	23,1336	9	7	184
27.08.2015	77,62608	50,1228	19,5	21,07728	8,2	21	550

22.09.2015	79,16832	50,89392	19,8	21,8484	8,5	6	***
26.10.2015	78,14016	48,32352	18,8	22,36248	8,7	6	***
22.11.2015	76,08384	47,03832	18,3	22,36248	8,7	6	200
29.12.2015	65,80224	49,86576	19,4	19,53504	7,6	7	185
GB 23	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	H2	H2S(ppm)
14.01.2016	63,23184	38,29896	14,9	33,15816	12,9	25	85
10.02.2016	61,6896	35,9856	14	33,4152	13	20	100
10.03.2016	59,1192	30,8448	12	33,4152	13	23	100
18.04.2016	71,9712	38,556	15	23,90472	9,3	26	102
17.05.2016	75,56976	43,6968	17	23,1336	9	29	150
15.06.2016	75,56976	42,4116	16,5	21,07728	8,2	50	100
14.07.2016	77,36904	43,43976	16,9	20,5632	8	60	150
23.08.2016	75,8268	41,89752	16,3	21,59136	8,4	70	175
19.09.2016	73,2564	42,92568	16,7	18,24984	7,1	81	195
17.10.2016	57,859704	45,11052	17,55	31,35888	12,2	13	90
21.11.2016	63,23184	47,29536	18,4	30,8448	12	15	100
20.12.2016	56,5488	44,72496	17,4	33,92928	13,2	18	98
GB 23	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	H2	H2S(ppm)
23.01.2017	46,2672	41,64048	16,2	29,04552	11,3	17	75
22.02.2017	70,42896	38,04192	14,8	31,35888	12,2	25	115
22.03.2017	61,6896	41,89752	16,3	33,92928	13,2	35	100
17.04.2017	54,49248	45,23904	17,6	32,13	12,5	42	150
15.05.2017	59,37624	44,982	17,5	23,39064	9,1	22	185
12.06.2017	54,74952	40,09824	15,6	39,32712	15,3	55	150
17.07.2017	57,57696	47,5524	18,5	29,81664	11,6	45	120
21.08.2017	50,89392	41,1264	16	30,8448	12	40	100
15.09.2017	47,03832	45,75312	17,8	33,4152	13	25	90
22.10.2017	51,66504	42,4116	16,5	35,9856	14	21	84
15.11.2017	80,19648	77,112	30	33,92928	13,2	15	74
19.12.2017	69,4008	59,1192	23	38,556	15	20	44
GB 23	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	H2	H2S(ppm)
2.01.2018	48,8376	43,6968	17	31,61592	12,3	16	70
8.02.2018	68,1156	33,92928	13,2	33,4152	13	20	100
15.03.2018	64,26	39,32712	15,3	31,61592	12,3	40	150
21.04.2018	64,26	39,32712	15,3	31,61592	12,3	40	150
27.05.2018	59,1192	36,75672	14,3	33,92928	13,2	20	120
5.06.2018	71,9712	38,556	15	41,1264	16	22	140
26.07.2018	77,112	41,1264	16	35,9856	14	25	120
20.08.2018	71,9712	61,6896	24	36,49968	14,2	36	85
17.09.2018	70,17192	54,74952	21,3	33,92928	13,2	40	110
4.10.2018	92,5344	51,408	20	39,32712	15,3	45	90
GB 22	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	CO (ppm)	H2S(ppm)
16.03.2013	51,408	35,47152	13,8	37,52784	14,6	0	4,93
27.04.2013	65,28816	49,35168	19,2	39,07008	15,2	3	189
25.05.2013	56,03472	38,04192	14,8	26,9892	10,5	0	3
30.06.2013	67,60152	47,03832	18,3	27,24624	10,6	1	1
7.07.2013	54,49248	36,24264	14,1	32,64408	12,7	0	5
22.08.2013	56,5488	38,04192	14,8	30,58776	11,9	1	118

28.09.2013	62,46072	30,58776	11,9	25,704	10	0	4
27.10.2013	56,03472	37,78488	14,7	25,44696	9,9	1	5
24.11.2013	56,5488	49,35168	19,2	33,4152	13	1	100
22.12.2013	52,6932	46,2672	18	30,8448	12	1	120
GB 22	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	CO (ppm)	H2S(ppm)
26.01.2014	110,5272	87,3936	34	13,36608	5,2	138	251
22.02.2014	117,21024	92,02032	35,8	10,2816	4	78	194
5.03.2014	106,6716	86,87952	33,8	11,30976	4,4	33	364
27.04.2014	114,3828	93,56256	36,4	9,25344	3,6	30	373
31.05.2014	116,43912	99,21744	38,6	8,73936	3,4	34	300
21.06.2014	113,35464	89,19288	34,7	11,30976	4,4	30	350
20.07.2014	129,03408	101,01672	39,3	11,5668	4,5	32	340
16.08.2014	138,03048	110,27016	42,9	1,2852	0,5	23	428
20.09.2014	99,47448	79,6824	31	15,67944	6,1	34	333
26.10.2014	112,58352	90,73512	35,3	10,79568	4,2	8	379
1.11.2014	99,98856	83,538	32,5	14,1372	5,5	7	320
1.12.2014	83,538	66,31632	25,8	23,1336	9	3	166
GB 22	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	CO (ppm)	H2S(ppm)
31.01.2015	0,77112	0,25704	0,1	50,63688	19,7	0	21
28.02.2015	1,79928	0,77112	0,3	51,66504	20,1	0	596
20.03.2015	10,79568	7,45416	2,9	49,60872	19,3	1	121
28.04.2015	9,25344	6,426	2,5	47,80944	18,6	3	97
30.05.2015	51,66504	31,87296	12,4	35,9856	14	2	98
23.06.2015	53,72136	29,5596	11,5	41,1264	16	2	68
29.07.2015	83,79504	60,14736	23,4	19,53504	7,6	27	***
27.08.2015	61,94664	42,15456	16,4	28,78848	11,2	569	188
22.09.2015	68,1156	39,32712	15,3	25,704	10	34	200
26.10.2015	59,1192	36,49968	14,2	23,1336	9	120	500
22.11.2015	56,5488	45,75312	17,8	20,5632	8	100	450
29.12.2015	56,29176	41,89752	16,3	28,2744	11	150	400
GB 22	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	H2	H2S(ppm)
14.01.2016	53,9784	34,44336	13,4	31,61592	12,3	700	1450
10.02.2016	51,408	33,4152	13	32,13	12,5	650	1500
10.03.2016	56,5488	34,7004	13,5	31,61592	12,3	600	1550
18.04.2016	61,6896	35,9856	14	30,33072	11,8	550	1400
17.05.2016	72,74232	41,1264	16	26,21808	10,2	600	1300
15.06.2016	77,112	43,6968	17	25,704	10	700	1400
14.07.2016	75,56976	42,92568	16,7	27,24624	10,6	620	1270
23.08.2016	69,91488	40,86936	15,9	29,5596	11,5	640	1320
19.09.2016	64,51704	41,1264	16	29,04552	11,3	670	1400
17.10.2016	54,74952	39,58416	15,4	32,38704	12,6	620	1310
21.11.2016	58,09104	40,09824	15,6	31,61592	12,3	600	1290
20.12.2016	54,49248	41,1264	16	34,7004	13,5	540	1220
GB 22	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	H2	H2S(ppm)
23.01.2017	59,1192	35,9856	14	30,8448	12	600	1000
22.02.2017	59,89032	34,95744	13,6	26,73216	10,4	720	1570
22.03.2017	67,60152	72,74232	28,3	23,64768	9,2	640	1300
17.04.2017	56,5488	62,46072	24,3	25,704	10	500	1200

15.05.2017	55,52064	51,408	20	31,61592	12,3	450	1180
12.06.2017	41,89752	36,75672	14,3	38,556	15	485	1000
17.07.2017	50,89392	42,4116	16,5	37,2708	14,5	400	1050
21.08.2017	53,9784	43,6968	17	34,95744	13,6	320	760
15.09.2017	47,03832	46,01016	17,9	36,75672	14,3	300	710
22.10.2017	50,1228	41,1264	16	38,556	15	250	640
15.11.2017	74,5416	66,8304	26	30,8448	12	210	615
19.12.2017	79,6824	74,5416	29	28,2744	11	150	520
GB 22	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	H2	H2S(ppm)
21.01.2018	54,74952	39,32712	15,3	31,10184	12,1	640	1100
19.02.2018	61,6896	37,2708	14,5	23,90472	9,3	650	1440
8.03.2018	70,17192	68,1156	26,5	20,5632	8	600	1200
24.04.2018	70,17192	68,1156	26,5	20,5632	8	600	1200
GB 17	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	CO (ppm)	H2S(ppm)
26.01.2014	109,242	85,85136	33,4	13,62312	5,3	250	263
22.02.2014	85,08024	65,80224	25,6	19,53504	7,6	86	247
5.03.2014	127,2348	100,75968	39,2	6,16896	2,4	46	832
27.04.2014	128,26296	102,55896	39,9	5,65488	2,2	30	535
31.05.2014	144,97056	113,35464	44,1	0	0	17	598
21.06.2014	116,43912	92,27736	35,9	8,48232	3,3	12	237
20.07.2014	114,89688	104,35824	40,6	11,30976	4,4	11	230
16.08.2014	143,9424	111,04128	43,2	0	0	16	363
20.09.2014	105,12936	82,2528	32	14,39424	5,6	32	107
26.10.2014	107,44272	83,28096	32,4	13,36608	5,2	8	81
1.11.2014	105,3864	82,50984	32,1	15,16536	5,9	5	129
1.12.2014	61,43256	45,75312	17,8	32,90112	12,8	2	14
GB 17	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	CO (ppm)	H2S(ppm)
31.01.2015	33,15816	26,21808	10,2	39,07008	15,2	1	38
28.02.2015	92,5344	70,42896	27,4	20,04912	7,8	5	***
20.03.2015	27,24624	21,33432	8,3	43,95384	17,1	3,4	664
28.04.2015	39,58416	24,93288	9,7	41,1264	16	3,2	500
30.05.2015	79,16832	57,06288	22,2	24,4188	9,5	24	***
23.06.2015	59,37624	51,408	20	21,33432	8,3	1	45
29.07.2015	65,28816	48,06648	18,7	16,96464	6,6	4,4	100
27.08.2015	75,05568	54,23544	21,1	21,8484	8,5	68	862
22.09.2015	103,84416	80,9676	31,5	12,59496	4,9	39	***
26.10.2015	53,72136	50,37984	19,6	15,4224	6	30	49
22.11.2015	63,23184	48,32352	18,8	13,88016	5,4	23	130
29.12.2015	59,37624	45,23904	17,6	16,7076	6,5	20	150
GB 17	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	H2	H2S(ppm)
14.01.2016	69,4008	50,37984	19,6	26,9892	10,5	9	18
10.02.2016	68,346936	51,613632	20,08	28,01736	10,9	6	16
10.03.2016	65,28816	50,63688	19,7	25,44696	9,9	5	15
18.04.2016	78,063048	57,70548	22,45	24,67584	9,6	25	83
17.05.2016	92,5344	61,6896	24	20,5632	8	35	90
15.06.2016	80,299296	62,177976	24,19	23,39064	9,1	235	150
14.07.2016	108,393768	83,615112	32,53	13,88016	5,4	120	284
23.08.2016	114,63984	87,90768	34,2	12,59496	4,9	130	290

19.09.2016	112,06944	89,70696	34,9	12,33792	4,8	150	320
17.10.2016	101,01672	82,50984	32,1	13,10904	5,1	140	300
21.11.2016	103,33008	85,08024	33,1	12,59496	4,9	150	360
GB 17	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	H2	H2S(ppm)
22.03.2017	98,18928	72,74232	28,3	21,07728	8,2	5	15
17.04.2017	106,6716	82,76688	32,2	18,50688	7,2	6	18
15.05.2017	94,07664	87,90768	34,2	15,4224	6	14	22
12.06.2017	119,5236	100,75968	39,2	13,10904	5,1	22	32
17.07.2017	113,0976	101,01672	39,3	14,39424	5,6	15	25
21.08.2017	105,3864	103,58712	40,3	12,59496	4,9	10	22
15.09.2017	100,2456	93,04848	36,2	13,62312	5,3	24	36
22.10.2017	105,3864	97,6752	38	12,59496	4,9	26	38
15.11.2017	124,15032	116,18208	45,2	9,25344	3,6	32	44
19.12.2017	138,8016	131,0904	51	5,39784	2,1	14	26
GB 17	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	H2	H2S(ppm)
11.01.2018	92,5344	87,3936	34	51,408	20	5	20
9.02.2018	105,3864	92,5344	36	51,408	20	5	10
17.03.2018	92,5344	79,6824	31	23,90472	9,3	6	20
22.04.2018	95,87592	84,8232	33	26,21808	10,2	5	200
13.05.2018	93,8196	81,22464	31,6	23,90472	9,3	0	100
3.06.2018	106,15752	93,04848	36,2	25,704	10	1	110
19.07.2018	113,0976	97,6752	38	28,2744	11	3	120
24.08.2018	105,3864	92,5344	36	30,8448	12	5	140
21.09.2018	95,87592	83,538	32,5	29,04552	11,3	8	100
20.10.2018	93,8196	80,45352	31,3	26,47512	10,3	5	85
GB 21	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	CO (ppm)	H2S(ppm)
22.12.2013	0,51408	0,51408	0,2	51,408	20	3	0
GB 21	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	CO (ppm)	H2S(ppm)
26.01.2014	2,31336	2,31336	0,9	53,20728	20,7	1	0
22.02.2014	2,05632	0,77112	0,3	46,2672	18	1	0
5.03.2014	1,79928	1,54224	0,6	43,6968	17	2	0
27.04.2014	7,19712	6,426	2,5	49,35168	19,2	2	4
31.05.2014	5,65488	2,5704	1	51,15096	19,9	1	4
21.06.2014	1,54224	1,2852	0,5	48,8376	19	0	6
20.07.2014	3,34152	5,39784	2,1	41,1264	16	1	5
16.08.2014	33,4152	2,31336	0,9	47,80944	18,6	2	3
20.09.2014	2,31336	2,5704	1	50,89392	19,8	3	8
26.10.2014	1,02816	0,77112	0,3	51,15096	19,9	0	0
1.11.2014	1,2852	0,51408	0,2	46,2672	18	0	0
1.12.2014	7,7112	9,76752	3,8	49,60872	19,3	29	0
GB 21	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	CO (ppm)	H2S(ppm)
31.01.2015	8,48232	5,91192	2,3	33,15816	12,9	1	4
28.02.2015	11,5668	8,73936	3,4	35,21448	13,7	1	20
20.03.2015	16,7076	11,30976	4,4	28,78848	11,2	1	4
28.04.2015	12,33792	9,76752	3,8	25,96104	10,1	0	5
30.05.2015	14,39424	13,88016	5,4	42,4116	16,5	0	3
23.06.2015	20,04912	17,22168	6,7	31,61592	12,3	2	2
29.07.2015	23,1336	17,73576	6,9	33,92928	13,2	1	4

27.08.2015	90,73512	65,28816	25,4	18,24984	7,1	24	139
22.09.2015	26,21808	11,5668	4,5	16,7076	6,5	1	5
26.10.2015	29,30256	15,16536	5,9	21,07728	8,2	2	4
22.11.2015	32,64408	13,36608	5,2	15,93648	6,2	3	3
29.12.2015	34,7004	13,88016	5,4	18,50688	7,2	1	3
GB 21	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	H2	H2S(ppm)
14.01.2016	33,15816	14,39424	5,6	44,21088	17,2	5	8
10.02.2016	30,8448	13,62312	5,3	44,982	17,5	1	10
10.03.2016	32,38704	11,82384	4,6	44,72496	17,4	1	10
18.04.2016	38,556	13,62312	5,3	42,92568	16,7	2	14
17.05.2016	48,8376	14,90832	5,8	41,64048	16,2	3	18
15.06.2016	56,5488	14,39424	5,6	43,18272	16,8	5	22
14.07.2016	61,6896	15,93648	6,2	39,07008	15,2	6	30
23.08.2016	64,00296	16,96464	6,6	38,556	15	10	39
19.09.2016	68,1156	17,9928	7	37,2708	14,5	15	46
17.10.2016	59,63328	15,93648	6,2	39,58416	15,4	18	51
21.11.2016	57,31992	16,19352	6,3	39,58416	15,4	21	58
20.12.2016	49,35168	13,62312	5,3	42,4116	16,5	15	60
GB 21	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	H2	H2S(ppm)
23.01.2017	50,1228	14,39424	5,6	41,64048	16,2	14	58
22.02.2017	62,20368	19,02096	7,4	41,89752	16,3	3	14
22.03.2017	53,9784	31,61592	12,3	41,38344	16,1	9	21
17.04.2017	60,4044	29,04552	11,3	39,07008	15,2	15	26
15.05.2017	47,03832	31,61592	12,3	44,982	17,5	15	40
12.06.2017	45,23904	33,67224	13,1	47,5524	18,5	24	42
17.07.2017	42,4116	29,04552	11,3	45,49608	17,7	22	45
21.08.2017	39,07008	25,704	10	46,01016	17,9	16	34
15.09.2017	33,4152	23,1336	9	46,2672	18	10	40
22.10.2017	38,556	25,704	10	41,1264	16	11	35
15.11.2017	46,2672	28,2744	11	35,9856	14	15	43
19.12.2017	38,556	25,704	10	30,8448	12	20	32
GB 21	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	H2	H2S(ppm)
9.01.2018	51,92208	15,4224	6	40,09824	15,6	15	60
11.02.2018	57,31992	17,73576	6,9	40,09824	15,6	5	20
14.03.2018	50,89392	29,04552	11,3	45,23904	17,6	1	15
10.04.2018	53,9784	35,9856	14	41,1264	16	0	10
24.05.2018	51,15096	36,75672	14,3	28,2744	11	1	15
22.06.2018	41,1264	31,61592	12,3	20,5632	8	2	20
16.07.2018	36,49968	33,92928	13,2	23,90472	9,3	5	25
2.08.2018	42,66864	39,07008	15,2	31,61592	12,3	6	11
19.09.2018	44,46792	36,75672	14,3	34,18632	13,3	5	12
21.10.2018	42,66864	26,47512	10,3	29,04552	11,3	6	15
20.11.2018	48,8376	28,2744	11	31,61592	12,3	8	13
17.12.2018	53,9784	30,8448	12	34,18632	13,3	7	14
GB 28	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	CO (ppm)	H2S(ppm)
16.03.2013	6,426	5,39784	2,1	53,46432	20,8	0	17
27.04.2013	3,34152	8,73936	3,4	45,75312	17,8	0	4
25.05.2013	24,16176	14,90832	5,8	15,93648	6,2	0	14

30.06.2013	0,77112	0,25704	0,1	49,35168	19,2	0	3
7.07.2013	0,51408	0,25704	0,1	50,1228	19,5	0	4
22.08.2013	0,51408	0,25704	0,1	48,8376	19	0	4
28.09.2013	0,51408	0,51408	0,2	48,58056	18,9	0	3
27.10.2013	0,51408	0,25704	0,1	51,15096	19,9	0	6
24.11.2013	0,25704	0,25704	0,1	53,46432	20,8	0	1
22.12.2013	0,51408	0,25704	0,1	51,15096	19,9	0	1
GB 28	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	CO (ppm)	H2S(ppm)
26.01.2014	0,25704	0,51408	0,2	53,72136	20,9	1	1
22.02.2014	0,51408	0,51408	0,2	53,9784	21	0	0
5.03.2014	0,77112	0,25704	0,1	56,5488	22	0	0
27.04.2014	1,79928	3,34152	1,3	50,37984	19,6	10	5
31.05.2014	0,51408	0,25704	0,1	52,17912	20,3	0	2
21.06.2014	13,88016	15,67944	6,1	38,04192	14,8	1	15
20.07.2014	1,02816	0,77112	0,3	40,61232	15,8	2	5
16.08.2014	3,08448	3,8556	1,5	45,49608	17,7	12	9
20.09.2014	0,51408	0,25704	0,1	52,17912	20,3	3	5
26.10.2014	2,31336	3,34152	1,3	49,35168	19,2	9	2
1.11.2014	1,02816	0,51408	0,2	49,09464	19,1	3	2
1.12.2014	0,77112	0,25704	0,1	52,6932	20,5	0	0
GB 28	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	CO (ppm)	H2S(ppm)
31.01.2015	7,45416	8,73936	3,4	39,32712	15,3	2	2
28.02.2015	8,48232	6,426	2,5	42,92568	16,7	2	2
20.03.2015	11,5668	13,62312	5,3	42,92568	16,7	0	3
28.04.2015	12,08088	11,5668	4,5	42,4116	16,5	2	9
30.05.2015	14,1372	11,5668	4,5	42,15456	16,4	1	4
23.06.2015	12,59496	9,76752	3,8	41,89752	16,3	1	5
29.07.2015	10,02456	8,73936	3,4	43,6968	17	2	3
27.08.2015	15,16536	13,36608	5,2	37,78488	14,7	1	11
22.09.2015	12,59496	11,05272	4,3	41,1264	16	1	7
26.10.2015	8,22528	7,96824	3,1	36,75672	14,3	0	4
22.11.2015	11,05272	8,48232	3,3	38,556	15	0	4
29.12.2015	14,39424	11,82384	4,6	41,1264	16	0	3
GB 28	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	H2	H2S(ppm)
14.01.2016	10,02456	2,31336	0,9	52,95024	20,6	2	4
10.02.2016	9,25344	2,05632	0,8	51,408	20	2	5
10.03.2016	8,48232	2,05632	0,8	51,408	20	2	5
18.04.2016	14,39424	2,5704	1	51,408	20	3	7
17.05.2016	21,59136	4,88376	1,9	47,5524	18,5	4	12
15.06.2016	22,87656	5,1408	2	47,80944	18,6	5	13
14.07.2016	24,16176	6,16896	2,4	42,66864	16,6	17	34
23.08.2016	29,30256	7,7112	3	43,6968	17	25	41
19.09.2016	25,96104	6,68304	2,6	45,75312	17,8	24	45
17.10.2016	30,58776	5,39784	2,1	43,18272	16,8	14	41
21.11.2016	23,90472	4,62672	1,8	43,95384	17,1	15	38
20.12.2016	20,5632	5,91192	2,3	47,03832	18,3	14	36
GB 28	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	H2	H2S(ppm)
23.01.2017	18,76392	7,96824	3,1	49,35168	19,2	15	45

22.02.2017	10,53864	2,82744	1,1	51,408	20	3	6
22.03.2017	13,10904	4,11264	1,6	51,408	20	5	6
17.04.2017	17,47872	4,62672	1,8	51,66504	20,1	6	7
15.05.2017	12,33792	3,59856	1,4	52,17912	20,3	6	19
12.06.2017	13,10904	3,8556	1,5	52,6932	20,5	7	22
17.07.2017	15,93648	4,11264	1,6	47,5524	18,5	5	16
21.08.2017	13,88016	3,34152	1,3	49,35168	19,2	6	15
15.09.2017	8,22528	41,1264	16	52,17912	20,3	7	24
22.10.2017	11,82384	10,53864	4,1	51,408	20	8	29
15.11.2017	15,4224	13,36608	5,2	52,95024	20,6	18	20
19.12.2017	17,9928	11,05272	4,3	52,95024	20,6	16	25
GB 28	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	H2	H2S(ppm)
10.01.2018	19,278	8,48232	3,3	51,15096	19,9	17	48
13.02.2018	12,59496	3,34152	1,3	51,92208	20,2	4	7
24.03.2018	15,4224	5,39784	2,1	48,8376	19	6	7
20.04.2018	15,4224	5,39784	2,1	48,8376	19	6	7
16.05.2018	20,5632	5,65488	2,2	2,5704	1	5	15
12.06.2018	43,6968	21,33432	8,3	5,1408	2	10	17
29.07.2018	50,89392	25,704	10	7,7112	3	11	18
11.08.2018	61,6896	29,04552	11,3	12,852	5	10	20
GB 26	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	CO (ppm)	H2S(ppm)
16.03.2013	0,25704	0,25704	0,1	52,95024	20,6	0	1
27.04.2013	0,25704	0,25704	0,1	47,5524	18,5	0	2
25.05.2013	2,82744	1,79928	0,7	48,8376	19	0	4
30.06.2013	0,77112	0,25704	0,1	49,35168	19,2	0	3
7.07.2013	0,51408	0,51408	0,2	48,58056	18,9	0	3
22.08.2013	0,51408	0,25704	0,1	45,23904	17,6	1	3
28.09.2013	0,77112	0,25704	0,1	48,32352	18,8	1	2
27.10.2013	0,51408	0,51408	0,2	51,15096	19,9	1	3
24.11.2013	1,02816	0,77112	0,3	51,66504	20,1	1	2
22.12.2013	0,25704	0,51408	0,2	53,72136	20,9	1	1
GB 26	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	CO (ppm)	H2S(ppm)
26.01.2014	1,2852	0,77112	0,3	51,15096	19,9	3	1
22.02.2014	1,02816	1,2852	0,5	51,66504	20,1	3	1
5.03.2014	0,77112	0,51408	0,2	51,92208	20,2	2	1
27.04.2014	0,77112	0,25704	0,1	45,75312	17,8	2	0
31.05.2014	0,51408	0,25704	0,1	51,15096	19,9	2	0
21.06.2014	1,54224	1,2852	0,5	48,8376	19	0	6
20.07.2014	2,82744	4,11264	1,6	46,2672	18	0	7
16.08.2014	4,11264	3,8556	1,5	46,2672	18	11	8
20.09.2014	3,08448	3,8556	1,5	48,8376	19	50	7
26.10.2014	2,31336	3,08448	1,2	49,09464	19,1	9	2
1.11.2014	5,91192	8,22528	3,2	46,2672	18	3	2
1.12.2014	8,9964	7,96824	3,1	48,8376	19	3	2
GB 26	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	CO (ppm)	H2S(ppm)
31.01.2015	3,8556	2,82744	1,1	43,6968	17	5	0
28.02.2015	4,88376	5,39784	2,1	46,2672	18	4	0
20.03.2015	5,91192	3,34152	1,3	49,09464	19,1	3	0

28.04.2015	8,73936	5,39784	2,1	42,4116	16,5	3	2
30.05.2015	8,48232	5,91192	2,3	44,46792	17,3	3	2
23.06.2015	9,51048	6,68304	2,6	42,4116	16,5	3	3
29.07.2015	11,5668	7,96824	3,1	40,61232	15,8	6	3
27.08.2015	11,05272	8,22528	3,2	42,66864	16,6	6	2
22.09.2015	10,02456	8,9964	3,5	43,95384	17,1	0	4
26.10.2015	8,22528	8,48232	3,3	41,64048	16,2	0	4
22.11.2015	12,59496	12,08088	4,7	40,86936	15,9	2	3
29.12.2015	11,30976	11,05272	4,3	39,58416	15,4	2	2
GB 26	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	H2	H2S(ppm)
14.01.2016	9,25344	10,02456	3,9	44,72496	17,4	2	0
10.02.2016	7,942536	9,202032	3,58	46,01016	17,9	1	0
10.03.2016	7,96824	8,22528	3,2	43,95384	17,1	1	0
18.04.2016	12,33792	10,53864	4,1	41,1264	16	1	3
17.05.2016	14,90832	12,33792	4,8	21,59136	8,4	5	12
15.06.2016	16,45056	13,10904	5,1	22,10544	8,6	7	15
14.07.2016	18,50688	14,39424	5,6	21,33432	8,3	15	42
23.08.2016	22,10544	15,16536	5,9	20,82024	8,1	24	45
19.09.2016	22,10544	13,36608	5,2	21,07728	8,2	29	54
17.10.2016	18,50688	11,05272	4,3	23,64768	9,2	35	46
21.11.2016	16,19352	11,30976	4,4	26,47512	10,3	40	50
20.12.2016	18,50688	11,5668	4,5	30,58776	11,9	25	45
GB 26	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	H2	H2S(ppm)
23.01.2017	9,25344	10,02456	3,9	44,72496	17,4	2	0
22.02.2017	7,942536	9,202032	3,58	46,01016	17,9	1	0
22.03.2017	8,9964	8,73936	3,4	45,75312	17,8	1	0
17.04.2017	12,33792	10,53864	4,1	41,1264	16	1	3
15.05.2017	14,90832	12,33792	4,8	21,59136	8,4	5	12
12.06.2017	16,45056	13,10904	5,1	22,10544	8,6	7	15
17.07.2017	18,50688	14,39424	5,6	21,33432	8,3	15	42
21.08.2017	22,10544	15,16536	5,9	20,82024	8,1	24	45
15.09.2017	22,10544	13,36608	5,2	21,07728	8,2	29	54
22.10.2017	18,50688	11,05272	4,3	23,64768	9,2	35	46
15.11.2017	16,19352	11,30976	4,4	26,47512	10,3	40	50
19.12.2017	18,50688	11,5668	4,5	30,58776	11,9	25	45
GB 26	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	H2	H2S(ppm)
20.01.2018	22,61952	10,2816	4	30,58776	11,9	25	46
17.02.2018	7,7112	6,68304	2,6	45,75312	17,8	0	3
13.03.2018	12,59496	8,48232	3,3	49,09464	19,1	6	20
10.04.2018	12,59496	8,48232	3,3	49,09464	19,1	6	20
21.05.2018	15,67944	11,05272	4,3	47,29536	18,4	5	12
20.06.2018	23,90472	13,62312	5,3	49,35168	19,2	6	25
26.07.2018	30,8448	16,19352	6,3	26,47512	10,3	20	40
12.08.2018	34,95744	11,05272	4,3	21,8484	8,5	14	22
14.09.2018	41,89752	23,90472	9,3	23,1336	9	20	40
GB 27	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	CO (ppm)	H2S(ppm)
16.03.2013	2,31336	2,05632	0,8	52,17912	20,3	0	1
27.04.2013	0,25704	0,25704	0,1	47,5524	18,5	0	2

25.05.2013	0,51408	0,25704	0,1	49,60872	19,3	0	4
30.06.2013	3,34152	1,79928	0,7	46,2672	18	0	1
7.07.2013	5,39784	3,08448	1,2	48,32352	18,8	0	3
22.08.2013	6,426	3,8556	1,5	46,52424	18,1	0	3
28.09.2013	4,36968	2,5704	1	47,80944	18,6	0	2
27.10.2013	2,5704	1,79928	0,7	50,89392	19,8	0	2
24.11.2013	1,54224	1,02816	0,4	53,20728	20,7	0	1
22.12.2013	1,2852	1,54224	0,6	52,6932	20,5	0	1
GB 27	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	CO (ppm)	H2S(ppm)
26.01.2014	2,05632	1,2852	0,5	53,46432	20,8	1	3
22.02.2014	0,77112	1,02816	0,4	51,408	20	6	2
5.03.2014	1,02816	3,59856	1,4	51,408	20	4	2
27.04.2014	0,51408	0,77112	0,3	52,43616	20,4	0	2
31.05.2014	2,5704	0,51408	0,2	46,2672	18	3	1
21.06.2014	3,08448	0,77112	0,3	43,6968	17	2	1
20.07.2014	3,34152	1,02816	0,4	46,2672	18	0	3
16.08.2014	3,8556	4,11264	1,6	51,15096	19,9	3	2
20.09.2014	4,11264	4,36968	1,7	51,66504	20,1	4	2
26.10.2014	2,31336	3,34152	1,3	48,32352	18,8	3	2
1.11.2014	4,11264	3,08448	1,2	48,8376	19	3	3
1.12.2014	4,62672	3,34152	1,3	46,2672	18	4	3
GB 27	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	CO (ppm)	H2S(ppm)
31.01.2015	5,39784	0,51408	0,2	43,6968	17	2	2
28.02.2015	6,68304	2,82744	1,1	46,2672	18	2	2
20.03.2015	8,9964	11,05272	4,3	42,92568	16,7	0	3
28.04.2015	8,22528	6,426	2,5	42,92568	16,7	1	3
30.05.2015	10,02456	5,91192	2,3	48,06648	18,7	2	3
23.06.2015	10,79568	6,16896	2,4	44,21088	17,2	3	3
29.07.2015	10,53864	10,02456	3,9	45,75312	17,8	0	4
27.08.2015	11,5668	9,51048	3,7	48,32352	18,8	0	2
22.09.2015	5,39784	5,65488	2,2	48,06648	18,7	4	12
26.10.2015	5,91192	0,25704	0,1	41,1264	16	3	13
22.11.2015	8,48232	5,39784	2,1	46,2672	18	3	14
29.12.2015	8,73936	8,9964	3,5	43,6968	17	2	5
GB 27	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	H2	H2S(ppm)
14.01.2016	5,91192	1,54224	0,6	51,408	20	0	0
10.02.2016	4,88376	1,02816	0,4	48,8376	19	0	0
10.03.2016	4,62672	0,77112	0,3	48,8376	19	0	0
18.04.2016	6,68304	3,08448	1,2	47,80944	18,6	0	0
17.05.2016	10,53864	4,62672	1,8	46,2672	18	1	3
15.06.2016	11,30976	4,88376	1,9	46,01016	17,9	2	5
14.07.2016	115,92504	6,426	2,5	42,92568	16,7	3	8
23.08.2016	100,75968	54,49248	21,2	44,21088	17,2	5	15
19.09.2016	88,16472	51,408	20	46,2672	18	6	21
17.10.2016	41,89752	38,81304	15,1	50,1228	19,5	5	14
21.11.2016	25,96104	31,35888	12,2	51,92208	20,2	8	19
20.12.2016	23,64768	28,53144	11,1	51,92208	20,2	9	26
GB 27	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	H2	H2S(ppm)

23.01.2017	21,59136	25,704	10	52,17912	20,3	7	25
22.02.2017	5,39784	1,54224	0,6	51,66504	20,1	2	5
22.03.2017	8,22528	2,31336	0,9	41,64048	16,2	6	23
17.04.2017	11,05272	3,08448	1,2	44,21088	17,2	7	25
15.05.2017	15,93648	4,88376	1,9	48,8376	19	4	21
12.06.2017	12,59496	3,08448	1,2	52,17912	20,3	5	23
17.07.2017	18,24984	11,05272	4,3	47,5524	18,5	2	15
21.08.2017	16,96464	10,53864	4,1	48,8376	19	2	11
15.09.2017	11,30976	9,25344	3,6	51,408	20	3	12
22.10.2017	12,59496	10,02456	3,9	51,408	20	4	20
15.11.2017	19,02096	13,36608	5,2	51,408	20	5	24
19.12.2017	13,62312	14,39424	5,6	51,408	20	3	21
GB 27	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	H2	H2S(ppm)
9.01.2018	21,07728	26,21808	10,2	52,95024	20,6	8	30
11.02.2018	5,1408	0,77112	0,3	52,17912	20,3	3	6
10.03.2018	7,19712	2,82744	1,1	46,01016	17,9	7	25
20.04.2018	7,19712	2,82744	1,1	46,01016	17,9	7	25
21.05.2018	8,22528	3,34152	1,3	41,89752	16,3	6	22
22.06.2018	23,90472	5,91192	2,3	38,556	15	7	15
20.07.2018	29,04552	8,22528	3,2	20,5632	8	6	16
19.08.2018	33,67224	15,67944	6,1	19,02096	7,4	5	15
GB 24	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	CO (ppm)	H2S(ppm)
16.03.2013	2,31336	2,05632	0,8	52,17912	20,3	0	3
27.04.2013	9,76752	6,426	2,5	44,21088	17,2	0	7
25.05.2013	142,91424	106,41456	41,4	0,51408	0,2	6	542
30.06.2013	9,51048	5,91192	2,3	46,78128	18,2	0	2
7.07.2013	16,45056	10,02456	3,9	45,49608	17,7	0	5
22.08.2013	19,02096	11,82384	4,6	43,18272	16,8	0	4
28.09.2013	14,65128	8,9964	3,5	44,46792	17,3	0	2
27.10.2013	0,51408	0,25704	0,1	51,15096	19,9	0	2
24.11.2013	0,51408	0,51408	0,2	53,46432	20,8	0	1
22.12.2013	0,25704	0,25704	0,1	50,89392	19,8	0	1
GB 24	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	CO (ppm)	H2S(ppm)
26.01.2014	1,2852	0,77112	0,3	53,72136	20,9	1	58
22.02.2014	0,51408	0,51408	0,2	53,9784	21	0	0
5.03.2014	5,91192	2,31336	0,9	46,2672	18	0	3
27.04.2014	11,5668	5,39784	2,1	43,6968	17	0	4
31.05.2014	12,08088	6,426	2,5	49,35168	19,2	2	3
21.06.2014	8,22528	4,36968	1,7	47,80944	18,6	2	2
20.07.2014	16,7076	8,9964	3,5	45,49608	17,7	2	1
16.08.2014	18,76392	12,08088	4,7	43,43976	16,9	3	1
20.09.2014	21,07728	16,96464	6,6	43,18272	16,8	5	1
26.10.2014	16,96464	11,05272	4,3	51,408	20	2	2
1.11.2014	16,45056	11,30976	4,4	53,72136	20,9	0	2
1.12.2014	17,47872	12,08088	4,7	53,46432	20,8	0	2
GB 24	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	CO (ppm)	H2S(ppm)
31.01.2015	19,53504	14,1372	5,5	42,15456	16,4	1	1
28.02.2015	16,7076	16,45056	6,4	43,6968	17	1	1

20.03.2015	21,33432	20,04912	7,8	41,1264	16	3	2
28.04.2015	25,704	18,76392	7,3	47,80944	18,6	10	3
30.05.2015	28,2744	22,87656	8,9	47,03832	18,3	3	3
23.06.2015	34,95744	25,96104	10,1	50,37984	19,6	4	8
29.07.2015	31,87296	28,78848	11,2	49,60872	19,3	4	4
27.08.2015	37,2708	33,15816	12,9	42,15456	16,4	5	5
22.09.2015	42,92568	34,7004	13,5	41,38344	16,1	5	5
26.10.2015	22,87656	13,36608	5,2	51,15096	19,9	0	2
22.11.2015	19,53504	16,7076	6,5	51,66504	20,1	0	2
29.12.2015	18,76392	17,47872	6,8	52,43616	20,4	0	2
GB 24	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	H2	H2S(ppm)
14.01.2016	66,8304	45,75312	17,8	23,1336	9	30	160
10.02.2016	64,26	43,6968	17	25,704	10	18	175
10.03.2016	59,1192	35,9856	14	25,704	10	18	175
18.04.2016	59,89032	35,9856	14	27,24624	10,6	29	142
17.05.2016	75,05568	43,43976	16,9	23,39064	9,1	35	100
15.06.2016	67,60152	43,18272	16,8	25,704	10	100	200
14.07.2016	73,51344	41,38344	16,1	23,90472	9,3	120	250
23.08.2016	70,94304	40,35528	15,7	23,39064	9,1	110	235
19.09.2016	72,74232	40,86936	15,9	23,1336	9	115	265
17.10.2016	65,03112	37,52784	14,6	26,47512	10,3	100	210
21.11.2016	57,834	35,72856	13,9	28,2744	11	110	185
20.12.2016	64,26	36,49968	14,2	32,38704	12,6	95	170
GB 24	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	H2	H2S(ppm)
23.01.2017	70,17192	34,7004	13,5	31,87296	12,4	120	185
22.02.2017	59,63328	41,89752	16,3	29,04552	11,3	22	180
22.03.2017	93,04848	39,07008	15,2	23,90472	9,3	12	120
17.04.2017	72,74232	36,75672	14,3	21,33432	8,3	15	140
15.05.2017	58,09104	44,982	17,5	23,39064	9,1	22	185
12.06.2017	48,58056	44,46792	17,3	28,78848	11,2	26	170
17.07.2017	53,9784	42,15456	16,4	21,33432	8,3	25	170
21.08.2017	57,31992	41,38344	16,1	20,30616	7,9	10	120
15.09.2017	51,408	44,21088	17,2	23,1336	9	14	100
22.10.2017	61,6896	51,66504	20,1	20,5632	8	18	120
15.11.2017	67,60152	59,1192	23	17,9928	7	14	100
19.12.2017	77,112	66,8304	26	20,5632	8	6	90
GB 24	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	H2	H2S(ppm)
10.01.2018	70,686	35,9856	14	32,38704	12,6	100	175
19.02.2018	53,9784	39,32712	15,3	33,15816	12,9	18	140
18.03.2018	97,6752	49,60872	19,3	26,47512	10,3	11	140
21.04.2018	97,6752	49,60872	19,3	26,47512	10,3	11	140
22.05.2018	87,3936	47,03832	18,3	29,04552	11,3	12	160
15.06.2018	95,1048	48,8376	19	30,8448	12	13	150
19.07.2018	79,6824	46,78128	18,2	33,4152	13	14	140
20.08.2018	77,88312	52,17912	20,3	36,75672	14,3	18	110
23.09.2018	65,03112	53,9784	21	36,75672	14,3	16	90
14.10.2018	70,17192	51,408	20	39,32712	15,3	45	90
10.11.2018	62,46072	54,74952	21,3	33,92928	13,2	18	60

16.12.2018	56,5488	51,66504	20,1	36,75672	14,3	20	45
GB 14	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	CO (ppm)	H2S(ppm)
16.03.2013	0,25704	0,25704	0,1	53,20728	20,7	0	1
27.04.2013	3,8556	2,82744	1,1	48,06648	18,7	0	2
25.05.2013	2,82744	1,79928	0,7	49,09464	19,1	0	3
30.06.2013	0,77112	0,25704	0,1	50,1228	19,5	0	2
7.07.2013	1,54224	1,02816	0,4	49,86576	19,4	0	4
22.08.2013	3,08448	2,05632	0,8	48,58056	18,9	0	2
28.09.2013	7,7112	4,88376	1,9	46,2672	18	0	8
27.10.2013	0,51408	0,25704	0,1	51,15096	19,9	1	2
24.11.2013	0,25704	0,51408	0,2	50,1228	19,5	1	3
22.12.2013	1,2852	1,54224	0,6	52,6932	20,5	0	11
GB 14	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	CO (ppm)	H2S(ppm)
26.01.2014	4,36968	4,62672	1,8	51,66504	20,1	3	2
22.02.2014	5,1408	4,62672	1,8	51,92208	20,2	1	3
5.03.2014	5,91192	5,1408	2	47,29536	18,4	1	3
27.04.2014	4,11264	3,8556	1,5	50,63688	19,7	0	4
31.05.2014	2,5704	2,31336	0,9	51,15096	19,9	0	7
21.06.2014	2,5704	2,05632	0,8	50,89392	19,8	0	6
20.07.2014	3,08448	1,79928	0,7	51,66504	20,1	1	5
16.08.2014	4,88376	3,8556	1,5	46,01016	17,9	1	6
20.09.2014	4,11264	4,11264	1,6	51,15096	19,9	606	16
26.10.2014	2,82744	2,5704	1	49,60872	19,3	0	2
1.11.2014	5,39784	4,88376	1,9	50,63688	19,7	1	2
1.12.2014	3,8556	3,59856	1,4	46,2672	18	1	2
GB 14	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	CO (ppm)	H2S(ppm)
31.01.2015	4,62672	4,36968	1,7	43,6968	17	5	10
28.02.2015	5,39784	5,1408	2	46,2672	18	2	1
20.03.2015	4,36968	5,1408	2	48,8376	19	4	2
28.04.2015	8,48232	5,91192	2,3	51,408	20	2	2
30.05.2015	5,91192	5,1408	2	48,8376	19	4	2
23.06.2015	4,88376	2,5704	1	46,2672	18	3	2
29.07.2015	3,8556	4,11264	1,6	43,6968	17	3	2
27.08.2015	3,59856	2,31336	0,9	46,2672	18	5	1
22.09.2015	6,426	3,59856	1,4	43,6968	17	5	1
26.10.2015	8,73936	7,7112	3	46,2672	18	4	2
22.11.2015	9,51048	8,22528	3,2	49,09464	19,1	4	2
29.12.2015	10,02456	7,7112	3	49,60872	19,3	2	2
GB 14	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	H2	H2S(ppm)
14.01.2016	10,53864	1,54224	0,6	52,6932	20,5	1	2
10.02.2016	7,7112	1,02816	0,4	53,9784	21	0	0
10.03.2016	8,22528	1,2852	0,5	51,408	20	0	0
18.04.2016	10,02456	1,2852	0,5	52,95024	20,6	1	1
17.05.2016	11,82384	1,79928	0,7	51,66504	20,1	2	3
15.06.2016	14,65128	2,31336	0,9	51,92208	20,2	5	10
14.07.2016	21,59136	2,5704	1	49,86576	19,4	7	22
23.08.2016	29,30256	5,91192	2,3	46,78128	18,2	8	30
19.09.2016	33,15816	7,19712	2,8	46,2672	18	10	42

17.10.2016	26,47512	4,88376	1,9	49,35168	19,2	15	40
21.11.2016	36,75672	8,22528	3,2	47,80944	18,6	20	44
20.12.2016	38,81304	7,45416	2,9	46,52424	18,1	15	46
GB 14	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	H2	H2S(ppm)
23.01.2017	13,62312	2,31336	0,9	44,46792	17,3	2	6
22.02.2017	7,7112	1,02816	0,4	53,9784	21	0	0
22.03.2017	21,07728	2,82744	1,1	49,35168	19,2	2	5
17.04.2017	26,73216	18,50688	7,2	47,03832	18,3	5	11
15.05.2017	31,61592	20,30616	7,9	42,4116	16,5	4	12
12.06.2017	28,2744	20,82024	8,1	44,21088	17,2	5	14
17.07.2017	25,96104	21,07728	8,2	43,43976	16,9	5	14
21.08.2017	24,4188	19,02096	7,4	44,21088	17,2	2	9
15.09.2017	21,8484	16,96464	6,6	47,29536	18,4	1	15
22.10.2017	23,90472	15,16536	5,9	46,2672	18	3	18
15.11.2017	66,8304	61,6896	24	28,2744	11	5	25
19.12.2017	41,1264	35,9856	14	28,2744	11	2	30
GB 14	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	H2	H2S(ppm)
9.01.2018	14,5656	2,91312	1	50,9796	17,5	3	7
10.02.2018	13,400352	2,621808	0,9	55,34928	19	1	0
11.03.2018	26,509392	4,660992	1,6	59,136336	20,3	3	8
12.04.2018	32,918256	6,117552	2,1	56,223216	19,3	4	10
20.05.2018	35,831376	32,626944	11,2	47,483856	16,3	5	20
23.06.2018	52,43616	35,831376	12,3	40,78368	14	6	15
14.07.2018	61,17552	39,618432	13,6	37,87056	13	5	20
15.08.2018	67,293072	47,483856	16,3	41,657616	14,3	6	15
21.09.2018	76,615056	62,923392	21,6	35,540064	12,2	5	23
22.10.2018	68,167008	59,136336	20,3	32,918256	11,3	8	15
GB 13	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	CO (ppm)	H2S(ppm)
16.03.2013	0,25704	1,54224	0,6	46,2672	18	3	8
27.04.2013	0,77112	1,79928	0,7	48,8376	19	3	6
25.05.2013	1,79928	1,2852	0,5	48,8376	19	2	2
30.06.2013	1,02816	0,51408	0,2	50,89392	19,8	0	2
7.07.2013	1,54224	1,2852	0,5	45,75312	17,8	1	2
22.08.2013	5,1408	2,05632	0,8	48,06648	18,7	0	6
28.09.2013	3,8556	2,31336	0,9	47,5524	18,5	0	5
27.10.2013	4,11264	2,5704	1	49,86576	19,4	2	2
24.11.2013	6,68304	3,59856	1,4	44,982	17,5	2	2
22.12.2013	8,48232	6,426	2,5	46,2672	18	3	4
GB 13	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	CO (ppm)	H2S(ppm)
26.01.2014	4,88376	4,62672	1,8	51,92208	20,2	3	2
22.02.2014	7,7112	4,88376	1,9	51,66504	20,1	1	3
5.03.2014	6,426	5,1408	2	46,2672	18	1	10
27.04.2014	4,36968	4,11264	1,6	50,63688	19,7	0	4
31.05.2014	4,11264	2,82744	1,1	45,75312	17,8	3	3
21.06.2014	9,76752	6,16896	2,4	47,80944	18,6	3	6
20.07.2014	12,08088	8,9964	3,5	43,43976	16,9	0	12
16.08.2014	5,91192	4,88376	1,9	46,01016	17,9	1	6
20.09.2014	11,05272	9,51048	3,7	42,4116	16,5	1	3

26.10.2014	4,11264	2,5704	1	49,09464	19,1	0	2
1.11.2014	4,88376	2,5704	1	49,60872	19,3	0	2
1.12.2014	6,94008	2,5704	1	46,2672	18	1	2
GB 13	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	CO (ppm)	H2S(ppm)
31.01.2015	11,5668	11,05272	4,3	43,43976	16,9	2	9
28.02.2015	13,36608	11,30976	4,4	43,6968	17	2	4
20.03.2015	13,88016	13,10904	5,1	47,03832	18,3	3	3
28.04.2015	12,08088	10,79568	4,2	42,4116	16,5	1	3
30.05.2015	19,53504	16,19352	6,3	43,6968	17	3	2
23.06.2015	28,2744	22,36248	8,7	41,38344	16,1	3	6
29.07.2015	30,8448	20,30616	7,9	40,86936	15,9	2	4
27.08.2015	41,1264	24,4188	9,5	43,18272	16,8	2	1
22.09.2015	25,704	22,87656	8,9	46,2672	18	3	1
26.10.2015	25,18992	11,82384	4,6	43,6968	17	0	4
22.11.2015	19,79208	12,852	5	42,15456	16,4	0	5
29.12.2015	17,73576	13,62312	5,3	43,95384	17,1	2	3
GB 13	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	H2	H2S(ppm)
14.01.2016	73,51344	54,36396	21,15	52,43616	20,4	40	60
10.02.2016	69,4008	52,43616	20,4	52,17912	20,3	12	57
10.03.2016	71,9712	55,77768	21,7	52,6932	20,5	13	55
18.04.2016	87,90768	65,28816	25,4	20,82024	8,1	60	124
17.05.2016	92,5344	64,26	25	20,5632	8	45	110
15.06.2016	100,2456	69,4008	27	19,278	7,5	60	120
14.07.2016	60,4044	47,03832	18,3	30,58776	11,9	20	48
23.08.2016	64,26	49,60872	19,3	25,96104	10,1	30	55
19.09.2016	67,60152	50,37984	19,6	24,93288	9,7	34	62
17.10.2016	70,17192	47,03832	18,3	24,67584	9,6	45	60
21.11.2016	64,26	45,23904	17,6	21,33432	8,3	60	75
20.12.2016	80,45352	54,74952	21,3	18,50688	7,2	74	84
GB 13	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	H2	H2S(ppm)
23.01.2017	75,31272	57,31992	22,3	51,66504	20,1	45	68
22.02.2017	141,88608	92,79144	36,1	15,93648	6,2	14	62
22.03.2017	100,75968	80,19648	31,2	18,50688	7,2	18	70
17.04.2017	98,18928	87,65064	34,1	20,82024	8,1	19	75
15.05.2017	91,50624	85,08024	33,1	21,07728	8,2	24	90
12.06.2017	99,21744	87,90768	34,2	19,53504	7,6	36	102
17.07.2017	82,2528	80,19648	31,2	22,87656	8,9	28	95
21.08.2017	87,65064	82,2528	32	19,53504	7,6	20	70
15.09.2017	84,8232	80,19648	31,2	16,96464	6,6	22	95
22.10.2017	92,5344	84,8232	33	15,4224	6	24	102
15.11.2017	105,3864	97,6752	38	13,36608	5,2	22	105
19.12.2017	41,1264	35,9856	14	28,2744	11	2	30
GB 13	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	H2	H2S(ppm)
10.01.2018	79,6824	1,54224	23	48,8376	19	48	70
8.02.2018	125,9496	1,79928	39,1	48,8376	19	15	70
16.03.2018	105,3864	1,2852	36,3	16,96464	6,6	19	65
GB 25	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	CO (ppm)	H2S(ppm)
16.03.2013	148,05504	109,49904	42,6	1,79928	0,7	2	466

27.04.2013	141,88608	105,64344	41,1	1,2852	0,5	4	435
25.05.2013	143,9424	104,61528	40,7	0,77112	0,3	8	385
30.06.2013	122,60808	93,04848	36,2	6,68304	2,6	6	125
7.07.2013	93,30552	68,37264	26,6	19,278	7,5	2	221
22.08.2013	131,34744	97,93224	38,1	3,8556	1,5	2	196
28.09.2013	134,946	99,98856	38,9	3,8556	1,5	3	49
27.10.2013	136,48824	98,9604	38,5	4,11264	1,6	2	41
24.11.2013	115,15392	85,85136	33,4	10,53864	4,1	1	3
22.12.2013	124,6644	90,47808	35,2	8,22528	3,2	1	17
GB 25	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	CO (ppm)	H2S(ppm)
26.01.2014	136,74528	99,47448	38,7	4,62672	1,8	13	316
22.02.2014	131,0904	93,8196	36,5	6,68304	2,6	7	1
5.03.2014	123,89328	90,22104	35,1	6,68304	2,6	6	432
27.04.2014	78,91128	95,36184	37,1	5,39784	2,1	6	14
31.05.2014	116,18208	84,30912	32,8	10,79568	4,2	6	472
21.06.2014	135,71712	96,13296	37,4	4,11264	1,6	6	711
20.07.2014	116,69616	91,50624	35,6	12,08088	4,7	6	6
16.08.2014	58,86216	40,35528	15,7	31,10184	12,1	3	216
20.09.2014	1,02816	0,51408	0,2	51,92208	20,2	5	6
26.10.2014	0,51408	0,25704	0,1	51,408	20	0	0
1.11.2014	0,51408	0,25704	0,1	52,95024	20,6	0	0
1.12.2014	0,77112	0,25704	0,1	52,43616	20,4	0	0
GB 25	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	CO (ppm)	H2S(ppm)
31.01.2015	0,77112	0,51408	0,2	51,15096	19,9	0	0
28.02.2015	1,02816	0,77112	0,3	51,66504	20,1	0	0
20.03.2015	1,54224	1,02816	0,4	51,92208	20,2	0	0
28.04.2015	121,57992	85,33728	33,2	9,51048	3,7	13	117
30.05.2015	120,29472	85,85136	33,4	20,30616	7,9	2	1
23.06.2015	83,79504	77,62608	30,2	25,44696	9,9	5	1
29.07.2015	85,85136	61,43256	23,9	17,47872	6,8	9	4
27.08.2015	1,02816	0,25704	0,1	47,5524	18,5	0	8
22.09.2015	0,77112	0,51408	0,2	48,8376	19	0	4
26.10.2015	0,51408	0,25704	0,1	51,66504	20,1	1	3
22.11.2015	1,02816	0,51408	0,2	52,17912	20,3	1	2
29.12.2015	1,2852	0,25704	0,1	53,72136	20,9	1	2
GB 25	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	H2	H2S(ppm)
14.01.2016	32,13	15,4224	6	40,61232	15,8	1	0
10.02.2016	30,8448	15,16536	5,9	41,1264	16	0	0
10.03.2016	28,2744	13,88016	5,4	43,6968	17	0	0
18.04.2016	33,15816	15,93648	6,2	39,58416	15,4	1	3
17.05.2016	35,9856	17,9928	7	38,81304	15,1	5	10
15.06.2016	38,81304	20,82024	8,1	37,78488	14,7	7	12
14.07.2016	38,04192	20,5632	8	38,29896	14,9	9	19
23.08.2016	39,32712	22,10544	8,6	36,49968	14,2	14	26
19.09.2016	37,78488	21,59136	8,4	37,52784	14,6	16	41
17.10.2016	38,04192	21,8484	8,5	37,78488	14,7	16	41
21.11.2016	35,72856	22,87656	8,9	38,04192	14,8	19	44
20.12.2016	37,2708	21,33432	8,3	33,92928	13,2	22	35

GB 25	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	H2	H2S(ppm)
23.01.2017	39,8412	22,10544	8,6	33,92928	13,2	25	40
22.02.2017	16,7076	15,67944	6,1	44,21088	17,2	1	3
22.03.2017	22,87656	19,278	7,5	46,52424	18,1	2	6
17.04.2017	19,02096	22,10544	8,6	48,8376	19	4	6
15.05.2017	19,02096	19,02096	7,4	52,17912	20,3	5	12
12.06.2017	13,10904	12,59496	4,9	51,408	20	6	11
17.07.2017	12,59496	11,5668	4,5	51,408	20	8	22
21.08.2017	14,65128	13,10904	5,1	52,6932	20,5	7	16
15.09.2017	12,852	10,2816	4	48,8376	19	2	20
22.10.2017	13,62312	10,53864	4,1	49,09464	19,1	1	15
15.11.2017	6,68304	5,39784	2,1	51,408	20	2	21
19.12.2017	7,45416	5,65488	2,2	47,5524	18,5	1	15
GB 25	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	H2	H2S(ppm)
9.01.2018	38,556	21,59136	8,4	33,67224	13,1	20	45
4.02.2018	17,9928	17,22168	6,7	39,58416	15,4	0	5
16.03.2018	23,90472	21,07728	8,2	49,60872	19,3	3	7
18.04.2018	23,90472	21,07728	8,2	49,60872	19,3	3	7
20.05.2018	28,2744	18,76392	7,3	51,408	20	5	8
22.06.2018	43,6968	21,33432	8,3	46,2672	18	6	25
21.07.2018	39,8412	23,90472	9,3	33,92928	13,2	5	20
25.08.2018	47,03832	26,21808	10,2	36,75672	14,3	4	36
29.09.2018	64,26	29,04552	11,3	36,75672	14,3	5	40
16.10.2018	51,408	46,2672	18	33,4152	13	0	15
18.11.2018	53,9784	48,8376	19	35,9856	14	1	22
17.12.2018	43,6968	41,1264	16	33,4152	13	9	40
GB 29	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	H2	H2S(ppm)
14.01.2016	4,62672	1,2852	0,5	52,17912	20,3	3	8
10.02.2016	3,110184	1,619352	0,63	52,6932	20,5	4	10
10.03.2016	3,110184	1,619352	0,63	52,6932	20,5	4	10
18.04.2016	5,1408	2,05632	0,8	51,408	20	5	11
17.05.2016	8,9964	2,82744	1,1	50,63688	19,7	6	15
15.06.2016	9,51048	3,34152	1,3	50,1228	19,5	7	20
14.07.2016	13,10904	4,88376	1,9	49,09464	19,1	8	30
23.08.2016	15,93648	5,39784	2,1	48,32352	18,8	14	42
19.09.2016	21,33432	6,16896	2,4	46,78128	18,2	22	51
17.10.2016	34,7004	6,68304	2,6	44,72496	17,4	35	56
21.11.2016	32,13	6,16896	2,4	46,2672	18	31	45
20.12.2016	38,556	8,22528	3,2	44,72496	17,4	45	57
GB 29	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	H2	H2S(ppm)
23.01.2017	37,78488	8,22528	3,2	47,29536	18,4	60	75
22.02.2017	4,88376	2,05632	0,8	51,408	20	5	11
22.03.2017	8,22528	2,82744	1,1	51,66504	20,1	8	12
17.04.2017	10,79568	3,34152	1,3	52,17912	20,3	9	14
15.05.2017	15,16536	2,82744	1,1	52,17912	20,3	14	26
12.06.2017	15,93648	3,59856	1,4	52,17912	20,3	15	27
17.07.2017	37,52784	25,18992	9,8	52,95024	20,6	28	35
21.08.2017	30,8448	19,278	7,5	51,408	20	6	20

15.09.2017	25,704	15,4224	6	51,408	20	5	30
22.10.2017	33,4152	17,9928	7	51,66504	20,1	6	34
15.11.2017	13,88016	11,30976	4,4	52,17912	20,3	9	46
19.12.2017	16,96464	12,852	5	51,408	20	14	50
GB 29	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	H2	H2S(ppm)
1.01.2018	38,556	7,7112	3	46,01016	17,9	64	77
8.02.2018	5,91192	1,54224	0,6	52,17912	20,3	4	8
15.03.2018	11,30976	5,39784	2,1	44,46792	17,3	8	10
12.04.2018	11,30976	5,39784	2,1	44,46792	17,3	8	10
23.05.2018	12,852	9,25344	3,6	41,38344	16,1	5	15
20.06.2018	17,9928	15,4224	6	44,46792	17,3	6	20
19.07.2018	15,93648	13,10904	5,1	46,2672	18	6	25
28.08.2018	19,79208	11,82384	4,6	41,89752	16,3	5	10
27.09.2018	21,8484	13,10904	5,1	23,90472	9,3	4	17
26.10.2018	16,19352	10,79568	4,2	26,47512	10,3	5	21
GB 5	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	H2	H2S(ppm)
14.01.2016	11,05272	6,426	2,5	51,408	20	1	2
10.02.2016	11,669616	6,785856	2,64	49,35168	19,2	2	1
10.03.2016	11,669616	6,785856	2,64	49,35168	19,2	2	1
18.04.2016	17,47872	7,45416	2,9	51,15096	19,9	3	5
17.05.2016	18,50688	7,96824	3,1	51,408	20	4	5
15.06.2016	21,07728	9,25344	3,6	49,86576	19,4	5	10
14.07.2016	15,67944	6,16896	2,4	51,15096	19,9	8	19
23.08.2016	18,76392	6,68304	2,6	49,86576	19,4	12	24
19.09.2016	15,93648	5,65488	2,2	51,15096	19,9	12	28
17.10.2016	3,058776	2,236248	0,87	52,43616	20,4	18	38
21.11.2016	8,9964	2,44188	0,95	50,37984	19,6	16	32
20.12.2016	12,08088	51,66504	20,1	2,82744	1,1	14	28
GB 5	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	H2	H2S(ppm)
23.01.2017	14,90832	6,94008	2,7	49,60872	19,3	2	3
22.02.2017	13,88016	8,22528	3,2	47,29536	18,4	3	2
22.03.2017	15,67944	7,96824	3,1	45,75312	17,8	5	6
17.04.2017	14,90832	11,05272	4,3	46,52424	18,1	6	9
15.05.2017	12,59496	10,79568	4,2	41,64048	16,2	4	8
12.06.2017	9,25344	7,96824	3,1	47,03832	18,3	3	11
17.07.2017	15,67944	11,82384	4,6	44,982	17,5	5	12
21.08.2017	14,90832	12,59496	4,9	46,78128	18,2	6	11
15.09.2017	11,82384	13,10904	5,1	49,60872	19,3	8	15
22.10.2017	11,05272	12,852	5	50,37984	19,6	5	29
15.11.2017	9,51048	10,02456	3,9	51,92208	20,2	4	11
19.12.2017	11,30976	10,2816	4	50,89392	19,8	0	5
GB 5	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	H2	H2S(ppm)
11.01.2018	15,4224	7,45416	2,9	49,09464	19,1	3	4
10.02.2018	13,10904	8,48232	3,3	46,52424	18,1	2	3
12.03.2018	17,9928	10,02456	3,9	42,4116	16,5	1	10
20.04.2018	16,19352	10,02456	3,9	39,07008	15,2	2	12
GB 9	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	H2	H2S(ppm)
14.01.2016	43,6968	29,5596	11,5	36,49968	14,2	8	50

10.02.2016	42,899976	30,536352	11,88	38,29896	14,9	15	55
10.03.2016	42,92568	30,58776	11,9	38,29896	14,9	15	55
18.04.2016	38,68452	27,220536	10,59	38,81304	15,1	12	51
17.05.2016	44,21088	25,96104	10,1	37,52784	14,6	13	58
15.06.2016	47,29536	28,2744	11	35,47152	13,8	15	60
14.07.2016	57,756888	45,136224	17,56	31,87296	12,4	52	169
23.08.2016	59,63328	46,13868	17,95	31,10184	12,1	60	180
19.09.2016	67,678632	47,03832	18,3	28,78848	11,2	65	190
17.10.2016	58,4766	43,336944	16,86	32,13	12,5	54	120
21.11.2016	68,88672	47,5524	18,5	29,04552	11,3	65	140
20.12.2016	70,17192	50,1228	19,5	26,21808	10,2	72	162
GB 9	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	H2	H2S(ppm)
23.01.2017	48,58056	31,61592	12,3	34,7004	13,5	11	58
22.02.2017	37,01376	31,10184	12,1	33,92928	13,2	18	65
22.03.2017	42,4116	33,92928	13,2	31,10184	12,1	22	72
17.04.2017	41,1264	39,07008	15,2	29,5596	11,5	35	80
15.05.2017	33,92928	28,2744	11	32,38704	12,6	35	12
12.06.2017	36,24264	26,47512	10,3	33,92928	13,2	33	11
17.07.2017	28,2744	26,21808	10,2	33,92928	13,2	39	15
21.08.2017	25,96104	25,704	10	36,24264	14,1	41	17
15.09.2017	23,90472	22,10544	8,6	39,07008	15,2	45	22
22.10.2017	22,61952	21,33432	8,3	40,09824	15,6	30	22
15.11.2017	15,4224	13,36608	5,2	51,408	20	24	20
19.12.2017	16,19352	11,05272	4,3	51,408	20	10	15
GB 9	CH4(m3/saat)	CO2(m3/saat)	%CO2	O2(m3/saat)	%O2	H2	H2S(ppm)
21.01.2018	49,09464	30,8448	12	35,9856	14	10	65
19.02.2018	35,9856	30,07368	11,7	33,15816	12,9	16	60
17.03.2018	44,46792	35,72856	13,9	28,2744	11	20	60

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Ernam ÖZTÜRK

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2002, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği
- **Yüksek Lisans** : 2005, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM :

- 2003-2005 yılları arasında özel sektörde mühendis olarak çalıştı
- 2006 yılından beri Düzce Üniversitesinde memur olarak çalışmaktadır.

DİĞER ESERLER:

- Öztürk, E., Yeken, T., Ersesyay, A.S., ve Özaydın, C.M. 2024. Hydrochemical examination of underground leakage water spread from open landfill in aksaray city of Turkey and determination of its location (Case Study), *Environment Protection Engineering*, <https://doi.org/10.37190/epe240204>
- Öztürk, E., Toprak, B. 2016. Düzce İli Karaçörtlen Köy Yolu Hattı Heyelan Riskinin İnklinometre Çalışmalarıyla Araştırılması, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (4),902-910.
- Yeken, T., Ateş, A., Öztürk, E., ve Yeşil, B. 2014. SPT deneyi ile Aksaray ili Altinkaya kasabası İlköğretim Okulunda Hasar Tespiti Çalışmalarının Yapılmasında Vaka analizi, *BAÜ Fen. Bil. Enst. Dergisi* 16(2), 1-14.