



T.C.
Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü

**KATI ATIK DÜZENLİ DEPOLAMA
ALANLARINDA GAZ OLUŞUMU VE
ENERJİ ELDESİ**

Sevil İnci CANKURT YİĞİT

Yüksek Lisans Tezi



**KATI ATIK DÜZENLİ DEPOLAMA
ALANLARINDA GAZ OLUŞUMU VE
ENERJİ ELDESİ**

Sevil İnci CANKURT YİĞİT



T.C.

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KATI ATIK DÜZENLİ DEPOLAMA ALANLARINDA GAZ OLUŞUMU VE
ENERJİ ELDESİ**

Sevil İnci CANKURT YİĞİT

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA 2015



T.C.

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KATI ATIK DÜZENLİ DEPOLAMA ALANLARINDA GAZ OLUŞUMU VE
ENERJİ ELDESİ**

Sevil İnci CANKURT YIĞIT

Doç. Dr. Güray SALİHOĞLU
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA 2015

TEZ ONAYI

Sevil İnci CANKURT YIĞIT tarafından hazırlanan “KATI ATIK DÜZENLİ DEPOLAMA ALANLARINDA GAZ OLUŞUMU VE ENERJİ ELDESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Güray SALİHOĞLU

Üye: Doç. Dr. Güray SALİHOĞLU İmza

Uludağ Üniversitesi

Mühendislik Fakültesi

Çevre Mühendisliği Bölümü

Üye: Doç. Dr. N. Kâmil SALİHOĞLU İmza

Uludağ Üniversitesi

Mühendislik Fakültesi

Çevre Mühendisliği Bölümü

Üye: Yrd. Doç. Aşkın BİRGÜL İmza

Bursa Teknik Üniversitesi

Doğa Bilimleri, Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi

Çevre Mühendisliği Bölümü

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Ali Osman DEMİR

Enstitü Müdürü

.../.../2015

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

30/06/2015

Sevil İnci CANKURT YİĞİT

ÖZET

Yüksek Lisans

KATI ATIK DÜZENLİ DEPOLAMA ALANLARINDA GAZ OLUŞUMU VE ENERJİ ELDESİ

Sevil İnci CANKURT YİĞİT

Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Güray SALİHOĞLU

Katı atıklar depolama alanlarında anaerobik koşullar altında organik içeriklerinden dolayı biyolojik olarak ayrışır. Bu süreç sonunda depo gazı adı verilen gaz karışımı oluşur. Depo gazı, yüksek kalorifik değere sahip metan içeriği ile enerji üretiminde değerlendirilebilir. Böylece hem de enerji kazancı sağlanır hem de kirletici etkisi ve sera gazı etkisi bertaraf edilir.

Bu amaçla, Bursa ilinde katı atıkların düzenli depolandığı Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanı'nda Metan Gazından Enerji Üretim Tesisi kurulmuştur. Çalışma kapsamında, tesiste toplanan depo gazı ve üretilen elektrik enerjisi incelenmiştir. Temmuz 2012 ile Ağustos 2014 aylarını içeren döneme ait katı atık, sızıntı suyu ve bileşenleri, depo gazı ve bileşenleri ile elektrik enerjisinin birbirileri ile olan ilişkisi, zaman içinde değişimi, sıcaklık faktörü ve mevsimsel değişimlerin etkisi istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca, Bursa ilinde 1998-2008 yılları arası hizmet veren Demirtaş Metan Gazından Enerji Üretim Tesisi enerji verileri de değerlendirilmiştir. Çalışma süresince Hamitler'de 1.773.122 ton katı atık depolanmış, 86.894.549 m³ depo gazı (45.021.570 m³ metan gazı ve 31.346.573 m³ karbondioksit gazı) ve 147.038.820 kW elektrik enerjisi üretilmiştir. Demirtaş'ta tesisin 10 yıllık ekonomik ömrü boyunca toplam 6.892.557 kW elektrik enerjisi üretilmiştir. Hamitler'de depo gazının, nüfus artışıyla artan katı atık miktarı ile yıllara bağlı yükseltildiği, dış hava sıcaklığı ile doğrudan ilişkisinin zayıf olduğu, sonbahar ve kış mevsimlerinde daha fazla miktarda olduğu, sızıntı suyu debisinin %5, BOİ ve KOİ konsantrasyonunun %8 ve %5, pH'nın %23, metan ve karbondioksit gazının sırayla %83 ve %40 etkili olduğu görülmüştür. Elektrik enerjisi üretiminin %77'sinin depo gazı değeriyle ilişkili olduğu bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Depolama alanı, katı atık, depo gazı, metan, enerji geri kazanımı, elektrik enerjisi, Hamitler.

2015, 188+ xiii sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

ENERGY GENERATION FROM METHANE GAS IN MUNICIPAL SOLID WASTE LANDFILL

Sevil İnci CANKURT YİĞİT

Uludağ University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Environmental Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Güray SALİHOĞLU

Due to the organic contents of solid wastes decompose biologically in landfill. After this process, it is generated the gas named as landfill gas. Landfill gas can be evaluated in energy production owing to methane content with high calorific value. In this way, it is provided energy savings and both the adverse effects and greenhouse effects of gas are removed.

To this end, Hamitler Methane Gas Power Generation Plant was installed in Hamitler Solid Waste Sanitary Landfill in Bursa City. This scope of work, the landfill gas and electricity energy in the plant were examined. For the period including the months of August 2014 and July 2012, solid waste, leachate, landfill gas and electricity's relationship with each other, temperature and the effect of seasons were evaluated by statistically. Also, it was evaluated that Demirtaş Methane Gas Power Generation Plant's energy datas between the years 1998-2008. In Hamitler during the study period, 1.773.122 tons of solid waste were stored, 86.894.549 m³ of landfill gas were collected (45.021.570 m³ methane gas and 31.346.573 m³ carbon dioxide gas) and 147.038.820 kW of electricity were produced. In Demirtaş during the 10-year economic life, 6.892.557 kW of electricity were produced. It was observed in hamitler, the landfill gas increased over the years with increasing the amount of solid wastes depends on population, had poor relationship with temperature directly, more to occurred fall more than winter, the effects of leachate was %5, the effects of BOI was %8, the effects of KOI was %5, the effects of pH was %23, the effects of methane was %83, the effects of carbon dioxide was %40. It was found the effect of landfill gas on production of energy was %5.

Key Words: Landfill, solid waste, landfill gas, methane, energy recovery, electricity, Hamitler.

2015, 188 + xiii pages.



Gökuşagım minik Badeciğim'e,

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın planlanması, yürütülmesi ve sonuçlandırılması aşamalarında tecrübe, bilgi ve hoşgörüsüyle öncülük eden saygıdeğer tez danışmanım Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Öğretim Üyesi Sayın Doç. Dr. Güray SALİHOĞLU'na,

Tezin hazırlanması sırasında her türlü bilgi ve yardımlarını esirgemeyen Bursa Büyükşehir Belediyesi Belediye Başkanı Sayın Recep ALTEPE'ye, Genel Sekreter Yardımcısı Sayın Mustafa ALTIN'a, Çevre Koruma ve Kontrol Dairesi Başkanlığı'nın değerli yönetici ve çalışanlarına,

Tez konusunun ilerlemesinde gerek projeleri gerekse de olumlu ve içten yaklaşımları ile büyük katkı sağlayan ITC-KA Enerji Üretim Sanayi ve Ticaret A.Ş. kurucu ortak, yönetici ve çalışanlarına,

Değerli fikirlerini esirgemeyen Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Öğretim Üyesi Sayın Doç. Dr. N. Kâmil SALİHOĞLU'na,

Çalışma süresince teorik, pratik ve psikolojik desteklerini eksik etmeyen tüm mesai arkadaşlarıma,

Yüksek lisans eğitimim süresince ilgi ve desteklerini sunan tüm arkadaşlarıma,

Ve, hayatım boyunca bana her zaman inanan, destek olan ve bana güç veren, anlayışı ve sevgisi için ailem ile gökkuşağım minik Badeciğim'e,

Sevgi ve saygılarımı sunar, teşekkür ederim.

Çevre Mühendisi Sevil İnci CANKURT YİĞİT

30/06/2015

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ.....	15
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	17
2.1. Katı Atıkların Düzenli Depolanması.....	17
2.2. Düzenli Depolama Alanlarında Sızıntı Suyu.....	19
2.3. Düzenli Depolama Alanlarında Depo Gazı.....	22
2.3.1. Depo Gazının Temel Bileşenleri.....	22
2.3.2. Depo Gazı Oluşumu.....	26
2.3.3. Metan Gazı Oluşumu.....	32
2.3.3.1. Metan Molekülünün Temel Yapısı.....	32
2.3.3.2. Metanojenik Bakterilerin Genel Özellikleri.....	34
2.3.3.3. Metanojenezis (Metan Biyosentezi).....	36
2.3.4. Atık Gövdesi İçindeki Gaz Hareketi.....	40
2.3.5. Gaz Kontrol/Toplama Sistemleri.....	41
2.3.5.1. Pasif Gaz Kontrol /Toplama Sistemi.....	41
2.3.5.2. Aktif Gaz Kontrol/Toplama Sistemi.....	42
2.3.5.2 Kontrol/Toplama Sistemlerinin Verimlilikleri.....	43
2.3.6. Gaz Miktarının Belirlenmesi.....	44
2.3.6.1. Reaksiyon Stokiyometresi.....	44
2.3.6.2. Çeşitli Modeller.....	45
2.3.6.3. Ölçüm Yöntemleri.....	58
2.3.7. Depo Gazının Çevresel Etkileri.....	60
2.3.8. Depo Gazı ve Sızıntı Suyu İlişkisi.....	63
2.4. Depo Gazından Elektrik Enerjisi Elde Edilmesi.....	64
2.4.1. Mevcut Alternatifler.....	64
2.4.1.1. Depo Gazının Arıtılması.....	64
2.4.1.2. Depo Gazının Doğal Gaz Olarak Kullanımı.....	65
2.4.1.3. Depo Gazının Yakıt Olarak Kullanılması.....	66
2.4.1.4. Depo Gazının Petrokimya Sanayiinde Kullanımı.....	66
2.4.1.5. Depo Gazının Yakılması.....	67
2.4.1.6. Depo Gazından Enerji Elde Edilmesi.....	67
2.4.2. Elektrik Enerjisi Elde Etme Mekanizması.....	68
2.4.3. Türkiye’de Depo Gazından Enerji Eldesi.....	73
2.4.3.1. Genel Durum.....	73
2.4.3.2. İlgili Mevzuat.....	74
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	78
3.1. Çalışma Alanı.....	78
3.2. Veri Toplama Süreci.....	80
3.3. Veri Değerlendirme Süreci.....	80

4. BULGULAR VE TARTIŞMA	83
4.1. Bursa’da Katı Atık Yönetimi	83
4.2. Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanı	85
4.3. Hamitler Sızıntı Suyu Arıtma Tesisi	90
4.4. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisi	92
4.5. Demirtaş Rehabilit Edilmiş Vahşi Depolama Alanı	99
4.6. Demirtaş Metan Gazından Enerji Üretim Tesisi	102
4.7. Depolanan Katı Atık Miktarının Değerlendirilmesi	107
4.7.1. Genel Değerlendirme	107
4.7.2. Atık Miktarının Yıllara Göre Değişimi	111
4.7.3. Atık Miktarının Sıcaklığa Göre Değişimi	112
4.7.4. Mevsimler Arası Farklılık	114
4.8. Oluşan Sızıntı Suyunun Değerlendirilmesi	117
4.8.1. Genel Değerlendirme	117
4.8.2. Debi-BOİ-KOİ-pH ve ağır Metallerin Değerlendirilmesi	119
4.8.3. Mevsimler Arası Farklılık	122
4.9. Oluşan Gaz Debisinin Değerlendirilmesi	124
4.9.1. Genel Değerlendirme	124
4.9.2. Gaz Debisinin Yıllara Göre Değişimi	130
4.9.3. Gaz Debisinin Sıcaklığa Göre Değişimi	131
4.9.4. Mevsimler Arası Farklılık	137
4.9.5. Gaz Debisi ile Atık Miktarı Arasındaki İlişki	140
4.9.6. Gaz Debisi ile Sızıntı Suyu Arasındaki İlişki	142
4.9.7. Gaz Bileşenlerinin Birbiri ile İlişkisi	144
4.10. Üretilen Elektrik Enerjisinin Değerlendirilmesi	147
4.10.1. Genel Değerlendirme	147
4.10.2. Elektrik Enerjisinin Yıllara Göre Değişimi	150
4.10.3. Elektrik Enerjisinin Sıcaklığa Göre Değişimi	151
4.10.4. Mevsimler Arası Farklılık	152
4.10.5. Elektrik Enerjisi ile Atık Miktarı Arasındaki İlişki	155
4.10.6. Elektrik Enerjisi ile Sızıntı Suyu Arasındaki İlişki	156
4.10.7. Elektrik Enerjisi ile Gaz Arasındaki İlişki	157
4.15. Demirtaş Rehabilit Edilmiş Vahşi Depolama Alanı Metan Gazından Enerji Üretim Tesisi	160
5. SONUÇ	162
KAYNAKLAR	170
EKLER	174
EK 1 Atık Miktarı İçin Temel Tanımlayıcı İstatistikler ve Normalite Testi	175
EK 2 Atık Miktarı İle Sıcaklık Arasında Korelasyon ve Regresyon	176
EK 3 Sızıntı Suyu İçin Temel Tanımlayıcı İstatistikler ve Normalite Testi	177
EK 4 Sızıntı Suyunun Mevsimlere Göre Değişiminin İstatistiksel Analizi	178
EK 5 Gaz Debileri İçin Temel Tanımlayıcı İstatistikler ve Normalite Testi	179
EK 6 Gaz Debisi İle Sıcaklık Arasında Korelasyon ve Regresyon	183
EK 7 Elektrik Enerjisi İçin Temel Tanımlayıcı İstatistikler ve Normalite Testi	185
EK 8 Elektrik Enerjisi İle Sıcaklık Arasında Korelasyon ve Regresyon	186
EK 9 Gaz Oluşumunu Etkileyen Faktörler Arasındaki Korelasyon	187
ÖZGEÇMİŞ	188

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
%	Yüzde
°C	Derece Santigrad
∞	Sonsuz
ΔG°	Enerji Değişimi
β	Beta
eq	Eşdeğer
ϕ	Phi
df	Serbestlik Derecesi
F	F Testi
H	Kruskal Wallis Testi
N	Örneklem Sayısı
p	Anlamlılık Seviyesi
R	Korelasyon Katsayısı
R^2	Regresyon Katsayısı
t	t Testi
U	Mann Whitney U Testi
W	Shapiro-Wilk Normalite Testi

Kısaltmalar Açıklama

ADDDY	Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik
AKM	Askıda Katı Madde
AKR	Ardışık Kesikli Reaktör
BMİDÇS	Birleşmiş Milletler İklim Çerçeve Sözleşmesi
BOİ	Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
BUSKİ	Bursa Su ve Kanalizasyon İdaresi
EHCIP	Yüksek Maliyetli Çevre Yatırımlarının Planlanması için Teknik Yardım Projesi
EPA	Çevre Koruma Ajansı
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
HDPE	Yüksek Yoğunluklu Poli Etilen
IPCC	Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli
JPY	Japon Yeni
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences İstatistik Programı
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
UÇES	Avrupa Birliği Entegre Çevre Uyum Stratejisi
USD	Amerikan Doları
VOCs	Uçucu Organik Bileşikler
YEK	Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun
CH ₄	Metan
CO ₂	Karbon Dioksit

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2. 1. Katı atıkların bozunması sonucu oluşan ürünler (Akpınar 2006)	26
Şekil 2. 2. Depo gazı oluşum evreleri (Tchobanoglous ve Kreith 2002)	27
Şekil 2. 3. Atıkların ayrışabilirlik derecelerine göre (a) toplam gaz üretim hızı (b) kümülatif gaz miktarları (Akpınar 2006).	31
Şekil 2. 4. Depo gazı oluşumunda kısıtlanmış nem etkisi (Tchobanoglous ve Kreith 2002).....	32
Şekil 2. 5. Metan hidratı (Ergenç 2011).	32
Şekil 2. 6. Biyokütlenin anaerobik fermentasyonundaki aşamalar ve mikroorganizma grupları (Ardıç ve Tamer 2005)	40
Şekil 2. 7. Depo gazı arıtımı için kavramsal arıtma sistemi (Zhao ve ark, 2012).	65
Şekil 2. 8. Gaz motorlu elektrik üretim tesisinde gaz arıtımı (Akpınar 2006).	65
Şekil 2. 9. Tipik bir gaz motoru (Anonim 2014g).....	69
Şekil 2. 10. Gaz motorunun depolama alanında kullanışı (Anonim 2014g).....	70
Şekil 2. 11. Tipik bir gaz türbinli motor (Anonim 2014f).	72
Şekil 3. 1. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisi ve Demirtaş Metan Gazından Enerji Üretim Tesisi	78
Şekil 3. 2. Bursa ili nüfus dağılımı	79
Şekil 4. 1. Bursa ili genelindeki depolama alanlarının yerleri	83
Şekil 4. 2. Bursa ili genelindeki depolama alanlarının oranı.....	84
Şekil 4. 3. Bursa ili genelindeki depolama alanları oranlarının ilçelere dağılımı	84
Şekil 4. 4. Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanı (a) mevcut durum haritası (b) nihai proje haritası	86
Şekil 4. 5. Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanı vadileri.....	86
Şekil 4. 6. Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanı ana vadi katmanları	88
Şekil 4. 7. Bursa Hamitler Sızıntı Suyu Arıtma Tesisi.....	90
Şekil 4. 8. Bursa Hamitler Sızıntı Suyu Arıtma Tesisi akım şeması (Kaşıkçı ve Çallı 2011).....	91
Şekil 4. 9. Hamitler Enerji Üretim Tesisinde enerji üretiminin şematik gösterimi	93
Şekil 4. 10. Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanında ana vadi inşa edilen gaz toplama hatları	94
Şekil 4. 11. Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanında ana vadi sızıntı suyu toplama bağlantıları	94
Şekil 4. 12. Hamitler Enerji Üretim Tesisi gaz toplama sisteminde kullanılan yatak malzemeleri (a) yıkanmış dere çakılı (b) HDPE boru.....	95
Şekil 4. 13. Hamitler Enerji Üretim Tesisi gaz toplama sistemi için (a) hatların yerlerinin belirlenmesi (b) hatların açılması (c) çakıl yatak (d) yatay ve düşey bağlantılar (e) jeotekstil malzeme (f) dolgu malzemesi olarak atık kütlesi (g) ve (h) gaz ve sızıntı suyu toplama bağlantıları	95
Şekil 4. 14. Hamitler Enerji Üretim Tesisi gaz toplama sistemi için (a) ve (b) ana toplama hattı yapımı (c) ve (d) zemin üstü ana toplama hattı (e) zemin altı ana toplama hattı (f) katmanlar arası ana toplama hattı	96

Şekil 4. 15. Hamitler Enerji Üretim Tesisi gaz toplama sistemi için (a) ve (b) saha içi gaz toplama hattının ana toplama hattına bağlantıları (c) ve (d) zemin üstü bağlantı koruma bilezikleri.....	97
Şekil 4. 16. Hamitler Enerji Üretim Tesisi yerleşimi için (a) yerinde aplikasyon (b) ve (c) ve (d) arazi tesviyesi.....	97
Şekil 4. 17. Hamitler Enerji Üretim Tesisi (a) ve (b) kontrol binası inşası (c) topraklama (d) ve (e) beton dökümü ve düzleştirme	98
Şekil 4. 18. Hamitler Enerji Üretim Tesisi (a) vakum (booster) (b) kondens suyu havuzu (c) yakma bacası (d) trafo (e) jeneratör kabini (f) ve (g) jeneratör grupları.....	99
Şekil 4. 19. Demirtaş Vahşi Depolama Alanı'nda yangın	100
Şekil 4. 20. Demirtaş Vahşi Depolama Alanı rehabilitasyonunda (a) gövdenin çakıl ve kil ile örtülmesi (b) şevlerin çakıl ve kil ile örtülmesi	100
Şekil 4. 21. Demirtaş Vahşi Depolama Alanı rehabilitasyon sonrası yeşil alan	101
Şekil 4. 22. Demirtaş Rehabilitasyon Edilmiş Vahşi Depolama Alanı	102
Şekil 4. 23. Demirtaş Enerji Üretim Tesisinin konumu (Anonim 2014i).....	103
Şekil 4. 24. Demirtaş Enerji Üretim Tesisi (Anonim 2014i)	103
Şekil 4. 25. Demirtaş Enerji Üretim Tesisi kuyu kesiti (Çelikleş 2001).....	104
Şekil 4. 26. Demirtaş Enerji Üretim Tesisi üretim şeması (Çelikleş 2001).....	105
Şekil 4. 27. Demirtaş Enerji Üretim tesisi jeneratör grubu	105
Şekil 4. 28. Demirtaş Enerji Üretim tesisi jeneratör grubu gaz yakma bacası.....	106
Şekil 4. 29. Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanında Temmuz 2012-Ağustos 2014 arası depolanan katı atık miktarındaki (a) günlük ve (b) aylık değişim	109
Şekil 4. 30. Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanında Temmuz 2012-Ağustos 2014 arası depolanan katı atık miktarlarının haftalık dağılımı	110
Şekil 4. 31. Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanında Temmuz 2012-Ağustos 2014 arası depolanan kümülatif atık miktarı (a) günlük (b) aylık	111
Şekil 4. 32. Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanında depolanan atık miktarı ile dış ortam sıcaklığının değişimi (a) günlük atık miktarı ile günlük sıcaklık (b) aylık toplam atık miktarı ile aylık ortalama sıcaklık.....	113
Şekil 4. 33. Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanında Temmuz 2012-Ağustos 2014 arası depolanan atık miktarı ile sıcaklık değeri serpilme grafiği (a) günlük atık miktarı ile günlük sıcaklık (b) aylık toplam atık miktarı ile aylık ortalama sıcaklık.....	114
Şekil 4. 34. Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanında Temmuz 2012-Ağustos 2014 arası mevsimlere göre depolanan atık miktarındaki değişim	115
Şekil 4. 35. Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanında Temmuz 2012-Ağustos 2014 arası sızıntı suyu debisi ile BOİ ve KOİ değişimi (a) haftalık (b) aylık	120
Şekil 4. 36. Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanında Temmuz 2012-Ağustos 2014 arası sızıntı suyunda aylık pH ile BOİ ve KOİ ilişkisi.....	120
Şekil 4. 37. Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanında Temmuz 2012-Ağustos 2014 arası sızıntı suyunda aylık pH ile BOİ ve KOİ değişimi.....	121
Şekil 4. 38. Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanında Temmuz 2012-Ağustos 2014 arası sızıntı suyunda haftalık ağır metal konsantrasyonlarının değişimi	121

Şekil 4. 39. Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanında Temmuz 2012- Ağustos 2014 arası mevsimsel sızıntı suyu değişimi	123
Şekil 4. 40. Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanında Temmuz 2012- Ağustos 2014 arası sızıntı suyunda mevsimsel pH ile BOİ ve KOİ değişimi	123
Şekil 4. 41. Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanında Temmuz 2012- Ağustos 2014 arası sızıntı suyunda mevsimsel ağır metal değişimi	123
Şekil 4. 42. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012-Ağustos 2014 arası toplanan gaz debisindeki günlük değişim (a) depo gazı (b) metan gazı (c) karbondioksit gazı (d) oksijen gazı	125
Şekil 4. 43. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012-Ağustos 2014 arası toplanan gaz debisindeki aylık değişim (a) depo gazı (b) metan gazı (c) karbondioksit gazı (d) oksijen gazı	126
Şekil 4. 44. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012-Ağustos 2014 arası toplanan gaz debilerinin haftalık dağılımı	127
Şekil 4. 45. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012-Ağustos 2014 arası toplanan kümülatif depo gazı debisi (a) günlük (b) aylık.....	128
Şekil 4. 46. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012-Ağustos 2014 arası toplanan kümülatif metan gazı debisi (a) günlük (b) aylık.....	129
Şekil 4. 47. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012-Ağustos 2014 arası toplanan kümülatif karbondioksit gazı debisi (a) günlük (b) aylık	129
Şekil 4. 48. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012-Ağustos 2014 arası toplanan kümülatif oksijen gazı debisi (a) günlük (b) aylık	130
Şekil 4. 49. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde (a) Günlük toplanan depo gazı debisi ile dış ortam günlük sıcaklığının değişimi (b) Aylık toplanan depo gazı debisi ile dış ortam aylık ortalama sıcaklığının değişimi	132
Şekil 4. 50. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde (a) Günlük toplanan metan gazı debisi ile dış ortam günlük sıcaklığının değişimi (b) Aylık toplanan metan gazı debisi ile dış ortam aylık ortalama sıcaklığının değişimi	133
Şekil 4. 51. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde (a) Günlük toplanan karbondioksit gazı debisi ile dış ortam günlük sıcaklığının değişimi (b) Aylık toplanan karbondioksit gazı debisi ile dış ortam aylık ortalama sıcaklığının değişimi	134
Şekil 4. 52. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012-Ağustos 2014 arası toplanan depo gazı debisi ile sıcaklık değeri serpilme grafiği (a) günlük depo gazı debisi ile günlük sıcaklık (b) aylık toplam depo gazı debisi ile aylık ortalama sıcaklık	135
Şekil 4. 53. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012-Ağustos 2014 arası toplanan metan gazı debisi ile sıcaklık değeri serpilme grafiği (a) günlük metan gazı debisi ile günlük sıcaklık (b) aylık toplam metan gazı debisi ile aylık ortalama sıcaklık.....	136
Şekil 4. 54. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012-Ağustos 2014 arası toplanan karbondioksit gazı debisi ile sıcaklık değeri serpilme grafiği (a) günlük karbondioksit gazı debisi ile günlük sıcaklık (b) aylık toplam karbondioksit gazı debisi ile aylık ortalama sıcaklık	136

Şekil 4. 55. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012-Ağustos 2014 arası mevsimlere göre gaz debilerindeki değişim (a) toplam debi (b) ortalama debi	138
Şekil 4. 56. Gazı debileri ile katı atık miktarının günlük değişimi (a) depo gazı (b) metan Gazı (c) karbondioksit gazı	141
Şekil 4. 57. Gazı debileri ile depolanan katı atık miktarı arasındaki ilişki (a) günlük depo gazı (b) 3 ay ötelemeli depo gazı (c) 6 ay ötelemeli depo gazı (d) günlük metan gazı (e) 3 ay ötelemeli metan gazı (f) 6 ay ötelemeli metan gazı (g) günlük karbondioksit gazı (h) 3 ay ötelemeli karbondioksit gazı (i) 6 ay ötelemeli karbondioksit gazı.....	142
Şekil 4. 58. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012 ile Ağustos 2014 döneminde toplanan depo gazı debisi ve bileşenleri ile sızıntı suyu debisi ile değişimi	143
Şekil 4. 59. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012 ile Ağustos 2014 döneminde toplanan depo gazı debisi ve bileşenleri ile BOİ-KOİ ile değişimi	143
Şekil 4. 60. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012 ile Ağustos 2014 döneminde toplanan depo gazı debisi ile sızıntı suyu debisi, BOİ, KOİ ve pH arasındaki ilişki	144
Şekil 4. 61. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012 ile Ağustos 2014 döneminde toplanan depo gazı ve bileşenlerinin dağılımları	144
Şekil 4. 62. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012 ile Ağustos 2014 döneminde toplanan depo gazı ve bileşenlerinin pasta grafiği	145
Şekil 4. 63. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012 ile Ağustos 2014 döneminde toplanan metan ve karbondioksit gazlarının aylık değişim yüzdeleri	145
Şekil 4. 64. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012 ile Ağustos 2014 döneminde toplanan depo gazı ve bileşenlerinin korelasyonları (a) depo gazı-metan gazı (b) depo gazı-karbondioksit gazı (c)metan gazı- karbondioksit gazı	146
Şekil 4. 65. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012-Ağustos 2014 arası üretilen elektrik enerjisindeki (a) günlük ve (b) aylık değişim. 148	
Şekil 4. 66. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012-Ağustos 2014 üretilen elektrik enerjisi miktarının haftalık dağılımı	149
Şekil 4. 67. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012-Ağustos 2014 arası üretilen kümülatif elektrik enerjisi miktarı (a) günlük (b) aylık	150
Şekil 4. 68. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde (a) Günlük üretilen toplam elektrik enerjisi miktarı ile dış ortam günlük sıcaklığının değişimi (b) Aylık toplam üretilen ortalama elektrik enerjisi miktarı ile dış ortam aylık ortalama sıcaklığının değişimi	151
Şekil 4. 69. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012-Ağustos 2014 arası üretilen elektrik enerjisi miktarı ile sıcaklık değeri serpilme grafiği (a) günlük elektrik enerjisi ile günlük sıcaklık (b) aylık toplam elektrik enerjisi ile aylık ortalama sıcaklık	152

Şekil 4. 70. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012-Ağustos 2014 arası mevsimlere göre üretilen elektrik enerjisi miktarındaki değişim (a) toplam enerji (b) ortalama enerji	154
Şekil 4. 71. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012 ile Ağustos 2014 döneminde üretilen elektrik enerjisi ile atık miktarı ilişki ..	155
Şekil 4. 72. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012 ile Ağustos 2014 döneminde üretilen elektrik enerjisi ile sızıntı suyu debisi, BOİ, KOİ ve pH arasındaki ilişki	156
Şekil 4. 73. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012 ile Ağustos 2014 döneminde üretilen elektrik enerjisi miktarı ile depo gazı debisinin günlük değişimi	157
Şekil 4. 74. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012 ile Ağustos 2014 döneminde üretilen elektrik enerjisi miktarı ile metan gazı debisinin günlük değişimi	158
Şekil 4. 75. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012 ile Ağustos 2014 döneminde üretilen elektrik enerjisi miktarı ile metan gazı debisinin günlük değişimi	158
Şekil 4. 76. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012 ile Ağustos 2014 döneminde üretilen elektrik enerjisi ile depo gazı ve bileşenlerinin korelasyonları (a) elektrik enerjisi-depo gazı (b) elektrik enerjisi-metan gazı (c) elektrik enerjisi- karbondioksit gazı	159
Şekil 4. 77. Demirtaş Enerji Üretim Tesisinde elektrik enerjisi üretimi (a) aylık ortalama (b) yıllık ortalama	161

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2. 1. Klasik depolama alanlarında farklı dönemlerdeki sızıntı suyu bileşenlerinin değerleri (Damgaard ve ark. 2011).....	20
Çizelge 2. 2. Depo gazı bileşenlerinin tipik dağılımı (Tchobanoglous, G, Kreith, F. 2002).....	22
Çizelge 2. 3. Depo gazı bileşenlerinin moleküler ağırlık ve yoğunlukları (Tchobanoglous, G, Kreith, F. 2002)	23
Çizelge 2. 4. Depo gazı bileşenlerinin fiziksel özellikleri (Akpınar 2006)	23
Çizelge 2. 5. Depolama alanındaki iz gazların konsantrasyonları (Tchobanoglous, G, Kreith, F. 2002)	24
Çizelge 2. 6. Depolama alanlarında farklı dönemlere ait depo gazı bileşenlerinin konsantrasyonları ve oksidasyon oranları (Damgaard ve ark. 2011)	25
Çizelge 2. 7. Yeni kapatılmış gövde içinde bulunan temel gazların dağılım yüzdesi (Tchobanoglous, G, Kreith, F. 2002)	26
Çizelge 2. 8. Organik maddelerin ayrışma dereceleri (Akpınar 2006).....	30
Çizelge 2. 9. Bazı metan reaksiyonlarının termodinamikleri (Crabtree 1995).....	34
Çizelge 2. 10. Metanojenik bakterilerin enerji metabolizmaları (Zeikus 1977).....	35
Çizelge 2. 11. Metan bakterilerinin kullandıkları besi maddeleri (Kalat 2011).....	35
Çizelge 2. 12. Anaerobik mikroorganizmalar için optimum çevresel şartlar (Horasan 2009).....	36
Çizelge 2. 13. İşletim yöntemlerine göre ortalama depo gazı verimlilikleri (Amini ve ark. 2012).....	44
Çizelge 2. 14. Depo gazı oluşumu modelleme uygulamalarının ampirik özeti (Amini ve ark. 2012).....	47
Çizelge 2. 15. Ölçüm yöntemlerin karşılaştırması (Scharff ve ark. 2006b).....	60
Çizelge 4. 1. Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanı vadilerine ilişkin temel bilgiler.....	87
Çizelge 4. 2. Demirtaş Enerji Üretim Tesisinde Gaz Kuyularında Gaz Ölçümleri (Çeliktaş 2001)	106
Çizelge 4. 3. Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanında Temmuz 2012 ile Ağustos 2014 döneminde depolanan aylık ortalama katı atık miktarları	108
Çizelge 4. 4. Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanında Temmuz 2012- Ağustos 2014 arası depolanan katı atık miktarlarının haftalık dağılımı	110
Çizelge 4. 5. Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanında Temmuz 2012- Ağustos 2014 arası dış ortam aylık ortalama sıcaklığı.....	112
Çizelge 4. 6. Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanında Temmuz 2012- Ağustos 2014 arası mevsimlere göre depolanan atık miktarı.....	115
Çizelge 4. 7. Hamitler Sızıntı Suyu Arıtma Tesisi Girişi Temmuz 2012 ile Ağustos 2014 dönemi sızıntı suyu debisi ve bileşenlerinin konsantrasyonlarının aylık ortalaması	118
Çizelge 4. 8. Hamitler Sızıntı Suyu Arıtma Tesisi Girişi Temmuz 2012 ile Ağustos 2014 dönemi ağır metal konsantrasyonlarının aylık ortalaması.....	118

Çizelge 4. 9. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012 ile Ağustos 2014 döneminde toplanan aylık ortalama gaz debileri.....	124
Çizelge 4. 10. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012- Ağustos 2014 arası toplanan gaz debilerinin haftalık dağılımı	127
Çizelge 4. 11. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012- Ağustos 2014 arası mevsimlere göre oluşan gaz debileri	137
Çizelge 4. 12. Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanında Temmuz 2012 ile Ağustos 2014 döneminde depolanan aylık ortalama katı atık miktarları	147
Çizelge 4. 13. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012- Ağustos 2014 arası üretilen elektrik enerjisi miktarının haftalık dağılımı (Özet).....	149
Çizelge 4. 14. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012- Ağustos 2014 arası mevsimlere göre üretilen elektrik enerjisi	153
Çizelge 4. 3. Demirtaş Enerji Üretim Tesisinde Üretilen Elektrik Enerjisi Miktarı	160

1. GİRİŞ

Enerji gereksinimi tüm insanlar, ülkeler ve medeniyetler için büyük önem arz etmektedir (Tuğrul 2012). Artan nüfus ve sanayileşmeden kaynaklanan enerji gereksinimi, dünyanın kısıtlı kaynaklarıyla karşılanamamaktadır (Yelmen ve ark. 2010). Petrol, kömür, doğal gaz gibi fosil yakıtlar, çevreye zarar vermelerine rağmen hâlen baskın miktarlarda kullanılmaktadır. (Akün 2012). Enerji için çevresel açıdan mukayeseli değerlendirme yapılmak istendiğinde özellikle, sera gazları üzerinde durmak gerekmektedir (Tuğrul 2012).

Düzenli depolama alanlarında depolanan katı atıklar, çeşitli kimyasal, fiziksel ve biyolojik proseslerle ayrışır. Tipik olarak evsel katı atıkların ayrışmasından sonra katı, sıvı ve gaz halinde yan ürünler meydana gelir (Özcan ve ark. 2005, Tsai 2005). Evsel katı atığın anaerobik ayrışması sonucunda hacmin yarısından çoğunu metan gazı ve geri kalanını ağırlıklı olarak karbondioksit gazının oluşturduğu depo gazı oluşur (Kiriş ve Saltabaş 2011). Depo gazı, metan ve karbondioksitten oluşan yapısı nedeniyle temel antropojenik sera gazı emisyonlarından biri olarak kabul edilmektedir (Tsai 2005).

Çalışma, ülke ekonomisine sağladığı katma değer açısından 4. sırada yer alan Bursa ilindeki Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanı içerisinde kurulu Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisi üzerine hazırlanmıştır. 2.740.970 kişilik nüfusa sahip ilde günlük yaklaşık 2.245 ton evsel katı atık oluşmaktadır. Bursa Büyükşehir Belediyesi sınırlarında yerleşim yerlerinden kaynaklanan evsel katı atıklar ile sanayiden kaynaklanan tehlikeli olmayan endüstriyel katı atıklar, 83,09 ha'lı depolama alanına sahip Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanında bertaraf edilmektedir. Alanda oluşan gaz, yatay hatlar ve düşey bağlantılardan oluşan gaz toplama sistemi ile toplanarak Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde 9,8 MW'lık kapasiteye sahip jeneratörler elektrik enerjisi ne dönüştürülmektedir. Böylelikle saatte yaklaşık 5400 m³ metan gazının form değiştirerek yıllık yaklaşık 235.000 ton CO_{2eq} azalma sağlanması hedeflenmektedir. Yıllık 47.000 konutun aydınlatmasına eşdeğer yaklaşık 76.204.800 kW elektrik enerjisi üretilmesi de planlanmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması çevresel sorunların azaltılması açısından büyük önem arz etmektedir (Anonim 2014a). Dünya genelindeki otoriteler, depolama alanlarından kaynaklanan metan gazı emisyonunu azaltmayı amaçlayan atık yönetimi stratejileri ve politikaları benimsemektedir (Di Bella ve ark.. 2011, Johari ve ark. 2012). Katı atıklardan enerji üretimi, sadece enerji problemleri için çözüm olmayacağı gibi aynı zamanda atık yönetimi, yüzeysel sular ve yeraltı sularının korunması, istihdam sağlanması, yoksulluğu azaltması ve teknolojik gelişmeleri teşvik etmesi ile çevre sağlığını da artırmaktadır (Salomon ve Lora 2009). Ülkemizin enerji bakımından dışa bağımlılığını azaltmak için, katı atıklardan elde edilecek gaz ve enerjiye gerekli önemin verilmesi gerekmektedir (Yeldem ve ark. 2010).



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Katı Atıkların Düzenli Depolanması

Kentsel katı atıkların yönetimi, şehirleşmenin artması nedeniyle gelişen ülkelerin yüz yüze kaldığı önemli bir konudur. 2001 yılındaki istatistikler, altı milyardan fazla dünya nüfusunun %46'sının kentsel alanlarda yaşadığını göstermektedir. Nüfustaki artış, insan faaliyetlerinde artışa neden olmakta ve bunun sonucunda da atık oluşumu artmaktadır. 1997 yılında oluşan küresel katı atık miktarı, gelişmiş ülkelerde tahmini olarak yıllık %3,2 ilâ 4,5 nüfus artış oranı ve gelişmekte olan ülkelerde tahmini yıllık %2 ilâ 3 nüfus artış oranı ile yaklaşık 0,49 milyar tondur (Chakraborty ve ark. 2011). Özellikle gelişen ülkeler ve hızlı büyüyen şehirlerde, kentsel katı atıklar büyük bir sorun olmaya devam etmektedir (Johari ve ark. 2012).

Tüm dünyada, sürdürülebilir kalkınma yaklaşımı kapsamında atıkların ekonomi için girdiye dönüştürülmesini amaçlayan atık yönetim stratejileri benimsenmektedir (Saltabaş ve ark. 2011). Avrupa Birliği ülkelerinde ve dünyadaki diğer ülkelerde atıklar, farklı yöntemler kullanılarak bertaraf edilmektedir. Alternatif yöntemler ise düzenli depolama, yakma, piroliz, gazifikasyon, mekanik biyolojik arıtma, kompost ve biyometanizasyon olarak sıralanabilir (Erdem ve ark. 2010). Atık yönetimi seçiminde atık karakterizasyonu oldukça önemlidir (Johari ve ark. 2012). Bazı Avrupa ülkeleri atıkların %60'ını kaynaktan ayrı toplarken bazılarında bu değer çok düşük oranlardadır. Örneğin Danimarka'da atıkların çoğu yakma tesislerinde bertaraf edilirken bazı ülkelerde düzenli depolama en çok tercih edilen bertaraf yöntemidir (Erdem ve ark. 2010).

Depolama, birçok farklı yapıda katı atık türlerini değerlendirilebilen tek bertaraf yöntemidir. Ayrıca, en basit ve birçok yerde en ucuz yöntemidir. Bu nedenle de oluşan katı atıkların önemli bir kısmı, depolama alanlarında bertaraf edilmektedir (Niskanen ve ark. 2013). Genellikle gelişmekte olan ülkelerde atık bertarafının ekonomik bir türü olan depolama ise katı atık yönetiminin temel bir unsurudur (El Fadel ve ark. 2012).

Atıkların depolama alanlarında bertarafı çevresel risklere neden olmamak için özenli bir tasarımı gerekli kılar (Zhao ve ark. 2012). Depolama alanları, tasarımlarına göre kendi içinde 3 gruba ayrılmaktadır:

- Vahşi Depolama Alanı
 - Açık vahşi depolama
 - Kapalı vahşi depolama
- Klasik Depolama Alanı
- Enerji Geri Kazanımlı Klasik Depolama Alanı (Damgaard ve ark. 2011).

Klasik depolama alanlarında, atıkların anaerobik ayrışması söz konusudur. Bu sahalarda, oksijen tükenene kadar mikroorganizma faaliyetleri sonucunda aerobik olarak ayrışan organik maddeler daha sonra anaerobik olarak ayrışır ve önemli miktarda CO₂ ve CH₄ içeren depo gazı oluşur. Fermantasyon tamamlandığında geriye sadece çok yavaş bir şekilde ayrışabilen stabilize olmuş artık organik madde kalır. Atık stabilizasyonu ise optimum şartlar altında 10 ilâ 20 yılda tamamlanır. Bu tip depolama alanı bazı dezavantajlara sahiptir. Bunların en önemlileri:

- Oluşan depo gazı, yüksek konsantrasyonlardaki organik kirleticiler ve patojen içeren sızıntı sularının insan sağlığı ve çevre üzerinde olumsuz etkileri,
- Atıkların çok yavaş şekilde ayrışmasına bağlı olarak uzun yıllar boyunca kontrol edilme gerekliliğinin ortaya çıkmasıdır (Top ve ark. 2011).

Bu durum atık stabilizasyonun hızlandırılması için araştırmacıları yeni alternatif yöntem arayışına yönlendirmiştir (Top ve ark. 2011). Katı atık depolamada son zamanlarda keşfedilen ve kullanımı yaygınlaşan yöntem, depo sahasını bir biyoreaktör olarak işletmektir (Bayram 2008). Biyoreaktör depo sahaları, biyolojik olarak ayrışabilen organik maddelerin daha kısa sürede stabilize olmalarını sağlayacak şekilde tasarlanan depo sahaları olarak tanımlanmaktadır (Top ve ark. 2011). Bu sahalarda, genellikle sızıntı suyunun geri devriyle katı atık yığınının nem kazandırılır ve/veya hava enjeksiyonuyla katı atık ortamına atılan organik kısmını biyolojik olarak parçalama yetisi kazandırılır (Bayram 2008).

Depolama alanları kaynakların tümünün kullanımı ve tüm emisyonların devam ettiği süreyi içeren yaklaşık 100 yıllık bir dönem için tasarlanırlar. Depolama alanlarının, ıslak ağırlığın yaklaşık %35 oranında organik madde içeren evsel katı atık, %30 kağıt ve karton, %10 plastik, %9 cam ve %16 diğer fraksiyonlar ile dolduğu tahmin edilmektedir. 100 yıllık bir dönemde oluşan toplam metan gazı miktarı, yaklaşık 160 Nm³/ton atık depo gazı karşılığı olarak 77 Nm³/ton atık olarak hesaplanmaktadır. Kontamine sızıntı suyu 100 yıllık dönemden sonra bile görülebilir (Damgaard ve ark. 2011). Bu durum da, sera gazı emisyonu, toprak kirliliği, yer altı su kirliliği gibi çevresel etmenler olan hava, kara, su üzerinde olumsuz etkilere neden olabilmektedir (Niskanen ve ark. 2013).

2.2. Düzenli Depolama Alanlarında Sızıntı Suyu

Sızıntı suyu, katı atık depolama alanı içinden süzülerek yer altındaki boşluklara doğru hareket eden askıda kirleticiler, çözünmüş bileşikler, atık parçaları, biyolojik ayrışma sonucu oluşan ürünleri içeren ve sudan oluşan kontamine sıvı olarak tanımlanır (Çallı 1999, Zhao ve ark. 2012).

Evsel katı atıklar, genellikle %20 ilâ 70 arasında su içeren organik ve inorganik maddelerden oluşurlar. Fiziksel etkiler ve kimyasal veya biyolojik reaksiyonlar sonucu su salarlar. (Çallı 1999, Anonim 2010a). Sızıntı suyu miktarı, literatürde 2 ilâ 5 m³/ha/gün ve fiili durumda 15 ilâ 35 m³/ha/gün arasında değişmektedir (Anonim 2010a). Sızıntı suyunun bir diğer kaynağı ise depolanmış atığın artan yüksek nem içeriğidir. Nem, depo alanındaki atıkların içine girdiğinde kirleticileri sıvı faza geçirir ve sıvı akışını başlatan yüksek oranda bir nem içeriği oluşur. Depolama alanına giren nemin kaynağı:

- Depolama alandaki sıvı içeren atıklar,
- Depolama alanındaki atıkların üstüne yağın yağlar,
- Örtme/kapatma uygulamaları sonrası süzölmeler,
- Depolama alanı içine dışarıdan sızan yeraltı sularındır.

Sızıntı suyu birçok bileşen içerir ve özelliği sürekli değişir. Sızıntı suyu özelliği, katı atık bileşenleri, depo yaşı, depo alanının hidrojeolojik durumu, depo içindeki fiziksel-kimyasal ve biyolojik aktiviteler, katı atıktaki su miktarı, ısı, pH, redoks potansiyeli, stabilizasyon derecesi, katı atık depolama yüksekliği, depolama sahasının işletilmesi ve iklim şartlarına göre değişir. Bunların içinde en önemlisi atık bileşenleridir (Anonim 2010a). Depolama alanlarının 100 yıllık bir dönem için tasarlandığı göz önüne alındığında, sızıntı suyu bileşenleri 4 farklı zaman dilimi içinde ele alınabilir (Damgaard ve ark. 2011). Çizelge 2. 1’de depolama alanı yaşına göre değişen sızıntı suyu bileşenlerinin değerleri verilmiştir.

Çizelge 2. 1. Klasik depolama alanlarında farklı dönemlerdeki sızıntı suyu bileşenlerinin değerleri (Damgaard ve ark. 2011)

İçerik	Dönem 1 (2 yıl)	Dönem 2 (8 yıl)	Dönem 3 (30 yıl)	Dönem 4 (60 yıl)	Atık Su Aritma Tesisini Giderimi %
Temel					
Toplam Askıda Katı Madde	60	60	60	60	96
Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı	13000	8000	800	30	97
Kimyasal Oksijen İhtiyacı	15000	12000	3000	200	80
Amonyak	1000	700	500	400	98
Fosfat	14	14	14	14	22
Kalsiyum	1000	1000	1000	1000	85
Klorid	2500	2000	1500	980	85
Magnezyum	300	300	300	300	85
Sodyum	700	500	400	200	85
İz Organikler					
Benzen	0,0065	0,0065	0,0065	0,0065	99
Kloroform	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	99
Etilbenzen	0,02	0,02	0,02	0,02	80
Etilendiklorid	0,05	0,05	0,014	0,014	80
Metilendiklorid	0,03	0,015	0,008	0,004	70
Tetrakloroeten	0,01	0,01	0,01	0,01	70
Toluen	0,16	0,16	0,02	0,02	80
Trikloroeten	0,005	0,005	0,007	0,007	70
Vinilklorid	0,05	0,05	0,04	0,04	70
Ksilen	0,05	0,05	0,05	0,05	60
Metaller					
Arsenik	0,03	0,025	0,02	0,02	70
Baryum	0,05	0,3	0,2	0,16	85
Kadmiyum	0,012	0,01	0,008	0,006	85
Krom	0,07	0,06	0,05	0,04	30
Bakır	0,12	0,1	0,1	0,07	50
Kurşun	0,06	0,04	0,02	0,005	85
Civa	0,0004	0,0003	0,0002	0,0002	85
Nikel	0,07	0,06	0,05	0,04	20
Selenyum	0,01	0,008	0,006	0,006	85
Gümüş	0,08	0,07	0,03	0,01	85
Çinko	4	2,2	1,5	0,7	70

pH, atık ve sızıntı suyu arasında çözünme, akış, redoks ve sorpsiyon olarak etki eder. Redoks potansiyeli, sızıntı suyundaki nutrient ve metallerin çözünürlüğüne etki eder (Çallı 1999). Her mikroorganizma grubunun faaliyetlerini sürdürebileceği optimum bir pH aralığı olmakla birlikte genel olarak bakteriler için optimum pH aralığının 6 ilâ 8 arasında olduğu söylenebilir (Top ve ark. 2011). Depo sahalarında sızıntı suyunun pH değeri, atıkların ayrışma kademeleri ile ilgili ipuçları vermektedir. Mikrobiyal aktivitenin asidik safhadan metanojenik safhaya doğru ilerlemesi ile sızıntı suyunun pH değerinin de 4,5 ilâ 7 arasında değişen değerlerden 7 ilâ 8,2 arasında değişen metanojenik değerlere ulaşması beklenir (Top ve ark. 2011).

Alkalinite, biyolojik sistemlerde ayrışma için gerekli pH değerinin istenen seviyenin altına düşmesine yol açan uçucu ve diğer asitlerin tamponlama kapasitesini göstermektedir. Evsel katı atıklar içerisinde yer alan kolay ayrışabilen organik maddelerin depolandıktan sonra hızlı bir şekilde ayrışması sonucu yağ asidi birikimine sebep olabileceği için ortamda yeterli alkalinitenin bulunmaması, pH'nın tamponlanması açısından önemlidir (Top ve ark. 2011). Düşük alkalinite değerleri değerlerinde ortamdaki asitler pH değerinin düşmesine sebep olarak biyolojik aktivitenin yavaşlamasına veya tamamen durmasına yol açabilirken, yüksek alkalinite değerleri sistemi düzensiz pH değişimlerine karşı tamponlar (Top ve ark. 2011).

Klorür, biyolojik ayrışmaya karşı dirençli olduğundan klasik anaerobik depo sahalarında genellikle sızıntı suyunda seyrelme olup olmadığını belirlemek amacıyla kullanılırken aerobik ayrışmada CO₂ ve H₂O ile birlikte ayrışmanın temel ürünleri arasında yer almaktadır (Top ve ark. 2011).

Toplam kjeldahl azotu ve amonyak azotu, yüksek oranda organik madde içeren katı atıklardan, yüksek konsantrasyonlarda azotlu bileşikler içeren sızıntı suları oluşur (Bayram 2008). Amonyak, depo sahalarında genellikle protein ve aminoasitlerin ayrışması sonucu ortaya çıkar (Top ve ark. 2011). Amonyak ve organik azot, toplam kjeldahl azotu olarak tanımlanır ve sızıntı suyunda toplam çözünebilir azot bileşiklerinin önemli bir yüzdesini oluşturur (Çallı 1999). Katı atıkların azot içeriği ıslak bazda %1'in altındadır ve genel olarak park-bahçe atıkları ve yemek artıklarının içerdiği proteinlerden kaynaklanmaktadır. Depo sahalarında var olan en önemli, varlığı

en uzun süreli kirleticinin amonyak azotu olduğu öne sürülmüştür. Amonyak azotu aynı zamanda depo sahasının kararlı hale gelmesinde etkilidir ve kapatıldıktan sonra kontrol altında tutulmasının ne zaman biteceğine de ışık tutar (Bayram 2008). Depolama alanı içindeki anaerobik koşullara bağlı olarak nitrit ve nitrat konsantrasyonları tipik olarak düşüktür (Çallı 1999). Yapılan çalışmalarda amonyak konsantrasyonlarının, sızıntı suyunda 500 ilâ 1000 mg/L arasında değiştiği ve bu konsantrasyonlarda zamanla önemli bir değişimin meydana gelmediği belirtilmiştir (Top ve ark. 2011). Eğer amonyak azotu 1000 mg/L'den çok daha yüksekse ise nitrifikasyon kısıtlanabilir (Çallı 1999). Bu nedenle bazı araştırmacılar amonyağı sızıntı suyunun en önemli bileşeni olarak göstermiştir (Top ve ark. 2011)

2.3. Düzenli Depolama Alanlarında Depo Gazı

2.3.1. Depo Gazının Temel Bileşenleri

Depo gazı, depolanmış olan büyük miktardaki organik atığın havasız ortamda çürümesi sonucunda oluşmakta olup yüksek oranlarda temel gazlar ile düşük oranlarda iz gazlardan oluşan birçok gazı içerir (Tchobanoglous ve Kreith 2002, Kiriş ve Saltabaş 2011, El Fadel ve ark. 2012). Bu yanıcı ve kokulu gaz karışımı metan, karbondioksit, karbon monoksit, hidrojen sülfid, amonyak, hidrojen, azot, oksijen gazlarını ve uçucu organik bileşikler içerir (Tchobanoglous ve Kreith 2002, Tsai 2005). Gövdede bulunan depo gazı bileşenlerinin tipik dağılımı Çizelge 2. 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. 2. Depo gazı bileşenlerinin tipik dağılımı (Tchobanoglous ve Kreith 2002)

İçerik	Yüzde (Kuru Hacim)
Metan	45-60
Karbon dioksit	40-60
Azot	2-5
Oksijen	0,1-1
Amonyak	0,1-1
Sülfidler, disülfidler, merkaptanlar vb.	0-1
Hidrojen	0-0,2
Karbon monoksit	0-0,2
İz bileşenler	0,01-0,6
Özellik	Hacim
Nem içeriği	Doygun
Özgül ağırlık	1,02-1,06
Sıcaklık (°C)	37,7-71,1

Depo gazı bileşenlerinin moleküler ağırlık ve yoğunlukları Çizelge 2. 3'te ve fiziksel özellikleri de Çizelge 2. 4'te verilmiştir.

Çizelge 2. 3. Depo gazı bileşenlerinin moleküler ağırlık ve yoğunlukları (Tchobanoglous ve Kreith 2002)

Gaz	Formül	Moleküler Ağırlık (g)	Yoğunluk (g/L)
Hava	---	28,97	1,2928
Amonyak	NH ₃	17,03	0,7708
Karbon dioksit	CO ₂	44	1,9768
Karbon monoksit	CO	28	1,2501
Hidrojen	H ₂	2,016	0,0898
Hidrojen sülfür	H ₂ S	34,08	1,5392
Metan	CH ₄	16,03	0,7167
Azot	N ₂	28,02	1,2507
Oksijen	O ₂	32	1,4289

Çizelge 2. 4. Depo gazı bileşenlerinin fiziksel özellikleri (Akpınar 2006)

Gaz	Kritik Sıcaklık (°C)	Tutuşma Sıcaklığı (°C)	Tutuşma enerjisi (min)	Havadaki Tutuşma Aralığı (alt/üst)	Yanma Hızı (m/s)	Sudaki Çözünürlük	Özellikler
Hava	-	-	-	-	-	-	Kokusuz Renksiz Zehirli değil Yanıcı değil
Karbon dioksit	31,1	-	-	-	-	1,688	Kokusuz Renksiz Düşük kons. zehirsiz
Karbon monoksit	-139	600	-	125/74	0,5	0,028	Kokusuz Renksiz Zehirli
Hidrojen	-239,9	560	0,05	4-74	2,8	0,001	Kokusuz Renksiz Zehirli değil Yanıcı
Hidrojen sülfür	100,4	-	-	4,3/45,5	-	3,846	Renksiz Zehirli
Metan	-82,5	600	0,6-0,7	5/15	0,4	0,0645	Kokusuz Renksiz Zehirli değil
Azot	-147,1	-	-	-	-	0,019	Kokusuz Renksiz Zehirli değil Yanıcı değil
Oksijen	-118,8	-	-	-	-	0,043	Kokusuz Renksiz Zehirli değil

Temel gazlar, evsel katı içindeki organik maddenin ayrışması sonucu oluşur. Metan ve karbondioksit gazları anaerobik ayrışma sonucu oluşan temel gazlardır (Tchobanoglou, G, Kreith, F. 2002). Depo gazında genel olarak %50 ilâ 60 oranında metan, %35 ilâ 40 oranında karbondioksit ve %3 ilâ 10 oranında azot bileşikleri bulunur (Kiriş ve Saltabaş 2011).

İz gazlar ya depolama alanına kabul edilen atıklardan ya da gövde içinde gerçekleşen reaksiyonlardan oluşur ve sıvı formda gelen atıklarla karışıktır. Ancak bunlar uçucu olmaya (VOCs) olmaya meyillidirler (Akpınar 2006). İz gazlar düşük oranlarda bulunmalarına rağmen toksik olup halk sağlığı için risk teşkil eder (Tchobanoglous ve Kreith 2002). Evsel katı atık depolama alanında bulunan iz gazları temsilen California’da 66 farklı evsel katı atık depolama alanındaki iz gazların konsantrasyonları ise Çizelge 2. 5’te verilmiştir.

Çizelge 2. 5. Depolama alanındaki iz gazların konsantrasyonları (Tchobanoglous ve Kreith 2002)

Bileşik	Konsantrasyon (hacimsel ppb)		
	Medyan	Ortalama	Maksimum
Aseton	0	6.838	240.000
Benzen	932	2.057	39.000
Karbon dioksit	330.000.000	10.000.000	534.000.000
Kloro benzen	0	82	1.640
Kloro form	0	245	12.000
1,1-Dikloro etan	0	2.801	36.000
Dikloro metan	1.150	25.694	620.000
1,1- Dikloro eten	0	130	4.000
Dietil klorin	0	2.835	20.000
1,2-Trans diklor etan	0	36	850
2,3-Dklor propan	0	0	0
1,2-Dkloro propan	0	0	0
Etilen bromid	0	0	0
Etilen diklorid	0	59	2100
Etilen oksit	0	0	0
Etil benzen	0	7334	87500
Hidrojen sülfid	0	0	0
Hidrojen	0	0	4
Metan	440.000.000	70.000.000	740.000.000
Azot	12	26	98
Oksijen	1	2	17
1,1,2-Triklor etan	0	0	0
1,1,1-Triklor etan	0	615	14.500
Triklor etilen	0	2.079	32.000
Toluen	8.125	34.907	280.000
1,1,2,2-Tetraklor etan	0	246	16.000
Tetraklor etilen	260	5.244	180.000
Vinil klorit	1.150	3.508	32.000
Metil etil keton	0	3.092	130.000
Stirenler	0	1.517	87.000
Vinil asetat	0	5.663	240.000
Ksilenler	0	2.651	38.000

Metan, atmosferde %0,00022 oranında bulunan renksiz, kokusuz ve yanıcı bir hidrokarbondur. Metan, 0,71 kg/m³ konsantrasyonuyla depo alanlarında yukarı doğru hareket eğilimindedir. Karbondioksit, atmosferde %0,036 konsantrasyonunda mevcuttur.

Depo sahalarında yoğunluğu yaklaşık $1,8 \text{ kg/m}^3$ 'tür. Bu değer, atmosferik yoğunluğun yaklaşık 1,5 katı, metan gazı yoğunluğunun ise yaklaşık 2,8 katına eşittir. Depo sahasının alt kısmında hareket halindedir (Özcan ve ark. 2005).

Depolama alanlarının 100 yıllık bir dönem için tasarlandığı göz önüne alındığında, depo gazı bileşenleri 4 farklı zaman dilimi içinde ele alınabilir (Damgaard ve ark. 2011). Uçucu organik bileşikler içeren endüstriyel ve ticari atıkların bertaraf edildiği daha eski depolama alanlarındaki uçucu organik bileşiklerin konsantrasyonları daha yüksektir (Tchobanoglous ve Kreith 2002). Çizelge 2. 6'da depolama alanının farklı dönemlerine ait depo gazı bileşenlerinin konsantrasyonları ve oksidasyon oranları,

Çizelge 2. 7'de ise yeni kapatılmış gövde içinde bulunan temel gazların dağılım yüzdesi verilmiştir.

Çizelge 2. 6. Depolama alanlarında farklı dönemlere ait depo gazı bileşenlerinin konsantrasyonları ve oksidasyon oranları (Damgaard ve ark. 2011)

İçerik	Dönem 1 (2 yıl)		Dönem 2 (3 yıl)		Dönem 3 (35 yıl)		Dönem 4 (60 yıl)	
	Kompozisyon	Oksidasyon* %	Kompozisyon	Oksidasyon %	Kompozisyon	Oksidasyon %	Kompozisyon	Oksidasyon %
Metan	%25		%40		%60		%5	
Karbondiyoksit	%70		%60		%40		%30	
Benzen	0,007	0	0,007	26	0,007	26	0,007	50
Karbonmonoksit	1E-5	0	1E-5	20	1E-5	20	1E-5	40
Karbontetraklorid	3E-5	0	3E-5	0	3E-5	0	3E-5	0
CFC 11	0,01	0	0,01	90	0,01	90	0,01	90
CFC 12	0,02	0	0,02	30	0,02	30	0,002	0
Klorobenzen	0,002	0	0,002	0	0,005	0	0,005	0
Kloroform	0,005	0	0,005	0	0,05	26	0,05	50
Etilbenzen	0,05	0	0,05	26	0,05	0	0,05	0
Etilendiklorid	0,05	0	0,05	0	0,012	60	0,012	60
HCFC 21	0,012	0	0,012	60	0,013	40	0,013	40
HCFC 22	0,013	0	0,013	40	0,006	0	0,006	0
Hidrojenklorid	0,006	0	0,006	0	0,002	0	0,002	0
Hidrojenflorid	0,002	0	0,002	0	7E-5	20	7E-5	40
Hidrojen sülfid	7E-5	0	7E-5	20	0,05	40	0,05	40
Metilenklorid	0,05	0	0,05	40	0,05	40	0,05	40
Civa	3,5E-6	0	3,5E-6	0	3,5E-6	0	3,5E-6	0
Tetrakloroeten	0,027	0	0,027	40	0,027	40	0,027	40
Toluen	0,16	0	0,16	60	0,16	60	0,16	60
Trikloroeten	0,016	0	0,016	40	0,016	40	0,016	40
Vinilklorid	0,01	0	0,01	90	0,01	90	0,01	90
Uçucu organikler	0,03	0	0,23	60	0,23	60	0,23	80
Ksilen	0,06	0	0,06	30	0,06	30	0,06	30

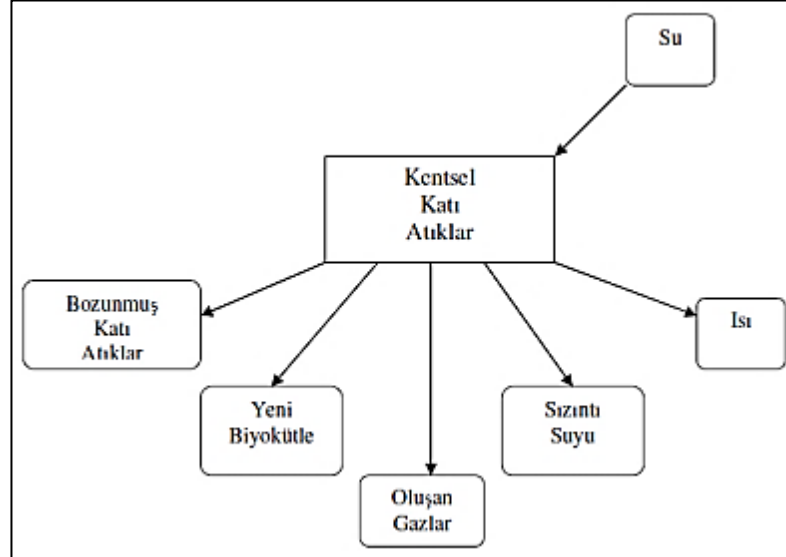
*Açık vahşi depolama alanları üst örtü içermediklerinden dolayı gaz bileşenlerinin oksidasyonunun gerçekleşmediği varsayılır.

Çizelge 2. 7. Yeni kapatılmış gövde içinde bulunan temel gazların dağılım yüzdesi (Tchobanoglous ve Kreith 2002)

Hücre kapanmasından sonra geçen zaman (ay)	Hacimsel ortalama yüzde (%)		
	Azot N ₂	Karbondiyoksit CO ₂	Metan CH ₄
0-3	5,2	88	5
3-6	3,8	76	21
6-12	0,4	65	29
12-18	1,1	52	40
18-24	0,4	53	47
24-30	0,2	52	48
30-36	1,3	46	51
36-42	0,9	50	47
42-48	0,4	51	48

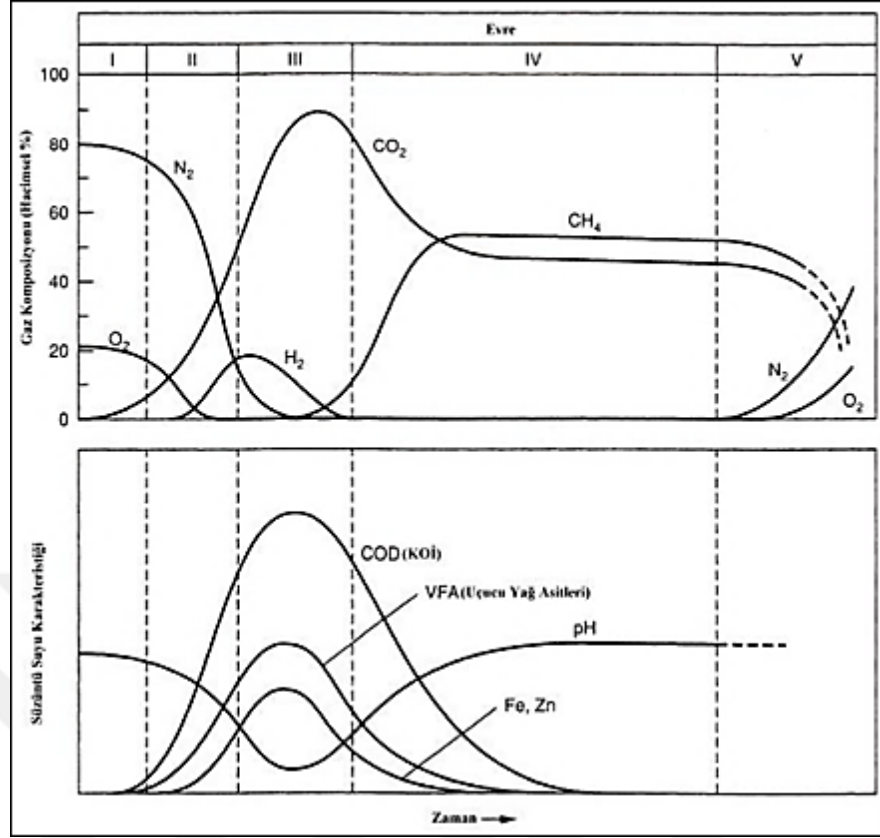
2.3.2. Depo Gazı Oluşumu

Kentsel katı atıklar, ağırlıklı olarak anaerobik koşullar altında çürüyerek yaklaşık %60 metan, %40 karbondiyoksit ve az miktarda metan olmayan bileşikler ile iz gazları içeren depo gazını oluşturan biyolojik ayrışabilir maddelerden oluşur (Chakraborty ve ark. 2011). Katı atıkların fiziksel, kimyasal ve biyolojik bozunması sonucu oluşan ürünler şematik olarak Şekil 2. 1’de verilmiştir.



Şekil 2. 1. Katı atıkların bozunması sonucu oluşan ürünler (Akpınar 2006)

Depo gazının belli başlı beş ardışık evrede oluştuğu düşünülür. Şekil 2. 2’de bu evreler verilmiştir.



Şekil 2. 2. Depo gazı oluşum evreleri (Tchobanoglous ve Kreith 2002)

1. Evre: Depolamadan sonra evsel katı atığın ayrışabilen organik kısmının bakteriyel ayrışmaya geçmeye başladığı ilk evredir. Bu evrede, gövde içinde sıkışmış bir miktar hava nedeniyle aerobik koşullar altında biyolojik ayrışma meydana gelir.

Ayrışmadan sorumlu aerobik ve anaerobik organizmaların temel kaynağı, günlük ve nihai örtü olarak kullanılan toprak malzemesi olup diğer kaynakları ise, atık su arıtma tesisi çamuru, evsel katı atık gövdesi ve sızıntı suyu döngüsüdür.

2. Evre: Geçiş evresi olarak tanımlanır. Oksijen tükenir ve anaerobik koşullar gelişmeye başlar. Gövde içi anaerobik hâle gelirken, biyolojik dönüştürmede elektron alıcı olarak nitrat ve sülfat, genellikle azot gazına ve hidrojen sülfite indirgenir. Anaerobik koşulların başlangıcı, yükseltgenme/indirgenme potansiyelinin ölçümüyle izlenebilir. Nitrat ve sülfatın indirgenmesi için indirgenme potansiyelinin yaklaşık -50 ilâ -100 mV'de olması yeterlidir. Yükseltgenme/indirgenme potansiyel değerleri -150 mV ilâ -300 mV arasında olduğunda metan üretimi meydana gelir.

Yükseltgenme/indirgenme potansiyeli düşmeye devam ederken, organik içeriğin metan ve karbondioksite dönüşümünden sorumlu olan mikroorganizmalar, 3. evreye hazırlık olarak kompleks organik maddenin organik asit ve diğer ara ürünlere dönüştürüldüğü üç adımlı bir süreci başlatırlar.

Bu evrede, eğer oluştuysa sızıntı suyunun pH'sı, organik asitlerin varlığı ve gövde içindeki yükselmiş CO₂ konsantrasyonu etkisi nedeniyle düşmeye başlar.

3. Evre: Asit evresi olarak bilinir. Bir önceki evrede başlatılan bakteriyel aktivite, belirgin miktarda organik asit üretimi ve azalan hidrojen gazı ile birlikte hızlanır.

Üç adımlı sürecin ilk adımı, yağlar, organik polimerler ve proteinler gibi yüksek moleküler kütle bileşiklerinin enzimatik dönüşümünü (hidroliz) içerir. Bu süreçte ikinci adım (asetojenesis), tipik örneği asetik asit olan ortalama düşük moleküler ağırlıklı bileşikler ile fulvik ve diğer kompleks organik asitlerin düşük konsantrasyonlarından oluşan bileşiklerin bakteriyel dönüşümünü içerir.

CO₂, esas olarak bu evrede oluşur. Ayrıca, düşük miktarlarda hidrojen gazı (H₂) oluşur. Bu dönüşüme katılan ve metanojenik olmayanlar olarak tanımlanan mikroorganizmalar, fakültatif ve zorunlu anaerobik bakterilerdir. Bu mikroorganizmalar, genellikle asitojenler veya asit oluşturucular olarak tanımlanmaktadır.

Bu evre boyunca asit üretimi nedeniyle, gövde içinde tutulan sıvıların pH'sı düşer. Eğer oluştuysa sızıntı suyu pH'sı, organik asitler ve gövde içinde yükselmiş karbondioksit konsantrasyonu etkisi nedeniyle genellikle 5 veya daha düşük bir değere düşer.

Bu evre boyunca, sızıntı suyundaki organik asitlerin çözünmesi nedeniyle biyokimyasal oksijen ihtiyacı, kimyasal oksijen ihtiyacı ve sızıntı suyunun iletkenliği belirgin bir şekilde yükselir. Ayrıca, sızıntı suyunun düşük pH değeri nedeniyle sayısız inorganik bileşenler ve başlıca ağır metaller çözünür. Eğer sızıntı suyu geri devri yapılmıyorsa, uygun nutrienler sistemden uzaklaşır. Eğer sızıntı suyu oluşmuyorsa, ki buna dikkat edilmelidir, bu evre boyunca oluşan dönüşüm ürünleri, emilmiş bileşenler olarak depolama alanı kapasitesiyle tanımlanan gövde içindeki suyun içinde kalır.

4. Evre: Metan fermantasyonu olarak bilinen 4. evrede, asit evresinde asit oluşturucular tarafından oluşturulan asetik asit ve hidrojen gazını metan ve karbon dioksiete çeviren ikinci grup mikroorganizmalar daha baskın hâle gelirler. Bazı durumlarda, bu evrenin sonuna doğru bu organizmalar gelişmeye başlar. Bu dönüşümden sorumlu bakteriler, tam anaerobtur ve metanojenler olarak adlandırılırlar. Genellikle de, metanojenler veya metan oluşturucular olarak tanımlanırlar.

Bu evrede, asit fermantasyonu hızının belirgin ölçüde azalmasına rağmen hem asit hem de metan fermantasyonu aynı anda ilerler.

Bu evrede, asitler ve asit oluşturucular tarafından oluşturulan hidrojen gazı, CH₄ ve CO₂'ye dönüştürülürken, gövde içindeki pH, 6,8 ilâ 8 aralığındaki daha nötr değerlere yükselir. Sırayla, eğer oluştuysa sızıntı suyu pH'sı yükselir, BOİ₅, KOİ ve sızıntı suyunun iletkenliği düşer. Yüksek pH değerlerinde, daha az inorganik bileşenler çözüdür, bunun bir sonucu olarak sızıntı suyu içinde buluna ağır metal konsantrasyonu da düşer.

5. Evre: Olgunlaşma evresi olarak bilinen bu evre, bir önceki evrede kolayca ayrışabilen organik bileşenlerin CH₄ ve CO₂'ye dönüştürülmesinden sonra görülür. Atığın içindeki nem ile birlikte, önceden dönüştürülemeyen ayrışabilen bileşenlerin bir kısmı dönüştürülür. Bu evrede, uygun nutrientlerin birçoğunun önceki evrelerde sızıntı suyuyla birlikte uzaklaşması ve gövde içinde kalan besinlerin oldukça yavaş ayrışması nedeniyle oluşan depo gazının hızı belirgin ölçüde azalır. Bu evrede olgunlaşan temel depo gazı, CH₄ ve CO₂'dir. Depo gazının içinde depolama alanının kapatma yöntemlerine bağlı olarak, düşük miktarlarda azot ve oksijen bulunabilir.

Olgunlaşma evresi boyunca, sızıntı suyu genellikle yüksek konsantrasyonlarda biyolojik olarak işlenmesi zor olan hümik ve fulvik asit içerir (Tchobanoglous ve Kreith 2002).

Depo gazının oluşumunda her bir evrenin süresi, gövde içinde organik maddenin dağılımına, uygun nutrientlere, nem içeriğine, nem döngüsüne ve nihai sıkıştırma derecesine bağlıdır. Örneğin, eğer sıkıştırma ile birlikte sıyırma varsa depo gazı oluşumu için karbon/azot oranı ve nutrient dengesi uygun olmayabilir. Gövde içinde yer alan bileşenlerin yoğunluklarının artmasıyla bazı bölümlerde kullanılabilir nem düşer ve bunun sonucu olarak biyo-dönüştürme hızı ve gaz oluşumu azalır (Tchobanoglous ve Kreith 2002).

Gazın kalitesi ve oluşum hızı temel olarak aşağıdaki koşullara göre değişir:

- Atığın kompozisyonu (karbon konsantrasyonu, besin içeriği, bozuşma reaksiyonlarını engelleyici bileşenlerin (inhibitör) varlığı, nem oranı vb),
- Atıkların geçtiği ön işleme derecesi (atık azaltma, geri dönüştürme, kompostlaştırma, balyalama),
- Sıkıştırma ürünü ve derecesi (şiddeti),
- Depolama sahasının işletilme yöntemi,
- Örtü tabakasının türü ve kalınlığı,
- Atığın miktarı,
- Depolama alanının geometrisi ve hidrojeolojik özellikleri,
- İklim (sıcaklık derecesi, yağmur, buharlaşma) (Kiriş ve Saltabaş 2011).

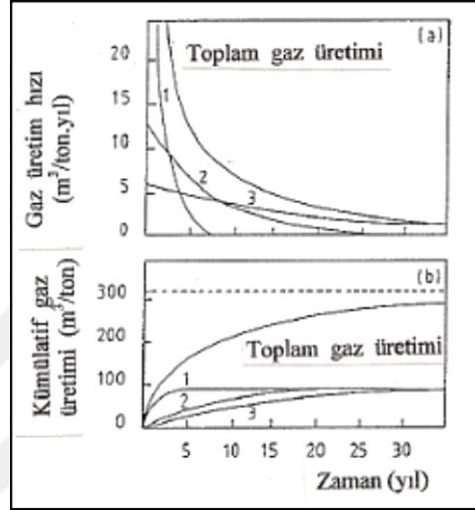
Organik maddeler hızlı ve yavaş ayrışabilenler olarak iki gruba ayrılır (Akpınar 2006). Biyolojik olarak hızlı ayrışabilir maddeler, nebati atıklar, hayvan ölüleri vb, yavaş ayrışabilir maddeler, kağıt ürünleri, tekstil, ahşap vb, ayrışamayan maddeler, metaller, plastikler, seramikler vb, diğer inert maddeler ise, toprak, kömür külü vb.'dir (Anonim 2010a). Depolama sahalarında gaz oluşumu atığın ayrışma hızına ve miktarına bağlı olup hızlı ayrışabilen organik bileşenler 3 aydan 5 yıla kadar, yavaş ayrışabilen organik bileşenler ise 50 ve daha fazla yılda ayrışırlar (Tchobanoglous ve Kreith 2002). Ayrıca, depolama alanı tasarımı ve işletme koşulları da ayrışma prosesini etkiler (Lombardi ve ark. 2011). Çizelge 2. 8'de organik maddelerin ayrışma dereceleri görülmektedir.

Çizelge 2. 8. Organik maddelerin ayrışma dereceleri (Akpınar 2006)

Atık Tipi	Ayrışma Derecesi	Ayrışma Yarı Ömrü (Yıl)
Yiyecek	Hızlı	1
Bahçe	Orta	5
Kağıt, karton, Tekstil, tahta	Yavaş	15
Plastik, deri, kauçuk, toprak	Ayrışmıyor	∞

Atıkların farklı türleri ve işlem tarzı gibi sebepler gaz oluşumunun başlangıcı ve üretim süresinin belirlenmesinde zorluk yaratmaktadır (Akpınar 2006). Depo gazının %60'ı atık depolandıktan sonraki 10 yıl içinde oluşmaktadır. Bu miktar 15 ilâ 20 yıl içinde %90 seviyesine çıkmaktadır (Kiriş ve Saltabaş 2011). Gövde içinde organik atıkların ayrışma hızı, normal koşullarda ilk iki yıl içinde zirveye ulaşan ve ardından da bazı durumlarda 25 yıl ve daha fazla süre devam eden bir süreçte yavaşça azalan gaz

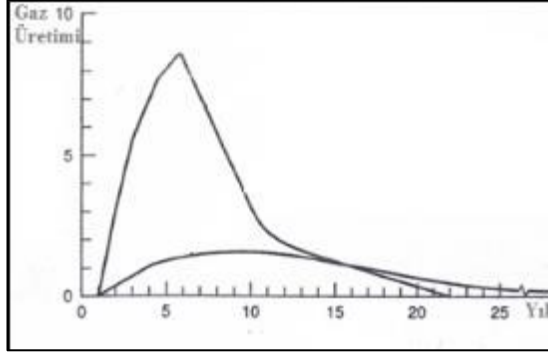
oluşumu ile ölçülür (Tchobanoglous ve Kreith 2002). Gaz oluşumu, atık kompozisyonuna, bertaraf tekniğine, yerel hava koşullarına ve depolama alanı özelliklerine bağlı olarak kademeli olarak artar (Tsai 2005). Ancak, depolama sahası yaşlandıkça zaman içerisinde gaz oluşum hızı kademeli olarak düşer (Akpınar 2006). Şekil 2. 3'te atıkların ayrışabilirlik derecelerine göre toplam gaz üretim hızı ve kümülatif gaz miktarları belirtilmiştir.



Şekil 2. 3. Atıkların ayrışabilirlik derecelerine göre (a) toplam gaz üretim hızı (b) kümülatif gaz miktarları (Akpınar 2006)

Depolama sahasının ömrü boyunca bertaraf edilen evsel atıktan yaklaşık olarak 170 m³/ton depo gazı oluşur (Kiriş ve Saltabaş 2011). Optimum koşullar altında, gövde içinde hızlı ayrışan organik kısmın dönüşümünden oluşması beklenen teorik gaz miktarı, 0,154 ilâ 0,192 m³/kg arasında, yavaş ayrışan organik kısmın dönüşümünden oluşması beklenen teorik gaz miktarı, 0,179 ilâ 0,205 m³/kg arasında değişir. Ancak, organik atığın ayrışabilen kısmı, büyük ölçüde atığın lignin içeriğine bağlı olduğundan organik maddenin tamamı lignin ile aynı hızda ayrışır (Tchobanoglous ve Kreith 2002).

İyi bir ayrışma için gövdede optimum nem içeriği %45 ilâ 60 arasında olmalıdır. Ancak, birçok depolama alanında nem, biyolojik ayrışabilen organik kısmın tamamının dönüşümünü sağlamak için yeterli değildir ve gövde içine eşit dağılmamıştır. Nem kısıtlı olduğunda ise gaz oluşum eğrisi Şekil 2. 4'te verildiği gibi düz ve zamana daha yayılmış olur (Tchobanoglous ve Kreith 2002).

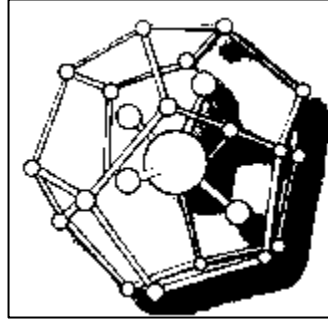


Şekil 2. 4. Depo gazı oluşumunda kısıtlanmış nem etkisi (Tchobanoglous ve Kreith 2002)

2.3.3. Metan Gazı Oluşumu

2.3.3.1. Metan Molekülünün Temel Yapısı

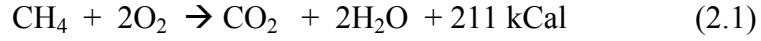
Doğal gazın temel bileşeni olarak son yıllarda cazibesi artan metan, karbonun en basit hidrojenli bir bileşimidir (Crabtree 1995). Alkanların ilk üyesi olarak karbon ve hidrojenden oluştuğu ve etkileşmeye fazla yatkın olmadığı için doymuş hidrokarbonlar ve parafinler olarak adlandırılan grup içine dâhil edilir (Salihoğlu 2000). Metan molekülü Şekil 2. 5'te şematize edilmiştir.



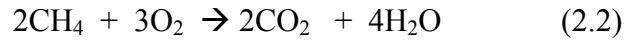
Şekil 2. 5. Metan hidratı (Ergenç 2011)

Metan molekülü, oldukça kararlıdır ve sadece 785 °C'de element halinde ayrılmaya başlar. 1250 °C'nin üstünde, asetilen oluşur ve eğer gaz karışımı hızlıca bastırılırsa ayrılmaz (Crabtree 1995). Bazı koşullarda halojenlerle, nitrik asitle ve oksijenle şiddetle etkileşirler. Havasız yerde çok yüksek sıcaklığa kadar ısıtılırsa karbon-karbon ve karbon-hidrojen bağları kopar ve çeşitli yanma ürünleri meydana gelir.

Oksidasyon, metan, fazla oksijen ile yakılırsa karbon dioksit, su ve fazla miktarda ısı enerjisi verir:

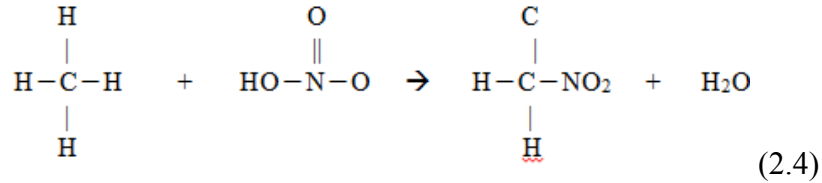


Eğer yeteri kadar oksijen olmadığı için tam yanma olmazsa etkileşme sonunda zehirli olan karbon monoksit ve elementel karbon meydana gelir:



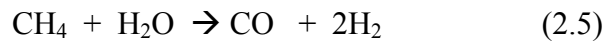
Halojenlenme, normal sıcaklıkta ve karanlıkta klor, doymuş hidrokarbonlarla etkileşmez. Yüksek sıcaklıkta ve güneş ışığında ya da mor ötesi ışıktaki hidrojen atomlarından biri ya da daha fazlası klor atomları ile süstitüsyon etkileşimi olarak yer değiştirir.

Nitrolama, alkanlar çok yüksek sıcaklıkta (400 °C) ve buhar fazında nitrik asitle etkileşirler. Hidrokarbonun bir hidrojeni çıkar ve yerine nitro grubu (-NO₂) grubu geçer. Burada nitro grubu halojenlerden farklı olarak bir tek hidrojenin yerine geçebilir.

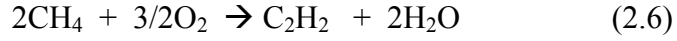


Parçalanma, Büyük moleküllü alkanlar havasız yerde yüksek sıcaklığa kadar ısıtılırsa parçalanır. Karbon-karbon ve karbon-hidrojen bağları koparak hidrojen, karbon ve daha küçük moleküllü hidrokarbonlar oluşur.

Yüksek sıcaklıkta suyla dönüştürüldüğünde:



2000 °C'ye doğru yükseltgen proliz işlemine uğratıldığında asetilen vermesi bakımından özellikle petrokimya sanayiinde hidrojen ve karbon üretiminde çok önemli bir kaynaktır:



Klorla tepkimeye girerek çeşitli türevlerin elde edilmesini sağlar. Bunlar, soğutucu bir etken olan metil klorür, tutuşmayan çözücüler olarak kullanılan metil klorür, kloroform ve karbon tetra klorürdür.

Nitrik asididin etkimesi sonucu sanayide çözücü ve ara madde olarak değerlendirilen nitro metanı, kükürt trioksit ile tepkimeye girdiğinde metan sülfonik asidi verir (Salihoğlu 2000).

Metanın düşük C:H oranı, metanın yanmasıyla ortaya çıkan enerjinin yağ veya kömürün yanmasıyla ortaya çıkan enerjiden daha yüksek olduğunu belirtir (Crabtree 1995).

Bazı metan reaksiyonlarının termodinamikleri Çizelge 2. 9'da verilmiştir.

Çizelge 2. 9. Bazı metan reaksiyonlarının termodinamikleri (Crabtree 1995)

Reaksiyon	ΔG° (kcal/mol)	
	126,85 °C	726,85 °C
$2\text{CH}_4 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_4 + 2\text{H}_2$	18,9	9,5
$2\text{CH}_4 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_6 + \text{H}_2$	8,6	8,5
$2\text{CH}_4 + \text{O}_2 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$	-34,6	-36,4
$2\text{CH}_4 + \text{O}_2 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_4 + \text{H}_2\text{O}$	-18,4	-14,5
$\text{CH}_4 + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{Cl} + \text{HCl}$	-26,0	-27,8
$\text{CH}_4 + \text{Br}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{Br} + \text{HBr}$	-8,4	-10,3
$\text{CH}_4 + \text{I}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{I} + \text{HI}$	12,5	9,0
$\text{CH}_4 + 1/2\text{O}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{OH} + \text{HCl}$	-25,4	-18,0
$\text{CH}_4 + \text{O}_2 \rightarrow \text{CH}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$	-69,0	-71,2
$\text{CH}_4 + \text{S} \rightarrow \text{CH}_3\text{SH}$	-6,4	-7,8
$\text{CH}_4 + \text{CO} \rightarrow \text{CH}_3\text{CHO}$	16,0	33,6
$\text{CH}_4 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{COOH}$	19,2	35,5
$\text{CH}_4 + \text{CO} + 1/2\text{O}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{COOH}$	-40,0	-10,0
$\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + 3\text{H}_2$	28,6	-6,5

2.3.3.2. Metanojenik Bakterilerin Genel Özellikleri

Metanojenler, anaerobik bakteriler olarak bilinirler (Zeikus 1977). Düşük büyüme hızı, dış koşullara yüksek duyarlılık, çevresel değişimlere daha fazla hassasiyet ve işletme parametrelerine ilişkin sıkı kontrol ihtiyacı metanojenlerin temel özellikleridir (Hao ve ark. 2012). Oksijen vericidirler, yeryüzüne çok yakın derinliklerde yaşarlar (Ergenç 2011).

Metanojenik bakterilerin taksonomik tayininde hücre şekli, birincil özellik olarak kullanılır. Türlerin belirlenmesinde ise fiziksel ve besinsel özellikler temeldir (Horasan 2009). 1970li yıllardan beri üç tür metanojenik bakteri tanımlanmıştır:

- Methanobacterium thermo-autotrophicum,
- Methanobacterium arbophilicum,
- Methanospirillum hungatii (Zeikus 1977).

Metanojenik bakterilerin enerji metabolizmaları Çizelge 2. 10'da, besi maddeleri ve oluşan son ürünler ise Çizelge 2. 11'de verilmiştir.

Çizelge 2. 10. Metanojenik bakterilerin enerji metabolizmaları (Zeikus 1977)

Denklem	ΔG° (kcal/mol reaksiyon) ^a
1) $4H_2 + HCO_3^- + H^+ \rightarrow CH_4 + 3H_2O$	-32,7
2) $4HCO_2^- + 4H^+ \rightarrow CH_4 + 3CO_2 + 2H_2O$	-34,7
3) $4CH_3OH \rightarrow 3CH_4 + CO_2 + 2H_2O$	-76,4
4) $CH_3COO^- + H^+ \rightarrow CH_4 + CO_2$	-8,6

^a Standart koşullarda (25°C sıcaklıkta, 1 atm basınçta, eşit molar konsantrasyonda reaktanlar ve ürünler) reaktan ve ürün denklemi oluşumunda serbest enerji için hesaplanmıştır. H₂, CH₄ ve CO₂ oluşumlarının serbest enerjisi için değerler gaz olarak, HCO₃⁻, HCO₂⁻ ve CH₃OH₂⁺ için sulu iyon, H⁺, H₂O ve CH₂OH için sulu olarak verilmiştir.

Çizelge 2. 11. Metan bakterilerinin kullandıkları besi maddeleri (Kalat 2011)

Besi Maddeleri	Son Ürünler
CO ₂ +4H ₂	CH ₄ +2H ₂ O
Asetik Asit (CH ₃ COOH)	1/4CH ₄ +3/4CO ₂ +1/2H ₂ O
Metanol (CH ₃ OH)	3/4CH ₄ +1/4CO ₂ +1/2H ₂ O
Metilamin (MeNH ₂)+1/2H ₂ O	3/4CH ₄ +1/4CO ₂ +NH ₃
Dietilamin+ H ₂ O	3/2CH ₄ +1/2CO ₂ +NH ₃
Trietilamin+3/2H ₂ O	9/4CH ₄ +3/4CO ₂ +NH ₃

Metan bakterinin en etkili olduğu pH aralığı, fizyolojik yapıları gereği 6,7 ilâ 8,1'dir. H₂ ve CO₂'den metan üreten bakteriler, asetat kullanan bakterilerden daha hızlı büyümektedir. Bu nedenle, asetotrofik metanojenler hız sınırlayıcıdır (Kalat 2011).

Anaerobik mikroorganizmalar topluluğunun kapasitesinden en verimli şekilde yararlanabilmek için sıcaklık, pH, alkalinite, nütrientler ve toksik maddeler gibi optimum çevresel şartların sağlanması gerekir (Horasan 2009). Optimum çevresel şartlar Çizelge 2. 12'de verilmiştir.

Çizelge 2. 12. Anaerobik mikroorganizmalar için optimum çevresel şartlar (Horasan 2009)

Parametre	Optimum Şartlar
Arıtılan Atığın Bileşimi	Karbon, azot, fosfor ve iz elementler bakımından dengeli olmalı O ₂ , NO ₃ , H ₂ O ₂ , SO ₄ gibi oksitleyici maddeler, toksik ve inhibitör elementler içermemeli
KOİ/N/P	300/5/1
pH	6,5-8,2
Sıcaklık	Mezofilik: 30-40°C Optimum: 35°C Termofilik 50-60°C Optimum: 55°C
Alkalinite	1000-400 mg/L CaCO ₃ Optimum: 2000 mg/L
Uçucu Yağ Asitleri	Asetik asit olarak <1000-1500 mg/L
Uçucu Yağ Asitleri/Alkalinite	<0,1

2.3.3.3. Metanojenesis (Metan Biyosentezi)

Metanojenesis, anaerobik bakterilerce CO₂ veya CO'nun CH₄'e indirgendiği metan biyosentezini içerir (Kalat 2011).

Organik maddenin anaerobik olarak biyolojik ayrışması üç adımda gerçekleşir:

- İlk olarak, kompleks moleküller mikroorganizmaların hücre dışı enzimleri ile çözünebilen ürünlere hidrolize edilir. Bu aşamada, selüloz, lignin ve hemiselüloz gibi karbonhidratlar glikoz, pentoz ve heksoza, proteinler, polipeptid ve aminoasitlere, ve yağlar ise alkoller, asitler ve hidrojene dönüşmektedir (Johari ve ark. 2012, Ardiç ve Tamer 2005).

Hidroliz, karbonhidratlar, proteinler ve yağlar için çok basamaklı kompleks bir prosestir. Hidroliz aşaması, enzim üretilmesi, difüzyon, adsorpsiyon ve çeşitli reaksiyonları içerir. Bu aşamada, hidrolitik bakteriler, karbonhidrat, protein ve yağ gibi kompleks organik molekülleri monomerlerine ayırır. Proteinler, aminoasitlere, karbonhidratlar, çözünür nanosakkarit veya disakkaritlere, lipitler, uzun zincirli yağ asitlerine ve/veya gliserine dönüştürülür (Kalat 2011). Karbonhidratlardan selüloz, selobiyoz ve glikoz, yarı selülozikler, penton, heksoz ve ürik asite dönüşür. Proteinler, peptonlar, peptidler ve amino asitlere dönüşür. Yağ asitleri, β oksidasyonu ile asetik asit ve hidrojene dönüşür (Horasan 2009). Eğer yağ, nişasta ve selüloz gibi maddeler yüksek konsantrasyonlarda bulunursa hidroliz, hız belirleyici basamak olur.

Hidroliz, fermentasyon bakterilerinin salgıladığı dış enzimlerle yürütülür. Bakteriler, proteaz, lipaz, amilaz, selüloz ve pektinaz gibi dış enzimler salgırlar. Ayrıca, hücre içinde faaliyet gösteren iç enzimler de salgılayabilirler (Kalat 2011). Ayrıca, hücre dışı enzimlerce yürütülen bu süreçte enzimlerin çalışma şartlarını etkileyen faktörler bu safhanın hızını da etkiler (Horasan 2009).

Hidrolizde rol alan bakteriler, kesin anaerobik olabildikleri gibi fakültatif de olabilirler (Kalat 2011).

- İkinci olarak, bu çözünebilir ürünler asit üreten bakterilerce asetik asit, propiyonik asit, bütirik asit ve etanol gibi basit organik asit ile karbon dioksit ve hidrojen'e dönüştürülür. Bu aşamada, çözülmüş karbonhidratlar etanol, H₂ ve CO₂'e, amino asitler, süksinik asit ve H₂'e, yağ asitleri ise asetat ve H₂'e dönüşmektedir (Johari ve ark. 2012, Ardiç ve Tamer 2005).

Asit ve asetat üretimi aşamasında, bütirik ve propiyonik asit üreten bakteriler (fermantasyon bakterileri) ve asetik asit üreten bakteriler olarak iki farklı bakteri grubu rol aldığı için süreç asidojenesis ve asitojenesis olarak adlandırılan iki aşamada ardışık olarak gerçekleşir (Kalat 2011).

Bu safhada aşağıdaki dönüşüm görülür:



Asidojenesis aşamasında, hidroliz aşamasında oluşan çözülmüş bileşikler, fermentasyon bakterileri tarafından hücre içine alınır. Ardından uçucu yağ asitleri, alkoller, laktik asit gibi organik bileşiklere ve karbondioksit, hidrojen, amonyak, hidrojen sülfür gibi mineral bileşiklere dönüştürülür. İşletme şartlarının kararlı olmaması durumunda propiyonik, bütirik, valerik ve izovalerik asit gibi ikiden fazla karbonlu yağ asitleri oluşur.

Asidojenik bakteriler, organik polimerlerin hidrolizinde ve devamında açığa çıkan oligomer ve monomer gibi hidroliz ürünlerinin organik asit ve solventlere dönüştürülmesinde rol alırlar. Fermantasyon bakterileri, 24 elektron eşdeğeri ve karbon

eşdeğerini koruyarak propiyonik ve asetik asit, hidrojen gazı ve bikarbonat üretirken homosetik bakteri gibi bazı türler karbonhidratları kullanarak asetik asit üretirler.

Asidojenik fermentasyon çoğu zorunlu anaerob olan farklı bakteri grupları tarafından gerçekleştirilmesine rağmen bazı mikroorganizma grupları fakültatif ve oksidasyon yoluyla organik maddeyi metabolize edebilirler.

Asitojenesis aşamasında, asidojenesis ürünleri metanojenestisite metan üretimi için son ürünler olan asetat, hidrojen ve karbondioksite dönüştürülür.

Heteroasetojenik bakteriler, propiyonik asit ve bütirik asit gibi uçucu yağ asitlerini, asetik asit, hidrojen ve karbondioksite dönüştürür. Hidrojen üreten asetik asit bakterilerinin asetat ve hidrojen oluşturmak için takip ettiği yol hidrojen kısmî basıncına bağlıdır ve propiyanat, bütirat ve yüksek moleküllü yağ asitleri ile aromatik bileşikler parçaladıkları için ortamdaki H₂ konsantrasyonunun yükselmesi halinde, bu tür bileşiklerin konsantrasyonlarında da birikme ve net metan üretim veriminde düşüş gözlenir (Kalat 2011). Asetat oluşumu azalır ve substrat metana değil propiyonik asit, bütirik asit ve etanole dönüşür.

Bu bakteriler, fakültatif ve zorunlu anaerob bakterilerden oluşur. Asit üretim hızı, metan üretiminden büyük olduğu için çözünmüş organik madde konsantrasyonundaki ani artış, asit üretimini yükseltir ve bunun sonucunda sistemde asit birikimi gerçekleşir. Bu durum, daha sonraki adım olan metan üretimi safhasında inhibisyona neden olur ve protein ile amino asitlerin ayrışmasından dolayı amonyum iyonu açığa çıkar (Horasan 2009).

- Son olarak, hidrojen ile birlikte karbon dioksit indirgenmesiyle ya da bakterilerce metan oluşur. Bu aşamada, oluşan metanın %70'i asetatın dekarboksilasyonu, geriye kalanı ise hidrojen kullanan metan bakterileri tarafından CO₂'in indirgenme reaksiyonları ile oluşmaktadır (Johari ve ark. 2012, Ardiç ve Tamer 2005).

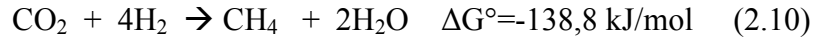
Metan üretiminde, asetik asit kullananlar bakteriler (asetatotrofik arkeler) ve hidrojen kullanan bakteriler (hidrojenotrofik arkeler) görev yapar (Kalat 2011). Halobakteri ve

termoasidofil ile birlikte metanojenik bakteriler, arke bakterilerini oluşturur. Bu bakteriler, örneğin yağlar ve nadir kofaktör serileri gibi eterlerin oluşumu gibi birçok nadir biyokimyasal özelliklere sahiptir. Çünkü bu bakterilerin ribozomal RNA sarmalları diğer canlılardan farklıdır ve evrimsel olarak oldukça eski organizmalar olarak kabul edilmişlerdir (Crabtree 1995).

Metan arkeleri, temel olarak iki dönüşüm yolu kullanarak substratların metana dönüşümünü sağlamaktadır. Asetatotrofik arkeler, asetati metan ve karbondioksit dönüştürürler (Horasan 2009). Bu safhada aşağıdaki dönüşümler görülür:



Hidrojenotrofik arkeler ise karbondioksit ve hidrojeni metana dönüştürürler (Horasan 2009). CO_2 indirgenmesi, adım adım oluşur ve C_1 kısımlarının, metanofuran, tetrahidrometanopterin ve F-430 faktörü olarak nadir kofaktör serilerine ve metanojenlere bağlanmasıyla sonuçlanır. Bu indirgenme ekzotermiktir ve organizmaya enerji sağlar (Crabtree 1995):



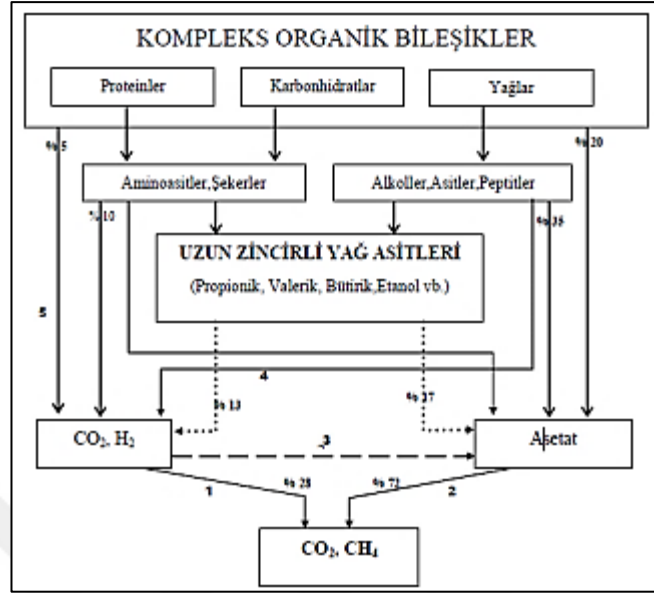
Metanojenik bakteriler nikelce oldukça zengindirler ve nikel sadece hidrogenaz tarafından H_2 aktivasyonunda değil ayrıca metanojenesisin son adımında da rol oynar (Crabtree 1995):



Her mikroorganizma grubu kendilerinden önceki grupların ürettikleri maddeleri besin maddesi olarak kullanmaktadır. Biyokütlenin anaerobik fermantasyonundaki temel mikroorganizma grupları şunlardır:

1. Hidrojen kullanan metan bakterileri,
2. Asetat kullanan metan bakterileri,
3. Homoasetojen bakteriler,
4. Asit üreten bakteriler ve
5. Hidrolitik-asit bakterileridir (Ardıç ve Tamer 2005).

Biyokütlenin anaerobik fermantasyonundaki aşamalar ve rol oynayan mikroorganizma grupları Şekil 2. 6'da verilmiştir.



Şekil 2. 6. Biyokütlenin anaerobik fermantasyonundaki aşamalar ve mikroorganizma grupları (Ardıç ve Tamer 2005)

2.3.4. Atık Gövdesi İçindeki Gaz Hareketi

Sıkışmamış toprak içinde bulunan depo gazının hareketi, farklı birçok mekanizma tarafından kontrol edilir. Normal koşullarda, toprak içinde oluşan gaz, moleküler difüzyon yoluyla atmosfere salınır. Depolama alanının hâlen aktif olması durumunda, gövdedeki iç basınç genellikle atmosferik basınçtan daha yüksek olduğundan basınç tahrikli konvektif akış ve difüzyon, gazın atmosfere çıkışını sağlar, gaz basıncı ve difüzyon birleşerek gazı gövdeden uzaklaştırır. Sıvı veya katı bileşenlere olan sorpsiyon ile kimyasal reaksiyon veya biyolojik aktivite yoluyla oluşan veya tüketilen gaz miktarı depo gazının hareketini etkileyen diğer faktörlerdendir. Jeolojik farklılıklar ise gaz hareketinin tahminini daha karmaşık bir hâle getirir.

Temel depo gazı olan metan ve karbon dioksit, gövde yüzeyinden konveksiyon ve difüzyon yoluyla atmosfere doğru salınabilir. Temel gazların difüzyonu aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$N_A = D\alpha^{4/3} \frac{(C_{A-ATM} - C_{A-FILL})}{L} \quad (2.12)$$

Burada:

N_A : Bileşenin gaz akısı ($\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$) ($\text{lb-mol}/\text{ft}^2 \cdot \text{d}$)

D : Efektif difüzyon katsayısı (cm^2/s) (ft^2/d)

α : Toplam porozite (cm^3/cm^3) (ft^3/ft^3)

C_{A-ATM} : A bileşenin gövde üstündeki konsantrasyonu (g/cm^3) ($\text{lb-mol}/\text{ft}^3$)

C_{A-FILL} : A bileşenin gövde altındaki konsantrasyonu (g/cm^3) ($\text{lb-mol}/\text{ft}^3$)

L : Gövde derinliği (cm) (ft)

Metan ve karbondioksit için difüzyon katsayısı sırayla $0,20 \text{ cm}^2/\text{s}$ ve $0,13 \text{ cm}^2/\text{s}$ 'dir. Ayrıca, genellikle kuru toprak koşulları için $\alpha_{\text{Gaz}} = \alpha$ olarak kabul edilir. Farklı kil türleri için porozite katsayısı $0,010$ ilâ $0,30$ arasında değişmektedir.

Karbondioksit, ağırlığı nedeniyle gövdenin alt kısmında toplanır. Eğer kil veya toprak astar kullanılmışsa, karbondioksit buradan yeraltı su seviyesine ulaşmaya kadar aşağıya doğru difüzyon geçişiyle astara ve altındaki yapıya doğru hareket edebilir. Karbon dioksitin hareketi, jeomembran astar kullanıldığında sınırlandırılabilir. Karbondioksit suda hızlıca çözünür, yeraltı suyunun çözünürlüğü sayesinde sırayla sertlik ve mineral içeriğini yükseltebilir ve genellikle pH'yı düşürür.

İz gazların difüzyonu ise aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$N_i = D\alpha^{4/3} \frac{C_{i(s)} \cdot W_i}{L} \quad (2.13)$$

Burada:

$C_{i(s)} \cdot W_i$: Gövdenin üst yüzeyinin altındaki bileşenin konsantrasyonu (Tchobanoglous ve Kreith 2002).

2.3.5. Gaz Kontrol/Toplama Sistemleri

2.3.5.1. Pasif Gaz Kontrol /Toplama Sistemi

Pasif Gaz Kontrol Sisteminde, depo gazının difüzyonla hareket etmesi kontrol edilir (Akpınar 2006). Depolama sahasında üretilen gaz basıncı, gaz hareketi için ana unsur olarak görev yapmaktadır. Bu durumda, harici bir emme ünitesi kurmadan gaz, pasif bir şekilde depo sahasından alınıp bertaraf edilebilir veya enerji üretimi amacıyla kullanılabilir (Kiriş ve Saltabaş 2011).

Pasif sistemler, depo gazını atmosfere vermek için doğal basınç ve konveksiyon mekanizmalarını kullanırlar (Akpınar 2006). İstenilen yöne gaz akışını sağlamak için temel gazlar yüksek bir hızda üretilirken düşük geçirgenlik yolları yapılabilir: çakıl dolu hendekler gazı bir yakma bacasına doğru ileten hatlardır (Tchobanoglous ve Kreith 2002). Pasif hava menfezleri, bazen depo gazı göçünü kontrol etmek için kullanılır. Menfezlerin dışında saha çevresi gaz çekme hendekleri ve saha çevresi hava enjeksiyon kuyuları da pasif gaz kontrol elemanları olarak kullanılmaktadır (Akpınar 2006). Hendek havalandırmasına göre belirgin bir gaz geçirgenliğine sahip olabilen depolama alanı çevresindeki toprak ve örtü toprağı ise ek husustur (Tchobanoglous ve Kreith 2002).

Metanın binalarda birikerek önemli bir risk oluşturacağı alanlarda pasif sistemler koruma açısından yeterli olmayabilirler. Depolama sahalarında önceden tahmin edilemeyen gaz hareketi nedeniyle modern depolama sahalarında pasif sistemlerin kullanımı tercih edilmemektedir (Akpınar 2006). Bunun yanı sıra, yeraltı yolları üzerinden metan girişi olasılığını en az düzeyde tutan alanların sınırlandırılmasında pasif havalandırmanın kullanılması önerilebilir (Tchobanoglous ve Kreith 2002).

Ayrıca, temel gazların üretimi sınırlı olduğunda zayıf moleküler difüzyon mekanizması birincil taşıma mekanizması olacağından dolayı pasif sistemler etkili değildir (Tchobanoglous ve Kreith 2002).

2.3.5.2. Aktif Gaz Kontrol/Toplama Sistemi

Aktif Gaz Kontrol Sisteminde, saha çevresinde gaz çekme kuyuları kullanarak ve bu kuyulara doğru bir basınç gradyanı yaratacak kısmî vakum oluşturulması ile depo gazının yanal hareketi kontrol edilmektedir. (Kiriş ve Saltabaş 2011). Bu sistemler gaz göçünün kontrolünü ve enerji amaçlı kullanımı için metanın geri kazanımını sağlar (Akpınar 2006).

Gövde içinden depo gazının alınımı için düşey ve yatay gaz kuyuları kullanılır. Bazı tesislerde her iki kuyu türü de kullanılır (Tchobanoglous ve Kreith 2002, Kiriş ve Saltabaş 2011). Ayrıca, depo gazı alınırken oluşan kondens suyunun yönetimi, gaz geri kazanım sistemlerinin tasarımında önemli bir faktördür (Tchobanoglous ve Kreith 2002).

Düsey borulama sistemi, 50-70 m aralıklarla yerleştirilmiş düsey gaz kuyularından oluşur. Bu mesafeler daha fazla olursa gaz toplama işlemi etkin olmaz. Daha kısa tutulursa teknik açıdan emiş sırasında kuyu etkileşimleri olacak, ayrıca kuyu miktarı artacak ve sonuç olarak daha yüksek işletme giderleri ile karşılaşılacaktır.

Kuyuların derinliği, depolama alanının toplam derinliğinin % 50 ilâ % 90 mertebesinde olmalıdır. Gazın toplanabilmesi için 10-20 cm çaplı borular, açılan sondaj kuyularına yerleştirilmelidir. Bu boruların üstte kalan 4-5 m'si deliksiz, kalanı ise gaz toplamak için delikli olmalıdır. Boru bağlantılarının ileride depolama alanında olacak çökmelerden zarar görmemesi için esnek şekilde inşa edilmeleri gerekmektedir. Delikli boruların deliksiz borularla birleştiği nokta kum/betonit karışımı bir malzemeyle en az 0,5 m tıkanmalıdır. Bu işlem, depolama sahasının üzerinden gelen havanın atık kütlesi içine girmesini engellemek veya toplanan depo gazı ile karışmasını engellemek amacıyla yapılmalıdır. Delikli boruların etrafındaki boşluklar çakıl ile deliksiz boruların etrafındaki boşluklar ise kum ile doldurulmalıdır.

Taşıma boruları, depo gazı içindeki nemin yoğunlaşmasından (kondens) dolayı tıkanırsa boru içindeki gaz hareket edemez hale gelir. Yoğunlaşma sonrası ortaya çıkan suları tasfiye etmek için en alçak noktada bir drenaj sisteminin yapılması gerekmektedir.

Gaz toplama sisteminde toplanan gaz, deliksiz yatay borular vasıtasıyla manifold adı verilen toplama ünitelerine, oradan da daha büyük borular vasıtasıyla gazın yakılacağı gaz yakma bacaları (flayer) veya enerji üretimi maksatlı kullanılacağı tesise taşınır (Kiriş ve Saltabaş 2011). Depo gazı elektrik üretimi için kullanılmadığı durumlarda, alev sistemlerinde yakılarak tasfiye edilir. Yakmada, kokulu gazlar da imha edilmiş olur. Bu gaz yakıcılarında depo gazı, hava ilavesiyle yakılır. Konvansiyonel gaz yakıcılarında depo gazı yaklaşık 1000°C sıcaklıkta yakılır. Yüksek sıcaklıklardaki gaz yakıcılarında ise 1200°C' ye varan sıcaklıklara çıkılabilmektedir (Akpınar 2006).

2.3.5.2 Kontrol/Toplama Sistemlerinin Verimlilikleri

Depolama alanı işletim koşulları ve depo gazı toplama yöntemlerinin verimlilikleri Çizelge 2. 13'te verilmiştir (Amini ve ark. 2012).

Çizelge 2. 13. İşletim yöntemlerine göre ortalama depo gazı verimlilikleri (Amini ve ark. 2012)

Yöntem	Ortalama Toplama Verimliliği (%) [*]
Depo gazı toplama sistemi yok	0
Aktif depolama alanı, düşey kuyular ile aktif toplama sistemi, sadece günlük örtü toprağı	67
Aktif depolama alanı, düşey kuyular ile aktif toplama sistemi, ara örtü toprağı veya yatay hendekler ile aktif toplama sistemi, sadece günlük örtü toprağı	75
Aktif depolama alanı, düşey kuyular ile aktif toplama sistemi, işlenmiş nihai toprak veya düşey kuyular ve yatay hendekler ile aktif toplama sistemi, ara örtü toprağı	87
Aktif depolama alanı, aktif toplama sistemi, geomembran veya eşdeğer örtü	90

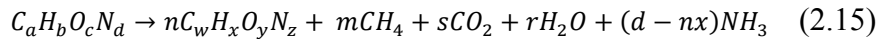
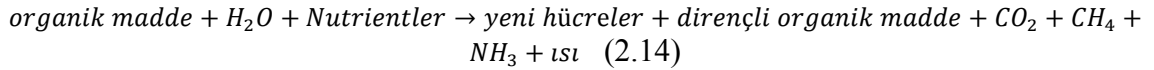
^{*}US EPA: AP42 Güncellemesi İçin Arkaplan Bilgi Dökümanı (2008). Background information SWANA Depolama Alanı Gazı Proje Grubu Uygulamalı Araştırma Vaktı: Depolama Alanı Gaz Toplama Sistemi Verimlilikleri (2007). SCS Mühendisleri: Güncel Eysel Katı Atık Depolama Alanı Endüstrisinin Konumu ve Depo Gazı Toplama Sistemi Verimliliğı, Metan Oksidasyonu ve Depo Alanlarında Karbon Ayrılması Üzerine Uygulamalı Yeni Teknolojiler, (2008). Spokas, K., Bogner, J., Chanton, J.P., Morcet, M., Aran, C., Graff, C., Moreau-le Golvan, Y., Hebe, I., 3 Depolama Alanında Metan Kütle Dengesi: Gaz Toplama Sistemlerince Yakalanan Verim Nedir? (2006).

2.3.6. Gaz Miktarının Belirlenmesi

2.3.6.1. Reaksiyon Stokiyometresi

Katı atığın anaerobik ayrışma boyunca oluşan toplam gaz miktarı doğrudan doğruya reaksiyon stokiyometresinden bulunabilmesine rağmen hız, süre, yerel hidrolojik koşullar ve depolama alanı işletimi ile belirgin olarak değişir.

Organik kısmın anaerobik dönüşümü aşağıda verilen denklem ile açıklanabilir:



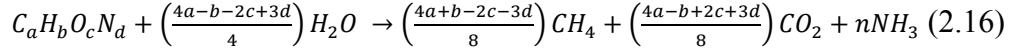
Burada:

$$s=(a-nw-m)$$

$$r=(c-ny - 2s)$$

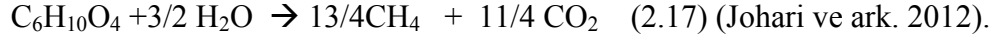
$C_aH_bO_cN_d$ ve $C_wH_xO_yN_z$: organik maddenin sırayla süreç başındaki ve sonundaki molar içeriğı.

Eğer organik maddenin ayrışabilen kısmının tamamen stabilize olduğu varsayılırsa, denklem aşağıdaki şekilde olur:



(Tchobanoglous ve Kreith 2002).

Ayrıca, anaerobik ayrışmada oluşan en fazla depo gazı miktarı aşağıdaki basitleştirilmiş reaksiyon ile tahmin edilebilir:



2.3.6.2. Çeşitli Modeller

Düzenli depolama alanlarında oluşan metan emisyonları çeşitli modellerle belirlenebilmekte olup (Scharff ve ark. 2006a,b) depo gazı oluşumu için sıfır derece-birinci derece ve ikinci derece oluşum modelleri kullanılabilir (Amini ve ark. 2012). En yaygın kullanılan modeller, biyolojik olarak ayrışabilen atıklar ile metan oluşumunu açıklayan birinci derece modeller ve çok fazlı kinetiklerdir. Sıfır Derece Modeller, atığın potansiyel emisyonunun depolandığı sene oluştuğunu göz önüne alır demektir. Birinci Derece Modeller, tüm organik karbonun aynı kalitede olduğunu ve aynı hızda ayrıştığını kabul eder. Çok Fazlı Modeller, farklı hızlarda ayrışan farklı türlerde organik karbon olduğunu kabul eder (Scharff ve ark. 2006a,b).

Çok az model sonucu sahadaki gerçek depo gazı verisini karşılamaktadır. Çalışmalar göstermektedir ki, model sonuçları ile saha ölçümleri karşılaştırıldığında sıfır derece model sonuçları yüksek hataları nedeniyle nispeten güvenilir değildir, yüksek dereceli modeller ise daha düşük hatalara sahiptir (Amini ve ark. 2012). Bununla beraber, depolama alanlarında kaynaklanan metan gazı emisyonu tahminleri için yeterince doğru olduğu kabul edilen birinci derece bozunma modelleri de güvenilir olmayabilir (Di Bella ve ark. 2011).

Modelleri değerlendirmede dikkat edilecek husus ölçüm süresidir ve tüm modellerin kendilerine özgü süreleri vardır:

- Bazıları belirli bir zaman dilimine karşılık gelen metan emisyonunu noktasal değer olarak verir,
- Bazıları herhangi bir gündeki metan emisyonu hakkında fikir verir,
- Bazıları ise uzun bir zaman sürecindeki metan emisyonları tahmin eder.

Buna rağmen:

- Metan emisyonuna ait birçok model, düzenli depolama alanındaki evsel katı atık miktarına dayalıdır ve bu nedenle azalan organik atık miktarı için kullanımı pek uygundur değildir.
- Modelin veri girişinde sunulan sınırlı sayıdaki atık kategorisinden dolayı farklı atık kategorilerinin nasıl değerlendirileceği bir problemdir. Çünkü atık kategorileri tanımları ülkeler arasında farklılaşabilir. Emisyon modelleri, genel olarak depolama alanı gerçek verileri için doğrulanmamıştır.

Dünya genelinde,

- Almanya, Alman Araştırma Enstitüsü TNO tarafından geliştirilen birinci derece modelleri kullanır.
- Hollanda (Afvalzorg Firması), Wageningen Tarım Üniversitesi tarafından TNO'nun modeli baz alınarak geliştirilen çok fazlı modelleri kullanır.
- Amerika Birleşik Devletleri, EPA tarafından geliştirilen modelleri kullanır.
- The Anglo-Welsh Çevre Ajansı, metan emisyonunu hesaplamak ve raporlamak için bireysel işleticilere ait depolama alanlarına yönelik GasSim modelini önerir.
- Almanya ve Fransa'daki depolama alanlarında kaynaklanan metan emisyonlarını hesaplayan EPER modeli de sıfır derece modelidir. Bu model, sabit atık kompozisyonunda sabit atık miktarına sahip depolama alanında güzel yaklaşımlar verir (Scharff ve ark. 2006a,b).

Depo gazı oluşumunu tahmin etmek için birçok araştırmacı kısa dönem verilerine ve sistem değerlerine dayanan çeşitli modeller kullanmıştır (Amini ve ark. 2012). Bu çalışmalara ait özet Çizelge 2. 14'te verilmiştir.

Çizelge 2. 14. Depo gazı oluşumu modelleme uygulamalarının ampirik özeti (Amini ve ark. 2012)

Çalışma	Veri Yılı	Model	Depolama Alanı Özelliği	k (yıl ⁻¹)	L ₀ (m ³ .g ⁻¹)	Hata ^a
Kanada'da 35 adet depolama alanında depo gazı oluşumu modelini doğrulama	Yok	Sıfır Derece Alman EPER TNO Belçika Scholl Canyon LandGem Sürüm 2.01	Kanada'da 35 adet depolama alanı	0,023- 0,056	90-128	%-81- %589
Dünya Bankası tarafından CDM depo gazı projesi	1-3	IPCC Birinci Derece Rettenberg Birinci Derece E Plus US EPA LandGem Alman Çok Fazlı Scholl Canyon	Güney Amerika ve avrupa'da 6 adet depolama alanı	0,014- 0,28	68-102	%-3- %1109
Depolama alanı metan emisyonu karşılaştırması: Örneklem Analizi	Yok	US EPA Fransız ADEME UK GasSim IPCC Tier 2	Fransa'da 6 adet depolama alanı	0,04- 0,50	44-170	%-65- %140
Depo gazı enerji geri kazanımı: Örneklem Analizi için ekonomik ve çevresel değerlendirme	Yok	Scholl Canyon	İtalya Toscana Casa Rota Depolama Alanı	0,07- 0,36	13-30	%5

^a Karşılaştırmalı model hatası, gerçek veriden daha düşük negatif gösterge model tahmini ile birlikte gerçek veriyi tahmin eder.

Hesaplamalardaki asıl zorluk, depo gazının oluşum hızı tahminlerindeki belirsizlikler olup depo gazının oluşum hızı, depolanan atık kompozisyonuna, atık içeriğine, örtü malzemesine ve toplama sistemi verimliliğine bağlı matematiksel modeller kullanılarak tahmin edilmektedir (Amini ve ark. 2012). Genellikle modellerdeki depo gazı oluşum katsayısı olduğundan daha yüksek verilir (Di Bella ve ark. 2011) ve bu bağlamda birçok model depo gazını değerini yüksek gösterme eğiliminde olmasına rağmen LandGem Modeli ise daha düşük göstermektedir. Modellerin matematiksel ifadelerinde kullanılan (L₀) değeri ise, atık kompozisyonunun fonksiyonudur ve atık bozunma stokiyometresi, laboratuvar ölçümleri veya tam ölçekli veri kullanan model kullanımı ile açıklanabilir. Literatürde, alınan atık numunesi kompozisyonuna ve her bir içeriğin nihai metan verimine bağlı olarak 6 ilâ 270 m³ . mg⁻¹ arasında önemli ölçüde değiştiği görülmektedir. US EPA LandGem modelince önerilen sistem değeri ise 100 m³ . mg⁻¹'dir. Modellerin matematiksel ifadelerinde kullanılan (k) değeri, bozunma (çürüme) hızını yansıtır ve atık derinliği, atık yoğunluğu, pH ve diğer çevresel koşullara bağlıdır. Genel olarak her bir atık türü farklı bozunma oranına sahip olup bozunma oranı nem içeriğinden etkilenir. Örneğin, artan nem içeriği sonucu atıklar daha hızlı ayrışır ve (k) değeri artar. Ancak, birçok model (k) değeri için tek bir genel değer kabul eder (k) değeri laboratuvar çalışmaları, pilot hücre ölçümü veya tüm sahadaki depo gazı ölçümlerinin modelle karşılaştırılması ile açıklanabilir. Genel olarak literatürde (k) değeri 0,01 ilâ 0,21 yıl⁻¹ değişir ve yaygın olarak 0,04 değeri kullanılır. US EPA

LandGem modelince önerilen sistem değeri, saha için yıllık yağış değeri 635 mm ve üzeri ise $0,04 \text{ yıl}^{-1}$, 635 mm'nin altında ise $0,02 \text{ yıl}^{-1}$, ıslak depolama alanları için ise $0,30 \text{ yıl}^{-1}$ 'dir. (Amini ve ark. 2012).

Tabasaran (Rettenberger) Modeli, kümülatif bir artışı temsil eden model matematiksel olarak aşağıdaki şekilde açıklanabilir:

$$G_T = 1,868 * C_{org} * (0,14T + 0,28)*(1-10^{-kt}) \quad (2.18)$$

Burada:

- G_t : t zamanına kadar üretilen gaz miktarı ($\text{m}^3 \cdot \text{ton}^{-1}$)
 C_{org} : Organik karbon içeriği (kg/ton atık) (evsel katı atıklar için 170-200 kg t^{-1})
 T : Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$) (25-35)
 t : Zaman (yıl)
 k : Ayrılma sabiti (yıl^{-1}) (%75 organik madde indirgenmesi ve 12-24 yıl dolgu süresi için $0,025-0,05 \text{ yıl}^{-1}$) (Akpınar 2006).

LandGem (Landfill Gas Emission Model) Modeli, depolanan atık kütlesi ve metan üretim kapasitesini kullanarak oluşan metan gazını hesaplamakta olup matematiksel olarak aşağıdaki şekilde açıklanabilir:

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0}^1 kL_0 \left(\frac{M_i}{10}\right) e^{-kt_{ij}} \quad (2.19)$$

Burada:

- Q_{CH_4} : Yıllık oluşan metan gazı ($\text{m}^3 \cdot \text{yıl}^{-1}$)
 k : Metan oluşum sabiti ($0,04 \text{ yıl}^{-1}$)
 L_0 : Metan oluşum potansiyeli ($100 \text{ m}^3 \cdot \text{mg}^{-1}$ atık)
 M_i : i. yıldaki atık kütlesi (mg)
 t_{ij} : i. Yılda kabul edilen M_i atık kütlesinin j. bölümünün yaşı (yıl^{-1}) (Di Bella ve ark. 2012).

Model, CO_2 ve CH_4 emisyonlarının aynı oranda olduğunu kabul etmektedir, yani depo gazı miktarının metan emisyonununun iki katı olduğu varsayılmaktadır (Akpınar 2006).

LandGem US EPA Modeli, LandGem Modeline dayanmakta olup matematiksel olarak aşağıdaki şekilde açıklanabilir:

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n k L_0 M_i e^{-kt} \quad (2.20)$$

Burada:

Q_{CH_4} : Yıllık oluşan metan gazı ($m^3 CH_4 \cdot yıl^{-1}$)

k : Metan oluşum sabiti ($yıl^{-1}$)

L_0 : Metan oluşum potansiyeli ($m^3 CH_4 \cdot mg^{-1}$ atık)

M_i : i. bölümdeki atık kütlesi (mg)

t_i : i. bölümün veya artışın yaşı ($yıl^{-1}$) (Scharff ve ark. 2006a,b).

Modifiye LandGem Modeli, Amerika Birleşik Devletleri'nin Florida eyaletindeki her bir şehre yönelik yıllık depo gazı oluşumu tahmini için kullanılmakta olup matematiksel olarak aşağıdaki şekilde açıklanabilir:

$$Q_g = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0,1}^1 \beta k_1 \left(\frac{M_{i1}}{10}\right) L_{0i1} e^{-k_1 t_{zj}} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=0,1}^1 \beta k_2 \left(\frac{M_{i2}}{10}\right) L_{0i2} e^{-k_2 t_{zj}} \quad (2.21)$$

Burada:

Q_g : Yıllık oluşan metan gazı ($m^3 \cdot yıl^{-1}$)

k_1 ve k_2 : 1 ve 2 atıkları için metan oluşum sabiti ($yıl^{-1}$)

M_{i1} ve M_{i2} : 1 ve 2 atıkları için i yılında depolanan atık tonajı (mg)

L_{01} ve L_{02} : 1 ve 2 atıkları için i yılında metan oluşum potansiyeli ($m^3 \cdot mg^{-1}$)

i : Atık bertaraf periyodu (yıl)

j : 1/10'lük zaman artışı (yıl)

n : Atık bertarafının toplam süresi (yıl)

z : i yılındaki atık depolamasından depo gazı üretim periyodu (yıl)

β : Metan fraksiyonu sabitinin dönüşüm oranı

t_{zj} : z yılındaki M_i atık bölümünün j (yıl) (Amini ve Reinhart 2011, AMINI ve ark. 2012).

Modelde evsel atık kompozisyonu Amerika Birleşik Devletleri ile EPA arasındaki protokoller neticesinde inert madde ve tehlikeli olmayan diğer atıklar olacak şekilde gruplanmaktadır.

GasSim modeli, metan emisyonu tahmininde iki yaklaşım kullanır. İlk yaklaşım GasSim çok fazlı denklemini, ikinci yaklaşım ise LandGem modelini kullanır. GasSim modeli matematiksel olarak aşağıdaki şekilde açıklanabilir:

$$\alpha_t = \zeta c \sum_{j=0}^m \sum_{i=1}^n A_j k_i C_{0,i,j} e^{-k_i(t-j)} \quad (2.22)$$

Burada:

- α_t : Verilen süredeki depo gazı oluşumu (m^3 depo gazı . yıl⁻¹)
 ζ : Başkalaşma faktörü (-)
 c : Dönüşüm faktör (m^3 depo gazı . kg⁻¹ ayrışan organik madde)
 m : Depolama yaşının sayısı (-)
 j : A_j miktardaki depolama yaşı (yıl)
 n : i fraksiyon sayısı (-)
 i : k_i ayrışma hızı ile birlikte atık fraksiyonu (kg_i . kg⁻¹ atık)
 A_j : j yılındaki atık miktarı (mg)
 $C_{0,i,j}$: j yılındaki i fraksiyonundaki organik madde miktarı (kg organik madde. Mg⁻¹ atık).
 k_i : i fraksiyonunun çürüme hızı sabiti (yıl⁻¹)
 t : Depolamadan itibaren geçen süre (yıl) (Scharff ve ark. 2006a,b).

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) Modeli Standart Metod, kütle dengesi yaklaşımını baz alır ve metan oluşumunu aşağıdaki şekilde tahmin eder:

$$CH_4 = MSW_T * MSW_F * MCF * DOC * DOC_F * F * \left(\frac{16}{12} - R\right) * (1 - OX) \quad (2.23)$$

Burada:

- MSW_T : Oluşan toplam evsel katı atık miktarı (Gg . yıl⁻¹)
 MSW_F : Depolama alanında bertaraf edilen evsel katı atık miktarı (%80)
 MCF : Metan düzeltme faktörü (0,4-1,0)
 DOC : Ayrışabilir organik karbon fraksiyonu (0,08-0,21)
 DOC_F : Toplam ayrışabilir organik karbon fraksiyonu (0,5, %50 metan)
 F : Depo gazındaki metan fraksiyonu (0,5)
 R : Geri kazanılan metan (Gg . yıl⁻¹) (0)
 OX : Oksidasyon faktörü (0)

$$DOC = \sum DOC_i * W_i \quad (224)$$

Burada:

DOC : Atık kütlesi içindeki parçalanabilir organik karbon fraksiyonu (Gg C . Gg⁻¹ atık)

DOC_i : i tür atık içindeki parçalanabilir organik karbon fraksiyonu

W_i : atık kategorisine göre i tür atık fraksiyonu (Chakraborty ve ark. 2011).

Sistem kabulleri ile (R=0, OX=0):

$$CH_4 = MSW_T * MSW_F * MCF * DOC * DOC_F * F * 16/12 \quad (2.25)$$

$$DOC = 0,4 * P + 0,15 * K + 0,3 * W \quad (2.26)$$

Burada:

P : Evsel katı atıktaki kağıt atık fraksiyonu

K : Evsel katı atıktaki mutfak atığı fraksiyonu

W : Evsel katı atıktaki ahşap/bitki atığı fraksiyonu (Tsai 2005, Johari ve ark. 2012).

IPCC Birinci Derece Bozunma Metodu, atık içindeki parçalanabilir organik karbon, mikrobiyolojik ve biyokimyasal prosesler sonucu depo gazını oluşturarak birkaç yılda yavaşça ayrışır ve oluşan depo gazı birinci derece kinetikler ile tahmin edilebilir:

$$DDOC_m = W * DOC * DOC_f * MCF \quad (2.27)$$

Burada:

DDOC_m : Biriken ayrışabilir organik karbon kütlesi (Gg)

W : Biriken atık kütlesi (Gg)

DOC : Biriken yıldaki ayrışabilir organik karbon fraksiyonu (Gg C . Gg⁻¹ atık)

DOC_f : Ayrışabilir organik karbon fraksiyonu

MCF : Birikme yılındaki aerobik ayrışma için düzeltme faktörü

$$DDOC_{ma_t} = DDOC_{md_t} + (DDOC_{ma_{t-1}} * e^{-k}) \quad (2.28)$$

Burada:

DDOC_{ma t} : t yılında biriken ayrışabilir organik karbon kütlesi (Gg)

$$DDOC_{mdecomp_t} = DDOC_{ma_{t-1}} * (1 - e^{-k}) \quad (2.29)$$

Burada:

$DDOC_{ma_t}$: t yıl sonunda biriken ayrışabilir organik karbon kütlesi (Gg)

$DDOC_{md_t}$: t yılında biriken ayrışabilir organik karbon kütlesi (Gg)

$DDOC_{ma_{t-1}}$: t-1 yıl sonunda biriken ayrışabilir organik karbon kütlesi (Gg)

$DDOC_{mdecomp_t}$: t yılında ayrıışan ayrışabilir organik karbon kütlesi (Gg)

$$CH_4_{generated_t} = DDOC_{mdecomp_t} * F * 16/12 \quad (2.30)$$

Burada:

$CH_4_{generated_t}$: Ayrıışan ayrışabilir organik karbondan oluşun metan miktarı

F : Oluşun depo gazında hacimce metan fraksiyonu

16/12 : Moleküler ağırlık (CH_4/C) (Chakraborty ve ark. 2011).

IPCC Scholl-Canyon Modeli, LandGem US EPA Modelinde küçük bir farklılık ile uygulanır. Model, gaz emisyonu başlangıcında doğrudan maksimum biyogaz oluşun oranını tahmin eden tek basamaklı oluşun eğilimi temeli üzerine kurulmuştur ve hemen sonra atık içinde anaerobik mikrobiyal aktivenin başlaması için bir gecikme süresine ihtiyaç duyulur. Modeli matematiksel olarak aşağıdaki şekilde açıklanabilir:

$$Q_{CH_4} = L_0R(e^{-Kt_c} - e^{-Kt}) \quad (2.31)$$

Burada:

Q_{CH_4} : Metan oluşun oranı ($m^3 \cdot yıl^{-1}$)

L_0 : Metan oluşun kapasitesi potansiyeli (m^3/ton) ($180 m^3 \cdot ton^{-1}$)

R : Yıllık ortalama atık kabul oranı ($mg \cdot yıl^{-1}$)

K : Metan oluşun oranı sabiti ($yıl^{-1}$)

t_c : Depolama alanı kapanma süresi (yıl)

t : İlk atık kabul zamanı (yıl) (El Fadel ve ark. 2012).

TNO birinci derece modelinde, atığın içindeki karbonun tükenme zamanı hesaplanır. Atığın belirli bir miktarından oluşun metan gazının zaman içinde katlanarak azalması tahmin edilir. TNO birinci derece model matematiksel olarak aşağıdaki şekilde açıklanabilir:

$$\alpha_t = 1,87AC_0k_1e^{-k_1t} \quad (2.32)$$

Burada:

- α_t : Verilen süredeki depo gazı oluşumu (m^3 depo gazı . yıl⁻¹)
 ζ : Başkalaşma faktörü (-0,58)
1,87 : Dönüşüm faktör (m^3 depo gazı . kg⁻¹ ayrışan C)
A : Ortamdaki atık miktarı (Mg)
C₀ : Atıktaki organik karbon miktarı (kg C . mg⁻¹ atık)
k₁ : Çürüme hızı sabiti (0,091 yıl⁻¹)
t : Depolamadan itibaren geçen süre (yıl)

Alman EPER modeli, sıfır faz modelidir ve matematiksel olarak aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$Me = M * BDC * BDC_f * F * D * C \quad (2.33)$$

Burada:

- M_e : Metan emisyonunun yayılma miktarı (mg CH₄ . yıl⁻¹)
M : Yıllık depolanan atık miktarı (mg atık . yıl⁻¹)
BDC : Ayrışabilir karbon oranı 0,15 (MG C . mg atık⁻¹)
BDC_f : Dönüşen ayrışabilir karbon oranı 0,5 (-)
F : CH₄'e dönüşen karbon faktörü hesaplaması 1,33 (-)
D : Toplama verimliliği : aktif gaz toplama 0,4 (-)
geri kazanım yok 0,9 (-)
aktif depo gazı geri kazanımı 0,1 (-)
C : Metan konsantrasyonu 50 (%) (Scharff ve ark. 2006a,b, Jacobs ve Scharff 2006).

Fransız EPER modeli, depolama alanlarından kaynaklanan metan emisyonunu iki yaklaşımla verir:

- Depo gazı gazı çıkarma sistemiyle bağlantılı depolama alanı hücreleri için metan gazı geri kazanım verilerini kullanarak metan emisyonu tahmini,

- Depo gazı çıkarma sistemiyle bağlantılı veya bağlantısız depolama alanı hücreleri için çok fazlı model ile metan gazı geri kazanım verilerini kullanarak metan emisyonu tahmini (Scharff ve ark. 2006a,b).

Depo gazı çıkarma sistemiyle bağlantılı depolama alanı hücreleri için metan emisyonu matematiksel olarak aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$A = F * H * [CH_4] \quad (2.34)$$

Burada:

A : Metan geri kazanım miktarı (m^3 metan . $yıl^{-1}$)

F : Depo gazı geri kazanım oranı (m^3 depo gazı . $yıl^{-1}$)

H : İşletimdeki yıllık kompresör saati (saat . $yıl^{-1}$)

[CH₄] : Depo gazı içindeki metan konsantrasyonu (m^3 metan . m^{-3} depo gazı). (Scharff ve ark. 2006a,b, Jacobs ve Scharff 2006).

Depo gazı çıkarma sistemiyle bağlantılı depolama alanı hücreleri için metan oluşumu aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$P = \frac{A}{\eta} \quad (2.35)$$

Burada:

P : Metan üretimi (m^3 metan . $yıl^{-1}$)

η : Geri kazanım verimliliği (%)

Ardından metan emisyonu aşağıdaki yaklaşımla hesaplanır:

$$CH_4\text{-Emisyonu} = CH_4\text{-Üretimi} - CH_4\text{-Geri Kazanımı} - CH_4\text{-Oksidasyonu}$$

Çok fazlı model ile metan oluşumu ise aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$FE_{CH_4} = \sum_x FE_0 * (\sum_{1,2,3} A_i * P_i * k_i * e^{-kt}) \quad (2.36)$$

Burada:

FE_{CH_4} : Yıllık metan oluşumu (m^3 metan . $yıl^{-1}$)

FE_0 : Metan oluşum potansiyeli (m^3 metan . mg^{-1} atık)

p_i : i fraksiyonunun çürüme hızı sabiti ($yıl^{-1}$)

t : Atık yaşı (yıl)

A_i : Normalleştirme faktörü (-)

Fransız EPER modeli, atık kategorilerini üçe ayırır. Her kategori spesifik bir Mg atık başına metan oluşum kapasitesine sahiptir. Model, her atık kategorisi için üç fraksiyon ile birlikte üç k değeri hesaplar. İki kategori için fraksiyon dağılımları aynıdır. Bu durumda, k değerleri de aynı olur. Üçüncü kategori için k değeri sıfırdır. Böylelikle, çok fazlı Fransız EPER Modeli, temel olarak birinci derece modeli de içerir.

Modelde toplam metal emisyonu ise aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$CH_4 \text{ Emisyonu} = P(1 - \eta) * 0,9 + FECH4 * 0,9 \quad (2.37)$$

Burada:

η : Ekstraksiyon verimi (Scharff ve ark. 2006a,b).

Ehrig Modeli, depolamadan hemen sonraki maksimum gaz oluşumu tahminine dayanarak gaz oluşum oranını hesaplamakta olup matematiksel olarak aşağıdaki şekilde açıklanabilir:

$$G_t = A(1 - e^{-\frac{t}{k_1}}) \cdot e^{-\frac{t}{k_2}} \quad (2.38)$$

Burada:

G_t : t zamandaki gaz oluşumu ($m^3 \cdot mg^{-1}_{\text{atık}} \cdot yıl^{-1}$)

A : Maksimum gaz oluşum oranı (10,2) ($m^3 \cdot mg^{-1}_{\text{atık}} \cdot yıl^{-1}$)

T : Zaman (yıl)

k_1 ve k_2 : bozunma ve metan oluşma süreçlerine ait katsayılar (sırayla 1,1 ve 15,72) (yıl) (Di Bella ve ark. 2011, El Fadel ve ark. 2012).

Afvalzorg Çok fazlı Modeli, birinci dereceden bir model olup farklı türleri atıklar farklı ayrışma hızlarında farklı organik madde fraksiyonları içerir. Her bir fraksiyon için ayrı ayrı depo gazı oluşumu hesaplanır. Model, sekiz atık kategorisi ve 3 fraksiyona ayrılmış olup matematiksel olarak aşağıdaki şekilde açıklanabilir:

$$\alpha_t = \gamma \sum_{i=1}^3 cAC_{0,i} k_{1,i} e^{-k_{1,i}t} \quad (2.39)$$

Burada:

α_t : Verilen süredeki depo gazı oluşumu (m^3 depo gazı . yıl⁻¹)

γ : Başkalaşma faktörü (-)

i : $k_{1,i}$ ayrışma hızı ile birlikte atık fraksiyonu ($kg_i \cdot kg^{-1}_{\text{atık}}$)

- c : Dönüşüm faktör (m³ depo gazı . kg⁻¹ ayrışan organik madde)
A : Ortamdaki atık miktarı (mg)
C₀ : Atıktaki organik madde miktarı (kg organik madde . mg⁻¹ atık)
k_{1,i} : i fraksiyonunun çürüme hızı sabiti (yıl⁻¹)
t : Depolamadan itibaren geçen süre (yıl) (Scharff ve ark. 2006a,b, Jacobs ve Scharff 2006).

Üç Köşeli Gaz Üretimi Modeli, atık karakterizasyonu ile ilgili yeterli veri olmadığında kullanılabilir:

$$X = MSW_T * MSW_F * MCF * DOC * DOC_F * F * \left(\frac{16}{12} - R\right) * (1 - OX) \quad (2.40)$$

Burada:

- X : Metan emisyonu tahmini (Gg . yıl⁻¹)
MSW_T : Oluşan toplam evsel katı atık miktarı (Gg . yıl⁻¹)
MSW_F : Depolama alanında bertaraf edilen evsel katı atık miktarı (%80)
MCF : Metan düzeltme faktörü (0,4-1,0)
DOC : Ayrışabilir organik karbon fraksiyonu (0,08-0,21)
DOC_F : Toplam ayrışabilir organik karbon fraksiyonu (0,5, %50 metan)
F : Depo gazındaki metan fraksiyonu (0,5)
R : Geri kazanılan metan (Gg/yıl) (0)
OX : Oksidasyon faktörü (0)

$$V = X * \frac{10^6}{D} \quad (2.41)$$

Burada:

- V : Metan hacmi (m³ . yıl⁻¹)
D : Metan yoğunluğu (0,714 kg . m³⁻¹)

$$H = V * \frac{2}{15} \quad (2.42)$$

Burada:

- H : Üçgenin yüksekliği (m³) (Chakraborty ve ark. 2011).

Metan olmayan organik bileşiklerin emisyon oranını tahmin eden modifiye LandGem Modeli olan Analytical Contaminant Transport Analysis System (ACTS) matematiksel olarak aşağıdaki şekilde açıklanabilir:

Yıllık katı atık kabul oranı bilinen depolama alanlarında,

$$M_{\text{NMOC}} = 2 \sum k L_0 M_i C_{\text{NMOC}} e_i^{-kt} 3,6 * 10^{-9} \quad (2.43)$$

Yıllık katı atık kabul oranı bilinmeyen depolama alanlarında,

$$M_{\text{NMOC}} = 2 R L_0 C_{\text{NMOC}} (e_i^{-kc} - e_i^{-kt}) 3,6 * 10^{-9} \quad (2.44)$$

Burada:

- M_{NMOC} : Metan olmayan organik bileşiklerin emisyon oranı ($\text{mg} \cdot \text{yıl}^{-1}$)
 k : Metan oluşum oranı sabiti (yıl^{-1})
 L_0 : Metan oluşum potansiyeli ($\text{m}^3 \cdot \text{mg}^{-1}$ atık)
 M_i : Depolama alanının i. bölümündeki katı atık miktarı (mg)
 t_i : Depolama alanının i. bölümünün yaşı (yıl)
 t : Depolama alanının yaşı (yıl)
 R : Yıllık kabul oranı ($\text{mg} \cdot \text{yıl}^{-1}$)
 C : Kapanmadan sonra geçen zaman (yıl) (aktif depolama alanları için c:0)
 C_{NMOC} : Metan olmayan organik bileşiklerin konsantrasyonu (ppm)
(Nwachukwu ve Diya 2013).

Farklı modellerin metan emisyonu tahminlerinde büyük farklılıklar vardır. Modellerden elde edilen en yüksek tahmin değerleri, en düşük tahmin değerlerinden 5 ilâ 7 kat fazla olabilir. Sonuçlardaki bu büyük değişimler raporlamalar için kabul edilebilir olamaz. Güncel modeller yüksek ölçüde kesin değildir, karşılıklı olarak karşılaştırılmaz ve tutarsızdır. Farklı modeller ve ülkeler arasında karşılaştırmanın gerekli olduğu durumlarda ise minimum doğruluk ile karşılaşılamamıştır. Ayrıca, modellerin yanı sıra atık miktarı ve kompozisyonu ile ilgili veri eksikliği de çalışmalarda zorluk çıkartmaktadır (Scharff ve ark. 2006b).

2.3.6.3. Ölçüm Yöntemleri

Saha ölçümleri, geniş mekânsal kapsama alanı ihtiyacı, yüksek maliyetle uygulanması, ölçüm metodolojilerindeki belirsizlikler gibi birçok dezavantaj barındırmasına rağmen depo gazının miktarının belirlenmesi için önemlidir (El Fadel ve ark. 2012).

Depo gazının saha ölçümleri için birçok yöntem vardır:

- Toprak gövdesi ölçümleri
- Gaz konsantrasyonu ölçümleri
- Depo gazı örnekleme kuyuları
- Statik veya dinamik kapalı odalar
- Kütle dengesi yöntemi
- Mikro-meteorolojik yöntemler
- İz gaz izleme
- Sabit bulut ölçümleri
- İzotop ölçümleri

Toprak gövdesi ölçümlerinde toprak gövdesi numunesi metanotroflerin biyolojik aktivitesinin araştırmak için laboratuvara götürülebilir ve yapılan ölçümler difüzyon ve oksidasyon hakkında bilgiler verebilir. Gaz konsantrasyonu ölçümlerinde, yüzeyden aşağıya doğru farklı derinliklerdeki metan konsantrasyonunu ölçmek için toprak gövdesine geçici veya kalıcı olarak çeşitli proplar yerleştirilir ve metanın yanal hareketini izlenir. Topraktaki gaz basıncı ve porozite bilgileri ile birlikte konsantrasyon değişimleri emisyon tahminini verebilir. Yüksek metan oluşumu, yüzeye yakın metan konsantrasyonlarının bir sonucudur. Metan oluşumu düşük olduğunda depolama alanı dışına olan metan akısı genellikle düşüktür (Scharff ve ark. 2006b).

Depo gazı örnekleme kuyuları, geçici veya sabit gaz kuyularının inşasını içerir. Kuyulara küçük bir çıkarma birimi ve gaz yakma bacası bağlanır. En güvenilir metot olmakla birlikte bu yöntem çok pahalıdır. Bu metodun önemli bir faydası da toplanan gazın miktarıyla birlikte kalitesinin de ölçülebilir olmasıdır (Akpınar 2006). Depolama alanının belirli bölümlerindeki gaz potansiyeli hakkında bilgi verir. Ancak, emisyon ile ilgili bilgi sağlamaz.

Statik kapalı odalar, yüzeye doğru olan gaz akısını ölçmek için en basit yöntemdir. Örneklemme cihazı metan konsantrasyonundaki artışı ölçen ve $\frac{1}{2}$ m² yüzey alanı olan bir kutudan oluşur. Kutunun içindeki odalar küçük örneklemme alanlarını içerir. Metan akısı, doğrudan konsantrasyon artış hızından sağlanır. Dinamik kapalı odalar, odadaki sürekli hava akışı dışında statik kapalı odalara benzer. Hava akışı ile konsantrasyon ve akı birikimini önlenir ve akı odaya doğru giriş ve çıkış konsantrasyonundaki hava akışından sağlanır.

Kütle dengesi yönteminde, depolama alanı yüzeyindeki farklı yüksekliklerdeki rüzgâr hızı ile metan konsantrasyonunun yatay akıyı oluşturması neticesinde metan ve karbondioksit emisyonları bulunabilir. Eğer ölçümler etkin bir yükseklikte yapılırsa tüm metan bulutu örneklenir ve emisyon akısı bulunabilir. Kütle dengesi metodu, hem mekânsal ve hem anlık ölçümlerle metan ve karbondioksit emisyonu verilerini sağlamasından dolayı iyi bir yöntemdir.

Mikro-meteorolojik yöntemler, daha büyük yüzey alanlarında emisyonu ölçmek için genellikle tercih edilir. Bu yöntemde, konsantrasyon düşüşleri ölçülür ve birkaç m³lük alanlarda hava taşımacılığı ve karışımı bilgileri kullanılarak düşey akı olarak yeniden hesaplanır. Bu teknikler sadece yüzlerce metre genişlikteki düzlüğe sahip arazi üzerinde uygulanabilir ve emisyonlar oldukça homojen bir şekilde oluşur.

İz ölçümler, depolama alanından kaynaklanan emisyon rüzgâr doğrultusunda ve rüzgâr karşısında metan akıları farkından bulunur. Hızlı cevap metan monitörü kullanılarak depolama alanının rüzgâr yönündeki gaz konsantrasyonu hesaplanır. Dispersiyon modeli kullanılarak depolama alanındaki emisyon seviyesi tahmin edilir. İz ölçümler, kısa süreli ölçümler için doğrudur. Bu ölçümler depolama alanlarında yapılacak rutin ölçümler olarak önerilebilir ve ekonomik değildir (Scharff ve ark. 2006b). İz gaz izleme, zemin tabanlı optik uzaktan algılama ve diğer mikro-meteorolojik yöntemler pahalı olup gelişmiş ve duyarlı ekipmana ihtiyaç duyarlar (El Fadel ve ark. 2012).

Sabit bulut ölçümleri, iz ölçümlerden daha verimlidir. Hava örnekleri, belirli bir periyot boyunca rüzgâra karşı bir kutu içinde toplanır. Ölçüm yerinde zamana karşı konsantrasyon elde etmek için dispersiyon modeli kullanılır. Düşük maliyeti ile iyi bir modeldir.

İzotop ölçümleri, üst katman içinde okside olan metan fraksiyonlarını anlamayı sağlar ve depolama alanındaki ortalama oksidasyon etkisini tahmin etmek için uygulanabilir. Metan, toprak kısmın üst katmanına doğru geçtiğinde okside olur ve bu süreçte $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ oranları değişir. Bu değişim, ^{12}C 'yi tercih eden oksidasyon bakterileriyle ölçülür. Daha sonra, örneklerdeki izotoplardan salınan gaz miktarı hesaplanır (Scharff ve ark. 2006b). Bu yöntemlerin avantaj ve dezavantajları özet olarak Çizelge 2. 15'te verilmiştir.

Çizelge 2. 15. Ölçüm yöntemlerin karşılaştırması (Scharff ve ark. 2006b)

Yöntem	Uzamsal Çözünürlük	Zamansal Çözünürlük	Bileşenler	Maliyet	Avantaj/Dezavantaj
Toprak gövdesi	m ²	Saat	CH ₄ ,CO ₂	Az	-Özellikle mekanik oksidasyon çalışmaları için uygun -Normal depolama alanı aktiviteleriyle girişim mümkün
Gaz konsantrasyonu	m ²	Periyodik	CH ₄ ,CO ₂	Yüksek	Emisyonlar üzerinde doğrudan bilgi sağlamaz
Deneme çıkarmaları	<1 ha	Sürekli	CH ₄ ,CO ₂	Yüksek	Çıkarma sisteminin optimum tasarımı gösterir -Depolama alanının tamamından kaynaklanan emisyonu tahmin etmek için çok sayıda örneğe ihtiyaç vardır
Kapalı oda	m ²	Saat	CH ₄	Yüksek	--Normal depolama alanı aktiviteleriyle girişim mümkün
Kütle dengesi	Birkaç ha	Sürekli	CH ₄ ,CO ₂	Az	Otomasyon için uygun
Mikro-meteoroloji	Birkaç ha	Sürekli	CH ₄ ,CO ₂	Az	Uygulama ile ilgili çeşitli kuşkular mevcut
Bulut ölçümleri	Depo alanı tamamı	Saat	CH ₄	Biraz	En doğru olarak kabul ama pahalı
İzotop ölçümleri	Depo alanı tamamı	Saat	¹³ CH ₄	Biraz	Oksidasyon miktarını ölçmeye yönelik ama pahalı

2.3.7. Depo Gazının Çevresel Etkileri

Depo gazının oluşumu ve eldesi sırasında çeşitli çevresel problemler ile güvenlik problemleri oluşabilmektedir. Bunlardan bazıları:

- Sera gazı emisyonlarına olumsuz katkı,
- Patlama ve yangın tehlikesi dolayısıyla insan sağlığı için tehlike,
- Depolama sahasının üzerinde ve yakınındaki tarım ürünleri ve diğer bitkilere olumsuz etkiler,
- Kötü koku emisyonudur (Kiriş ve Saltabaş 2011).

İnsan faaliyetleri, çevresel bozulmaya sebep olan sera gazı birikimine yol açar (Johari ve ark. 2012). Katı atıkların, organik maddenin biyolojik ayrışması nedeniyle sera gazı kaynaklarından biri olduğu düşünülmektedir (El Fadel ve ark. 2012). Özellikle hızlı şehirleşmenin yaşandığı ülkelerde depolama alanları, önemli antropojenik metan ve sera gazı kaynaklarından biridir (Chakraborty ve ark. 2011, Di Bella ve ark. 2011).

Depolama alanında gaz oluşumu, atık kabulünden kısa bir süre sonra başlar ve alan kapandıktan sonraki 30 yıl ve üzeri bir süre devam edebilir (Lombardi ve ark. 2011). Bu nedenle, depolama alanının kapatılmasından sonraki yıllarda yıllık oluşan metan gazı miktarındaki azalmaya rağmen depo gazı oluşumu devam edeceğinden uzun dönemde önemli miktarda kümülatif sera gazı emisyonları oluşabilir. (Niskanen ve ark. 2013).

Atmosferik metan konsantrasyonu geçtiğimiz 100 yıl boyunca 2 kattan daha fazla artmıştır ve depolama alanlarının en büyük antropojenik kaynaklar olmasıyla birlikte artmaya da devam etmektedir (El Fadel ve ark. 2012). 2005 yılındaki toplam antropojenik sera gazı emisyonu yaklaşık 49 milyar ton CO₂ eşdeğeri olup atık ve atık su sektörlerinin ortak emisyonu ise yaklaşık 1,5 milyar ton CO₂ eşdeğeridir (Niskanen ve ark. 2013). 2010 yılındaki sadece evsel katı atıklardan kaynaklanan küresel metan gazı emisyonu ise tahmini 760 milyon ton CO₂ eşdeğeridir (Johari ve ark. 2012).

Metan, karbondioksit gazına göre 21 kat daha fazla sera gazı potansiyeline sahiptir (Zhao ve ark. 2012). Aslında, 100 yıllık bir süreçteki küresel ısınma potansiyelindeki fark, metanın ($3,7 \times 10^{-4} \text{ W.m}^2.\text{ppb}^{-1}$) karbondioksite ($1,4 \times 10^{-5} \text{ W.m}^2.\text{ppb}^{-1}$) nazaran ısıma etkisinin daha yüksek olmasından kaynaklanır (El Fadel ve ark. 2012). Metan emisyonunun iklim değişikliğine neden olan payı, tüm uzun ömürlü sera gazlarının neden olduğu toplam ısımanın %18'idir. Atmosferde kalma süresi 12 ± 3 yıldır (Chakraborty ve ark. 2011). Ayrıca, metan küresel ısınmaya katkısının yanı sıra ozon tabakasında incelmeye de neden olur (Johari ve ark. 2012). Çünkü, metan kendi yaşam süresinde OH konsantrasyonunda değişim-troposferik ozonda değişim-stratosferik su buharı seviyesinde artış ve karbondioksit üretimine sebep oluş yoluyla artan bir dolaylı ısıma etkisine sahiptir. Eğer bu durum göz önüne alınırsa küresel ısınma potansiyeli 25 katın üzerine çıkabilir (El Fadel ve ark. 2012).

Metan gazı, düşük patlayıcılar sınıfına girmektedir (Salihoğlu 2000). Hacimce %5–15 oranlarındaki metan konsantrasyonlarında patlama tehlikesi mevcuttur. Eğer depolama alanı kum, çakıl veya kırık taşlardan oluşan orta-yüksek geçirgenliğe sahip bir katman üzerine inşa edildiyse, gaz yere paralel bir şekilde depolama sahası sınırlarının bir hayli dışına yayılabilir. Bu yüzden, depo gazından dolayı oluşan problemler sadece saha

içinde kalmamakta, saha sınırlarının ötesinde de meydana gelebilmektedir (Kiriş ve Saltabaş 2011). Metanın büyük bir kısmının atmosfere kaçmasına rağmen, depolama alanı sınırlarından 122 m kadar yatay mesafede %40'ın üzerinde metan ve karbondioksit konsantrasyonunun, 305 m mesafede ise %5'in üzerinde metan konsantrasyonunun bulunduğu bilinmektedir. Eğer metanın kontrolsüz bir şekilde yeraltında hareketine izin verilirse, özgül ağırlığının havadan daha az olması nedeniyle binaların alt katlarında veya depolama alanına yakın kapalı mekânlarda birikebilir (Tchobanoglous ve Kreith 2002). Düzenli depolama sahalarında oluşan depo gazı, sahadan uygun tekniklerle toplanıp değerlendirilmezse, patlayıcı ve yanıcı-parlayıcı özelliğinden dolayı insan ve çevre sağlığı açısından büyük risk taşır (Kiriş ve Saltabaş 2011). Literatürdeki patlama olayları, depolama sahası üstünde veya yakınlarındaki bina bodrumlarında gaz birikmesi sonucu meydana gelmiştir (Salihoğlu 2000). Bu nedenle, bu tür tehlikelere maruz özellikle bodrum gibi yeraltında bulunan mekânlar gibi yerleşim yerlerindeki kapalı alanlar mutlaka iyi bir havalandırmaya sahip olmalıdır (Kiriş ve Saltabaş 2011). Depo yüzeyine toprak örtüsü boyunca sızarak erişen metan gazının, bilinen tehlikeli karışma oranlarına varmasına rağmen ani bir tehlike doğurması söz konusu değildir. Patlama riski, ancak belirli haznelere biriktiğinde ve oksijen ile patlama oranına eriştiğinde meydana gelmektedir. Bu Oriskin ortadan kaldırılması için depolama sahalarında oluşan gaz, uygun tekniklerle toplanıp gaz yakma bacaları vasıtası ile yakılabilir. Dâhili gaz elde etme sisteminin görevi, depo alanında gaz oluştuğu anda başlayarak çıkarmak ve böylece bitişikteki arazilere kontrolsüz gaz girişini en aza indirerek enerji kazanımını en üst düzeye çıkartmaktır (Anonim 2010a).

Alt patlama sınırı altındaki metan yüzdelerinde patlama söz konusu olmamaktadır (Salihoğlu 2000). Hacimce %15'in üzerindeki konsantrasyonlarda ise metan gazı yanar ve dolayısıyla yangın tehlikesi oluşturur (Kiriş ve Saltabaş 2011). Depo yerinde gaz çıkışı sürekli olduğundan yüzeyde sürekli olarak yangınların olduğu bilinmektedir. Yüzeydeki oksijen varlığı, dışarıya doğru sürekli bir gaz akışı olması nedeniyle depo içine nüfuz edememektedir. Oksijenin iç kısımlara doğru ilerlememesi nedeniyle iç kısımlarda patlama veya yangın söz konusu olmamaktadır. Patlama veya yangının gerçekleşebilmesi için geniş yarıkların meydana gelmesi gerekmektedir (Salihoğlu 2000).

Evsel atık depolama alanlarından salınan depo gazları, depolama alanı çevresi için potansiyel bir koku kaynağıdır. Depolama alanındaki gazlar, havaya doğru yükselme eğilimindedir. Havaya yayılan gazlar, yüzeye yakın rüzgârlar aracılığıyla taşınırlar ve temiz hava ile seyrelirler. Bu arada da komşu bölgelere yayılırlar. Rüzgâr hızı ve yönü, hem kokunun ne kadar hissedileceği etkiler hem de problemin boyutunu günden güne değiştirir. Depolama alanına yakın yerleşim yerlerinde düşük rüzgâr şiddeti nedeniyle depo gazının az seyrelmesinden dolayı sabahları günün en kötü zamanı olabilir. Sabahları erken saatlerde yaşanan bu etki ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde genellikle en yüksek seviyede olur (Nwachukwu ve Diya 2013). Kokulu bileşikler ile uçucu organik bileşiklerin karışımıyla metan, bu nedenle emisyon kontrolüne ihtiyaç duyulur (Tchobanoglous ve Kreith 2002). Depo gazı içeriğindeki metan, düşük konsantrasyonlarda olduğu sürece kokusu dışında olumsuz bir etki göstermemektedir (Kiriş ve Saltabaş 2011).

2.3.8. Depo Gazı ve Sızıntı Suyu İlişkisi

Sızıntı suyunda da olduğu varsayılan temel ve iz depo gazlarının konsantrasyonları, sızıntı suyu ile temas eden depo gazı konsantrasyonuna bağlıdır (Tchobanoglous ve Kreith 2002, Akpınar 2006).

Atık ayrışmasındaki temel prosesler, depo gazı ve sızıntı suyu üzerinde oldukça etkilidir (Çallı 1999). Geri devir uygulaması, ilk sızıntı suyunun organik gücünü azaltan, depo alanının ömrünü uzatan ve depo gazı üretimini hızlandıran bir yöntemdir (Top ve ark. 2011). Geri devrettirilen sızıntı suyunun miktarı, maddelerin eriyebilirliğini ve mikrobiyal parçalanmayı etkiler, dolayısıyla da sızıntı suyunun kalitesi etkilenir. Düşük hızlı filtrasyonda, anaerobik mikrobiyolojik aktivite sızıntı suyundaki organik madde konsantrasyonunu azaltan önemli bir faktördür. Yüksek debili akımlarda ise, çözünebilir organik maddeler ve mikrobiyal hücreler yüksek debili sızıntı suyu ile dışarı sürüklenebilir. Bu gibi durumlarda, mikrobiyolojik aktivite, sızıntı suyundaki kirletici konsantrasyonlarının azalmasında etkili bir rol oynamaz (Anonim 2010a).

2.4. Depo Gazından Elektrik Enerjisi Elde Edilmesi

2.4.1. Mevcut Alternatifler

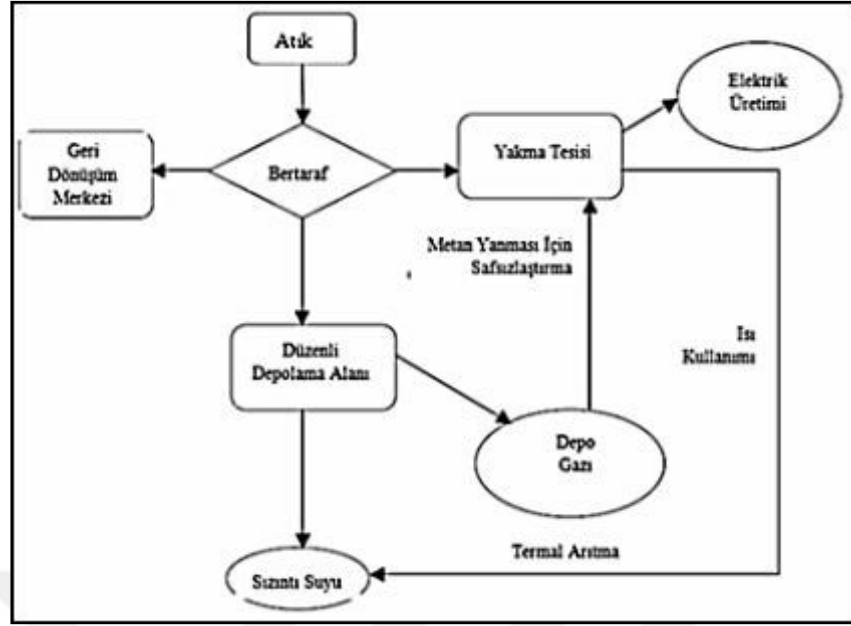
Depo gazının tipik kontrol mekanizması, geri kazanım sisteminin kurulması ve enerji elde edilmedi (Tchobanoglous ve Kreith 2002). Doğrudan ısıtma uygulamaları, ısı geri kazanımı, geri besleme, safsızlaştırarak boru hattına verme ve elektrik üretimi gibi birçok alternatif yöntem vardır (Zhao ve ark. 2012). Depo gazının enerji kaynağına dönüşümü, depolama alanındaki evsel katı atık yönetimine bağlıdır (Johari ve ark. 2012).

2.4.1.1. Depo Gazının Arıtılması

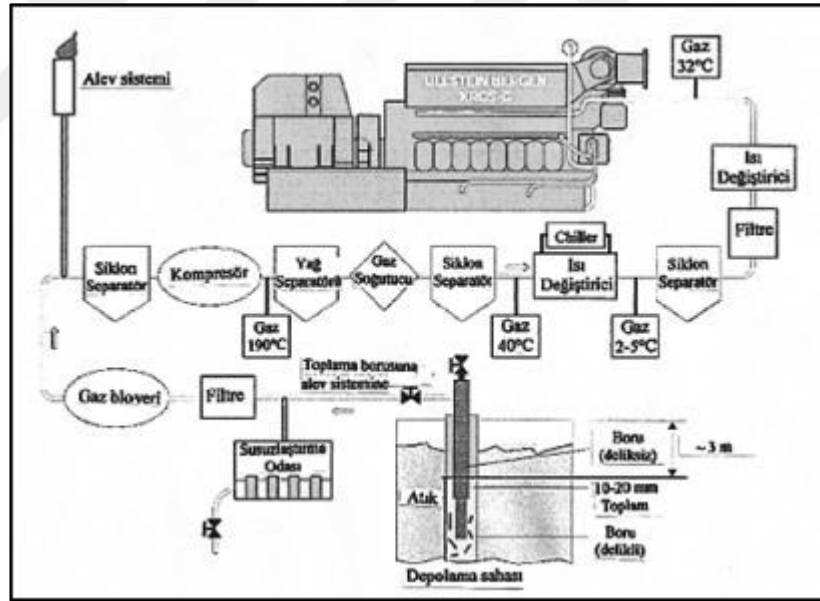
Geçmişte, depo gazından kaynaklanan koku problemi ve hava kalitesindeki bozulma toplumun ilgisini çekmiş ve bunun sonucu olarak kimyasal temizleme ile depo gazının arıtımı geliştirilmiştir (Tsai 2005). Son zamanlarda, depo gazının saflaştırılarak kullanılması ısı ve elektrik üretimine karşı bir alternatif olarak önerilmektedir.

Gaz arıtma alternatifleri, basit nem giderme işleminden doğal gaz hatlarına gaz vermek için yapılan komplike işlemlere kadar değişebilir. Depo gazı arıtma sistemi, yoğuşma, partikül giderimi, susuzlaştırma, karbondioksit giderimi, hidrojen sülfür ve azot giderimini içerir. Depo gazı suya doygunudur. Bu sebeple soğutularak ve yoğuşmuş suyu tutarak kurutmak gerekmektedir. Yoğuşma suları korozif özelliklere sahiptir. Susuzlaştırma ve toz partiküllerin giderimi için yapılan filtrasyondan sonra elde edilen ham depo gazı karbondioksit, eser bileşenler ve bazı hidrojen sülfürler gibi halojenli hidrokarbonlar ihtiva eder (Akpınar 2006).

Şekil 2. 7'de geri kazanılan depo gazının yakma tesisinde yanma tetikleyicisi olarak dönüştürüldüğü ve ısının sızıntı suyunun termal arıtmada kullanıldığı kavramsal arıtma sistemi verilmektedir (Zhao ve ark. 2012). Şekil 2. 8'de gaz motorlu elektrik üretim tesisinde gaz arıtımı görülmektedir.



Şekil 2. 7. Depo gazı arıtımı için kavramsal arıtma sistemi (Zhao ve ark. 2012)



Şekil 2. 8. Gaz motorlu elektrik üretim tesisinde gaz arıtımı (Akpınar 2006)

2.4.1.2. Depo Gazının Doğal Gaz Olarak Kullanımı

Depo gazından karbon dioksit, hidrojen sülfid, amonyak ve diğer iz gaz bileşiklerini gideren, gazın kalitesini yükselten ve ticari doğal gaza benzer bir gaz içeriğini sağlayan yükseltgenme prosesleri de depo gazının değerlendirilmesinde bir alternatiftir (Lombardi ve ark. 2011).

Depo gazındaki karbondioksit ve metan birbirinden ayrılabilir. Karbondioksitin metandan ayrılması fiziksel adsorpsiyon, kimyasal adsorpsiyon ve membran ayırma yöntemleriyle yapılır. Karbondioksit, sıvı içine gaz absorpsiyonu, katı üstüne kimyasal veya fiziksel adsorpsiyon, membranla ayırma ve biyolojik ayırma prosesleri kullanılarak hacimce %3'ün altında azaltılıp nemi giderilerek ve hidrojen sülfür muhtevası $3,5 \text{ mg/m}^3$ 'ün altına getirilerek doğal gaz kalitesine getirilebilir ve güvenlik için bazı koku verici bileşikler eklenir. Depo gazının bu şekilde kullanımı pahalıdır. Bu yöntemde en önemli husus doğalgaz boru şebekesine yakınlıktır. Bu uygulama Amerika'da çok büyük depolama alanlarıyla sınırlı olmak üzere kârlı bir uygulama olmuştur. Hollanda'da ise depo gazını arıtarak şehir gazının özelliklerini karşılamak daha kolaydır.

2.4.1.3. Depo Gazının Yakıt Olarak Kullanılması

Metan gazı taşıt yakıtı olarak kullanılabilir. Fakat bunun için bazı koşullar gereklidir. Öncelikle, depo gazı doğal gaz kalitesine yükseltilmelidir. Daha sonra, taşıtların doğal gazla çalışması için modifiye edilmesi gerekir. Son olarak taşıtlar için yakıt istasyonları olmalı ya da sabit bir noktadan bu hizmet verilmelidir (Akpınar 2006).

Bu çerçevede Avrupa Birliğince finansal olarak desteklenen bir projenin (LIFE05 EN/IT/000874 GHERL Depolama Alanlarında Sera Gazı Etkisinin Azaltılması) geliştirilmesi sürecinde, depo gazından karbon dioksitin yakalanması ve giderim prosesi analiz edilmiştir (Lombardi ve ark. 2011). Böyle bir işlemde, depo gazı arıtılarak doğal gaz olarak doğalgaz dağıtım şebekesine beslenebilir veya gazın direkt motorlarda kullanılması sureti ile araçlarda yakıt olarak kullanılabilir (Lombardi ve ark. 2011, Kiriş ve Saltabaş 2011).

Depo gazını yakıt olarak kullanan mevcut endüstriler, araba imalatı, kimyasal endüstrisi, gıda işleme, eczacılık, çimento ve tuğla imalatı, atık su arıtması, tüketici elektroniği ve ürünlerinin üretimi, kağıt ve çelik üretimidir (Erdoğan 2012).

2.4.1.4. Depo Gazının Petrokimya Sanayiinde Kullanımı

Petrokimya proseslerinde birçok kimyasalın üretilmesinde, depo gazının içeriğindeki metan gazından dolayı besleme stoğu olarak kullanılması teknik olarak mümkündür. Depo gazının bu son kullanım yönteminin kârlılığı ispatlanmıştır ve metanol üretimi en ekonomik olanıdır. Ayrıca CO_2 geri kazanılarak ticari bir ürün haline getirilebilir (Akpınar 2006).

2.4.1.5. Depo Gazının Yakılması

Tipik olarak depo gazı ya yakılır ya da elektrik enerjisi üretmek için kullanılır (Akpınar 2006). Depolama alanının kapatılmasından sonra depo gazından metan üretimi azalır ve kullanımı zorlaşır (Niskanen ve ark. 2013). Metan içeriği ekonomik değerinin altına düşmeye başladığında ise depo gazı yakılabilir (Tchobanoglous ve Kreith 2002).

Direkt yakma, depo gazının kullanımında en basit ve en ucuz yöntemdir. Depo gazı genellikle büyük endüstriyel kazanlarda veya tuğla fırınlarında, kireç veya çimento fırınlarında yakılır (Akpınar 2006). Depo gazını gaz yakma bacası ile yakma, en azından metanın karbon dioksit dönüşümünü sağlar ve bu uygulama potansiyel sera gazı emisyonlarını azaltır (Lombardi ve ark. 2011).

2.4.1.6. Depo Gazından Enerji Elde Edilmesi

1990lı yılların ortalarından itibaren küresel ısınma kaygılarının artmasıyla birlikte depo gazından elektrik üretimi ve diğer enerjilere dönüşümü geniş çapta kabul edilir olmuştur (Tsai 2005). Atık yönetimi sektöründe IPCC'ye (Intergovernmental Panel on Climate Change) göre depolama alanlarındaki metan gazının geri kazanımı, sera gazı emisyonu azaltımında bir anahtardır (Niskanen ve ark. 2013). Son senelerde, hava kalitesinin yükselmesi ve sera gazı emisyonlarının azalması nedeniyle depo gazının, elektrik enerjisi üretimi ve ısı geri kazanımı olarak kullanılması umut verici bir seçenektir (Tsai 2005).

Depo gazının en önemli özelliği, kalorifik değer olarak tanımlanan metan gazı içeriğinden dolayı enerji değeridir (Salomon ve Lora 2009, Akpınar 2006, Öztürk ve ark. 2010). Isı ve elektrik enerjisi üretiminde kullanılan gazlardan olan saf metanın (Akün 2012) standart sıcaklık ve basınçta alt ısı değeri 34300 kJ/m^3 'dir (Öztürk ve ark. 2010). Doğru olarak yönetilen depo gazının yakıt değeri ise 18000 ilâ 22000 kJ/m^3 arasındadır (Amini ve ark. 2012). Ortalama değer ise 20000 kJ/m^3 civarında gerçekleşir (Akpınar 2006). Depo gazının yakıt olarak kullanılabilmesi ve bundan da ısı ve elektrik enerjisi üretebilecek düzeyde olabilmesi için aşağıdaki hususların meydana gelmesi gerekir:

- Gaz için uygun bir kullanım alanı belirlenmelidir,
- Depolama alanı en azından 10 metre derinliğinde organik madde içermelidir,
- Hazırda büyük bir miktar (en azından 0,5 milyon ton) atığın olması gerekmektedir,
- Atık eski olmamalıdır (en iyi durum 2-10 yıl),
- Depolama sahası su ile doymuş olmamalıdır (Kiriş ve Saltabaş 2011).

Organik atıkların enerji amaçlı kullanılması için çeşitli dönüşüm yöntemleri kullanılmaktadır. Ön işlemden geçirilmiş atıkların elektrik, ısı ve ışık ihtiyacı olarak kullanılması durumunda uygulanan teknolojiler başlıca üç grupta toplanır. Bunlar:

- Termokimyasal dönüşüm,
- Fizikokimyasal dönüşüm,
- Biyokimyasal dönüşümdür (Yelmen ve ark. 2010).

Evsel atıklardan enerji eldesi, sadece yenilenebilir enerji uygulaması olmayıp aynı zamanda gazın doğrudan atmosfere karışmasının engellenerek doğal alıcı ortamlara getirecekleri kirlilik yüklerinin ortadan kaldırılması anlamına gelmektedir (Anonim 2010a). Bu anlamda yapılan gaz toplama, hem enerji kazanımını sağlar hem de fazladan fosil yakıt tüketimini indirgeyerek emisyon azaltımına katkıda bulunur ve doğanın korunmasına katkı sağlar (Tchobanoglous ve Kreith 2002, Kiriş ve Saltabaş 2011). Ayrıca, gaz geri kazanım sisteminin etkinliğini ölçmek için metan emisyonunun miktarının belirlenerek sayısallaştırılması güzel bir araçtır. (Di Bella ve ark. 2011).

2.4.2. Elektrik Enerjisi Elde Etme Mekanizması

Depo gazının içten yanmalı motorlarda yakıt olarak kullanılarak enerji elde edilmesi oldukça yaygındır ve en basit metottur (Akpınar 2006). Bir gazın motorda kullanılabilmesi için:

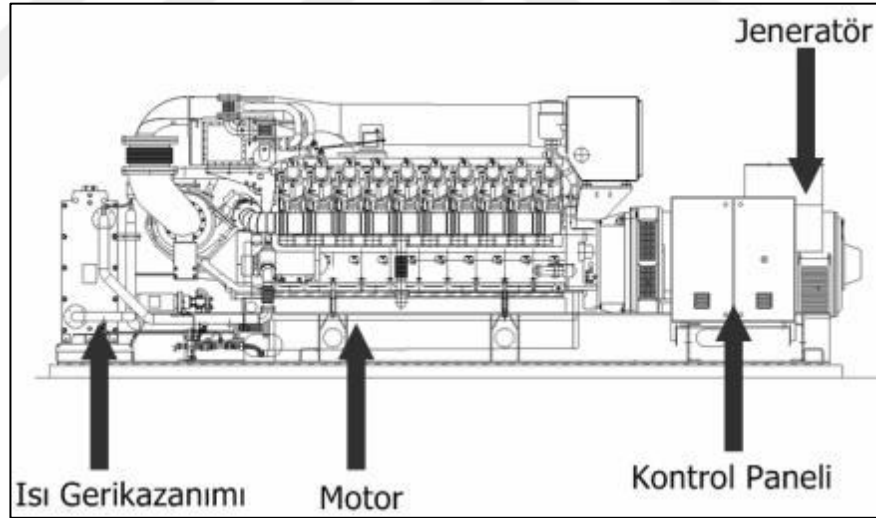
- Belli bir kalorifik değerinde olması,
- Vuruntuyu engelleyecek yükseklikte oktanı olması,
- Hidrojen sülfid gibi istenmeyen bileşenlerin tanımlanmış limitleri altında olması gerekmektedir (Anonim 2014e).

Elektrik üretimi,

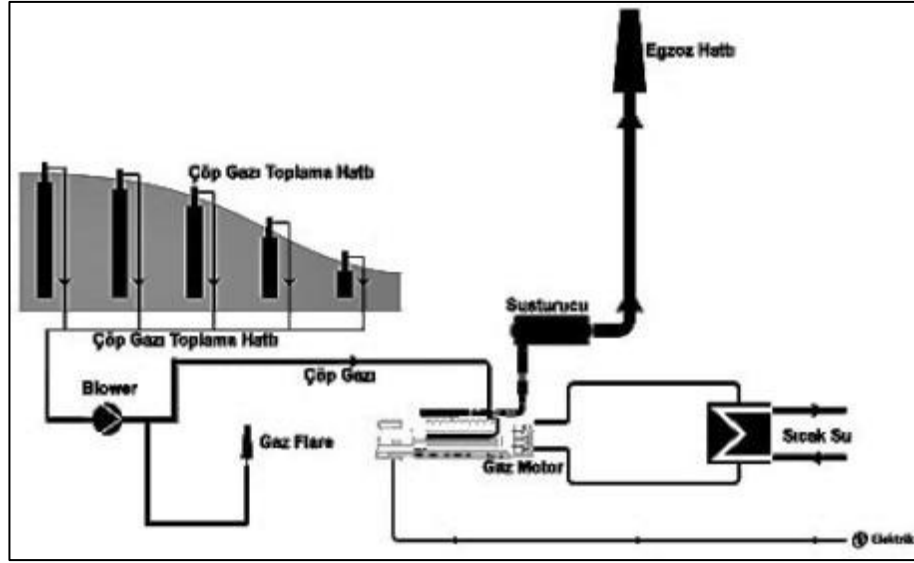
- Gaz motorları,
- Gaz türbinleri,
- Buhar türbinleri,
- Kojenerasyon,
- Yakıt hücreleri

kullanılarak gerçekleştirilebilir (Akpınar 2006).

Motorlar, içten yanmalı motorlar ve dıştan yanmalı motorlar (buhar makinaları) olmak üzere ikiye ayrılır (Anonim 2014c). İçten yanmalı ilk motor 1855’de Belçikalı Etienne LENOIR tarafından geliştirilmiş olup iki zamanlıdır. Nikalous August OTTO ise 1861’de Otto Çevrimi olarak anılan 4 zamanlı motoru bulmuştur. Daha sonra WAUKESHA 1920’lerin ortalarında metan motoru olarak anılan gaz motorunu geliştirmiştir. Tipik bir gaz motoru örneği ise Şekil 2. 9’da verilmiştir. Şekil 2. 10’da ise gaz motorunun depolama alanında kullanışı şematize edilmiştir.



Şekil 2. 9. Tipik bir gaz motoru (Anonim 2014g)



Şekil 2. 10. Gaz motorunun depolama alanında kullanışı (Anonim 2014g)

İçten yanmalı motorlar, yakıtın bünyesinde barındırdığı kimyasal enerjiyi kullanmak üzere yakıtı yakarak güce dönüştüren motorlardır (Anonim 2014e). Endüstride oldukça yaygın bir kullanım alanına sahip bu içten yanmalı motor tiplerinin çalışma prensibi her ne kadar motorun tipine göre değişse de temelde benzer çalışma sistemine sahiptir (Anonim 2014b). Buhar makinelerinden farklı olarak içten yanmalı bir motor bu 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. Bunların yanında hidrojen, propan, metan bu tür motorlarda yakıt olarak kullanılabilir. Sanayi tipi bir gaz motoru, benzinli motora çok benzer. Benzin motorunda olduğu gibi yakıt ve havanın karıştığı ve motora giriş miktarının ayarlandığı bir karbüratör vardır. Motor silindirine giren yakıt hava karışımı bujinin kıvılcımı ile yakılır. Buji için gerekli akım ise bir manyeto ve distribütör tarafından sağlanır (Anonim 2014e).

Depo gazından elektrik enerjisi elde edilmesinde genellikle modifiye edilmiş kıvılcım ateşlemeli içten yanmalı motorlar kullanılır. Bu motorlar, 400kW'dan 2MW'a kadar geniş üniteler ya da daha küçük portatif üniteler olabilir. Portatif olanlar depo gazı üretim profiline göre bir sahadan diğerine taşınabilir (Akpınar 2006).

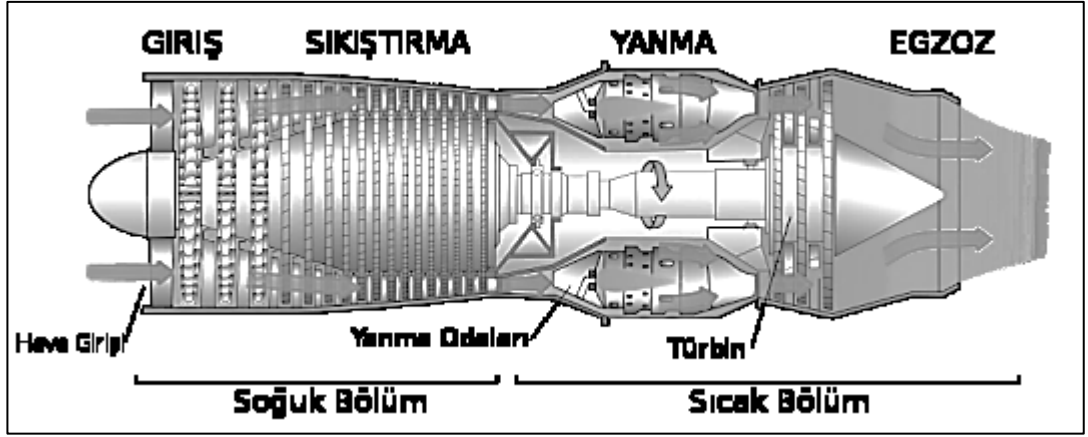
Depo gazı, gaz motorlarına verilmeden önce nemden arındırılmalı ve basınçlandırılmalıdır. Eğer depo gazı içinde siloksan gibi agresif kirleticiler varsa mutlaka bertaraf edilmelidir. Bu önlemler sadece jeneratörün kullanılabilirliğini önemli ölçüde artırmakla kalmayacak, bunlar aynı zamanda işletme ile ilgili maliyetleri de azaltacaktır (Anonim 2014g). Ayrıca, depo gazın doğal kuru yapısı nedeniyle herhangi bir yağlama özelliğine sahip olmadığından vanaların normalden daha dayanıklı olması gerekir ve ayrıca hidrojen sülfid nedeniyle bakır parçalar değiştirilmelidir (Akpınar 2006). İçten yanmalı motor ve mikro türbin üreticileri gazdaki hidrojen sülfid oranının motorlar için hacimsel olarak 10 ppm ve türbinler için 5000 ppm olması hususunda kısıtlama getirirler (Salomon ve Lora 2009).

Jet uçakları, helikopterler, büyük gemiler ve elektrik jeneratörleri gibi çok yüksek güç-ağırlık oranının olması gerektiği yerlerde içten yanmalı motorlar, gaz türbinleri şeklinde görülür (Anonim 2014b). Gaz türbini, dönen kompresörde havayı sıkıştıran, yanma odasında yakıt-hava karışımını yakarak yanmış gazların elde edilmesini ve bunların türbinde genişlemesini sağlayarak iş elde eden içten yanmalı bir makinedir (Anonim 2014f). Gaz türbinlerinin içten yanmalı motorlardan daha faydalı olabilmesi için daha fazla gaz debisi olmalıdır. Bu sebepten dolayı küçük ve orta ölçekli sahalarda gaz motoru, büyük sahalarda ise gaz türbini kullanılarak depo gazından ısı ve elektrik üretilmektedir (Akpınar 2006).

Gaz türbinleri:

- Kompresör
- Yanma odası
- Türbin

olmak üzere üç ana donanımdan oluşmaktadır. Türbin ve kompresör bir mille birleştirilmiş olup, türbin aynı zamanda kompresörü çalıştırır. Sıkıştırma ve genişleme basınçları oranları hemen hemen aynıdır. Türbine giren gaz yüksek sıcaklıktadır ve genişlemesi sonucu, sıkıştırma için gerekli olandan daha fazla iş ortaya çıkar. Bu fazlalık motorda kullanılır (Anonim 2014f). Tipik bir gaz türbinli motor Şekil 2. 11.'de verilmiştir.



Şekil 2. 11. Tipik bir gaz türbinli motor (Anonim 2014f)

Bir türbindeki yanma bir motordaki yanma ile aynı parametrelere bağlıdır. Bunlar: tutuşma limitleri, hava-yakıt oranı, yeterli türbülans, yeterli kalma zamanı ve ateşleme kaynağıdır.

Gaz türbinlerinde orta kalitede gaz kullanılır. 500 kW' dan 10 MW'a kadar boyutlarda bulunurlar. Başlıca avantajı, içten yanmalı motor ya da buhar türbininden daha az yer kaplaması olup diğer avantajı ise bakımların 10.000 saat ve onarımların 100.000 saat aralıklarla yapılmasıdır (Akpınar 2006). İçten yanmalı motora nazaran en önemli üstünlüğü ise türbindeki dönme hareketinin motor parçalarının daha yüksek hızla dönmesini sağlamasıdır. Bu sebepten verilen bir büyüklükten daha fazla güç elde edilir. Bunun yanı sıra buhar türbinlerine göre en önemli üstünlüğü ise daha küçük yanma odasına ve yüksek saflıktaki su yerine havaya ihtiyaç duymasıdır (Anonim 2014f).

Depo gazının buhar türbinlerinde yakıt olarak kullanımı en az kullanılan elektrik üretme metodudur. Genelde gaz debisinin 8-9MW'lık sistemleri desteklediği çok büyük depolama sahalarında uygulanabilir. Genelde paketlenmiş bir birim olan konvansiyonel gaz/sıvı yakıt boileri ve elektrik üreten buhar türbin jeneratörü içerir ve bu teknoloji genelde tam bir soğutma döngüsü, yeterli proses kaynağı ve soğutma suyunu gerektirir. Buhar türbin sistemleri, içten yanmalı motor ya da gaz türbinlerinden daha yüksek oranda maliyete sahiptirler (Akpınar 2006).

Enerji üretim santrallerinde ana ekipmanlardan olan buhar ve gaz türbinleri oldukça kompleks yapılardır. Bu devasa yapılar bir santralde megavatlar düzeyinde enerji üretme yeteneğine sahiptir (Anonim 2014f). Genel olarak gaz motorları veya türbinler

kullanılarak elektrik üretimi, gaz üretiminin m³/saati başına 1,3 ilâ 1,8 kWe olarak değişir (Erdoğan 2012). Toplam ağırlığının bir tonuna karşılık:

- Gaz türbini 70-140 kW,
- İçten yanmalı motorlarda 27 kW,
- Buhar türbini 10 kW elektrik üretir.

Kojenerasyon, genellikle tek çeşit yakıt kullanılarak ısı ve elektrik üretiminin aynı tesiste gerçekleştirildiği ve atık ısıdan/buhardan yeniden yararlanmayı hedefleyen sistemlere verilen genel bir isim olup depo gazı kullanılan kojenerasyon tesisleri yapmak mümkündür. Dünyada yaygın olarak kullanılan uygulamalardan biridir.

Yakıt hücreleri, depo gazındaki hidrojeni ve havadaki oksijeni bir elektrokimyasal reaksiyonda birleştirerek enerji oluşturur. Güç üretimi için uygun üç tip yakıt hücresi vardır: fosforik asit yakıt hücreleri, molten karbonat yakıt hücreleri ve katı oksit yakıt hücreleri. Depo gazıyla çalışan yakıt hücreleri, modülerite, sessiz işletim, düşük çevresel etki nedeniyle elektrik üretiminde yüksek verim gösterirler. Bunlara ek olarak yakıt hücrelerinin işletme ve bakım maliyetleri de düşüktür. Bu sebeplerden dolayı gelecekte depo gazından elektrik elde etmek için ideal bir teknoloji olabilir. Ancak günümüzde ekonomik ve teknik dezavantajları nedeniyle geleneksel uygulamalarla rekabet etmesi oldukça zordur. Yakıt kaynakları olarak hidrojen gazı veya yeniden formlandırılmış metanol kullanan fosforik asit yakıt hücreleri (PAFC) depo gazı uygulamasının ticarileştirilmesine en yakın olanıdır (Akpınar 2006).

2.4.3. Türkiye’de Depo Gazından Enerji Eldesi

2.4.3.1. Genel Durum

Ülkemizde enerji profili gözden geçirildiğinde yenilenebilir enerji kaynaklarının yeri ve önemi açıkça görülmektedir. Türkiye’de linyit, taşkömürü, asfaltit, bitümlü şistler, ham petrol, doğalgaz, uranyum ve toryum gibi fosil kaynak rezervleri ile hidrolik enerji, jeotermal enerji, güneş enerjisi, rüzgar enerjisi ve biyokütle enerjisi gibi yenilenebilir kaynak potansiyelleri bulunmaktadır (Yelmen ve ark. 2010). Ancak, henüz bu kaynaklar mevcut potansiyelin çok altında değerlendirilmektedir.

2007 yılı itibarıyla petrol ve doğalgaz gibi kritik öneme sahip kaynaklarda dışa bağımlılığımız %90'ların üzerindedir. Elektrik enerjisi üretiminde yenilenebilir enerjinin payı 2006 yılında %26 mertebesinde olmuş ancak 2007 yılında %19 mertebesine gerilemiştir (Anonim 2014a).

Gelecek yıllarda fosil yakıtlar azaldıkça enerji kıtlığı, enerji fiyatlarında belirgin artış ve enerji güvensizliği ile yüz yüze kalınacaktır. Bu sebeplerle, yenilenebilir enerji kaynaklarının ve teknolojilerinin geliştirilmesi, Türkiye'nin sürdürülebilir ekonomik gelişimi için oldukça önem kazanmaktadır.

Ülkemiz için, çevreye zararlı olan ve ülkemizi dışa bağımlı hale getiren bu yakıtların kullanımını azaltmaya yardımcı olacak yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaştırılması hem ekonomik hem de çevresel açıdan oldukça önemlidir (Yelmen ve ark. 2010). Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir potansiyele sahip olan katı atıkların, şebekeyle bağlantılı çalışan katı atık termik santralleri aracılığıyla biyoelektrik üretimi için değerlendirilebileceği de göz ardı edilmemelidir. Katı atıkların düzenli depolandığı belediye sayısı sınırlı olsa da bazı belediyeler depolama alanlarında açığa çıkan metan gazından elektrik üretmektedir (Anonim 2014a).

Ayrıca, 2023¹ yılına kadar ise elektrik enerjisi üretiminde yenilenebilir enerjinin payı payın en az %30 düzeyine çıkarılması hedeflenmiştir (Demir 2012).

2.4.3.2. İlgili Mevzuat

Ülkemizde son yıllarda çevre konusu, tüm karar mekanizmalarında vazgeçilmez bir parametre olarak yerini almaya başlamıştır (Anonim 2014a). Sürdürülebilir çevre ve sürdürülebilir kalkınma ilkeleri doğrultusunda çevrenin korunması, iyileştirilmesi ve çevre kirliliğinin önlenmesine yönelik ilk çalışmalar Çevre Kanunu² ile başlamıştır (Oyman ve ark. 2010). Çevre Kanunu ile “...bütün canlıların ortak varlığı olan çevrenin, sürdürülebilir çevre ve sürdürülebilir kalkınma ilkeleri doğrultusunda korunmasını sağlamak...” amaçlanmıştır. Kanunla, kirliliğin kaynağında önlenmesi

¹ 18.05.2009 tarihli Elektrik Enerjisi Piyasası ve arz Güvenliği Strateji Belgesi

² Kanun Numarası: 2872, Yayımlandığı Resmi Gazete: 11.08.1983/18132

kavramı ön planda tutulmakta, üretim ve tüketim kaynaklı atıkların minimuma indirilmesi, faaliyetlerde iyi teknik ve teknolojilerin kullanılması, enerjinin verimli kullanılması, izleme-denetim sisteminin etkin uygulanması ve kirleten öder prensibi ve önceden önlem alma yaklaşımı gibi temel prensiplerin politika ve uygulamalarımıza yansıtılması hedeflenmektedir (Anonim 2014a).

Çevre ve Orman Bakanlığının stratejileri arasında organik atıklardan yenilenebilir enerji geri kazanımı sektörünün dünya ile rekabet edebilir düzeyde geliştirilmesi ve atıkların yol açtığı çevre sorunlarının akılcı ve çevre dostu yöntemlerle çözüme kavuşturulabilmesi yer almaktadır. 2005 yılında hazırlanan Yüksek Maliyetli Çevre Yatırımlarının Planlanması (EHCIP) için Teknik Yardım Projesinde atık yönetimi sektörünün mevcut durumunu açıklamakta, gerekli teknik önlemlerin uygulanışını belirlemekte, teknik eksiklikleri tanımlamakta maliyet değerlendirmesi yapmakta ve eksiklikleri gidermek için olası finansman kaynaklarını belirtmektedir. Bu kapsamda 2023 yılına kadar atık oluşumu projeksiyonu ve düzenli depolama sahalarında depolanacak atığın biyolojik olarak parçalanabilir kısmının azalma hedeflerini de bildirmektedir. Hedefler arasında öncelikli olarak büyükşehirlerde olmak üzere biyobozunur atıkların azaltımı için biyometanizasyon prosesinin 2008-2009 yıllarında uygulamaya başlaması öngörülmüştür.

Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik³ ile düzenli depolanacak biyolojik olarak ayrışabilir atıkların azaltılması hedefleri yönetmeliğe işlenmiştir. “*Yönetmeliğin yürürlüğe girmesinden itibaren 5 yıl içerisinde depolanacak olan biyobozunur atık miktarı, 2005 yılında üretilen toplam biyobozunur atık miktarının ağırlıkça %75’ine, 8 yıl içinde % 50’sine ve 15 yıl içinde ise % 35’ine indirilir*” hükmü çerçevesinde biyobozunur atık azaltım hedefleri belirlenmiştir. Aynı maddede hazırlanacak olan stratejinin geri kazanım, kompost, biyogaz üretimi gibi yöntemleri de içereceği belirtilerek direktif ile uyumlaştırılan yönetmelikte biyobozunur atık azaltımı çalışmalarının başlatılacağı vurgulanmıştır (Erdem ve ark. 2010).

Atık Yönetimi Yönetmeliği⁴ ile “*atıkların oluşumundan bertarafına kadar çevre ve insan sağlığına zarar vermeden yönetiminin sağlanması ile atık oluşumunun azaltılması,*

³ Yayımlandığı Resmi Gazete: 26.03.2010/27533

⁴ Yayımlandığı Resmi Gazete: 02.04.2015/29314

atıkların yeniden kullanımı, geri dönüşümü, geri kazanımı gibi yollar ile doğal kaynak kullanımının azaltılması ve atık yönetiminin sağlanması” amaçlanmıştır.

2007-2023 yıllarını kapsayan AB Entegre Çevre Uyum Stratejisince (UÇES) enerji sektörü dâhil olmak üzere çevre politikalarının ekonomik ve sosyal politikalara entegrasyonunun sağlanması, çevre korumaya ilişkin ekonomik araçlardan yararlanılması ve gerekli teşviklerin sağlanması hedeflenmektedir (Anonim 2014a).

Enerji mevzuatına⁵ göre ise yenilenebilir enerji kaynakları “*hidrolik, rüzgâr, güneş, jeotermal, biyokütle, biyokütleden elde edilen gaz (çöp gazı dâhil), dalga, akıntı enerjisi ve gel-git gibi fosil olmayan enerji kaynakları*”, biyokütle “*organik atıkların yanı sıra bitkisel yağ atıkları, tarımsal hasat artıkları dâhil olmak üzere, tarım ve orman ürünlerinden ve bu ürünlerin işlenmesi sonucu ortaya çıkan yan ürünlerden elde edilen kaynakları*” ve çöp gazı “*çöp dâhil diğer atıklardan enerji elde edilmesi amacıyla üretilen gazı*”nı ifade eder. (Demir 2012).

Enerji sektörü, sera gazları açısından önemli bir sektör olmasının yanı sıra iklim değişikliğinin sonuçlarından da etkilenecek sektörlerden biridir. İklim değişikliğinde çok büyük etkisi olmayan ülkemiz imzaladığı Kyoto Protokolünde ülkelerin emisyon azaltım ve finansman taahhütlerinin bulunduğu Ek-B listesinde yer almamasına rağmen Sözleşme kapsamındaki yükümlülüklerini yerine getirmektedir. Bunun yanı sıra ülkemiz 1992 yılında Birleşmiş Milletler İklim Çerçeve Sözleşmesi’nin (BMİDÇS) gelişmiş ülkelerle birlikte hem EK-I hem de EK-II listelerinde⁶ yer alarak yıllık Ulusal Sera Gazları Envanteri ve Raporunu da hazırlamaktadır (Anonim 2014a).

⁵ Yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili üzere hukuki düzenlemeler aşağıda sıralanmıştır:

- 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun (YEK) (2005/2010 revize),
- 4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu (2001),
- 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu (2007),
- Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği (2002),
- Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Belgelendirilmesi ve Desteklenmesine İlişkin Yönetmelik (2011),
- Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik/Tebliğ (2011/2012),
- Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Elektrik Enerjisi Üreten Tesislerde Kullanılan Aksamın Yurt İçinde İmalatı Hakkında Yönetmelik (2011/2012 revize)

⁶ Ülkemiz, Sözleşme kapsamında gelişmekte olan bir ülke olmasına rağmen yanlış konumda bulunmasından dolayı, Sözleşme’yi ve Protokol’ünü onaylayamamıştır.

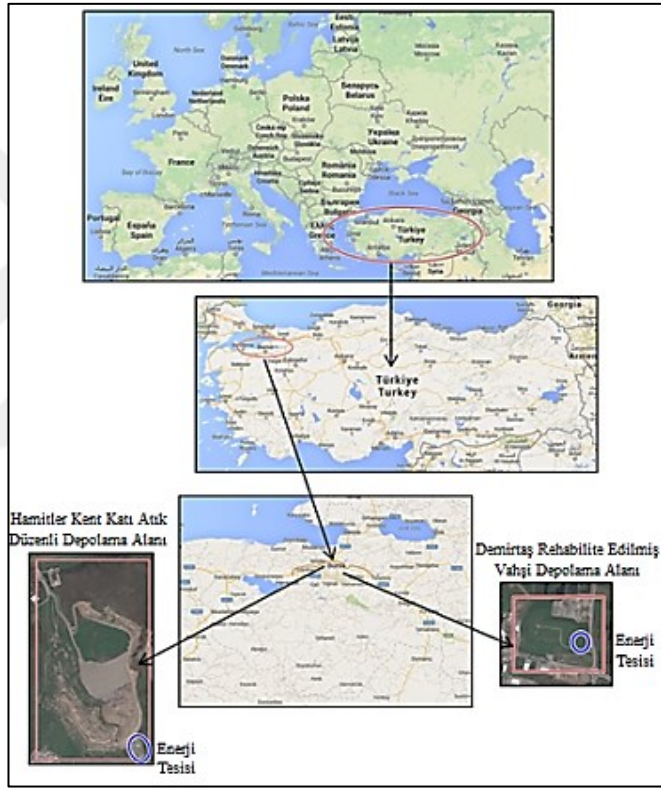
Yenilebilir enerjiyi destekleyen enerji stratejileri ve politikalarında, çeşitli çevresel, finansal ve ekonomik teşvikler olmak zorundadır (Tsai 2005). Depo gazının toplanma verimliliğini artırmak için karbon ticareti ve yenilenebilir enerji kredilerini içeren ekonomik ve yasal teşvikler ile yenilenebilir enerji üretimindeki vergi indirimleri işleticilerin ilgisini çekmektedir (Amini ve ark. 2012). Ülkemizdeki yenilenebilir enerji kaynaklarına ilişkin teşvik mekanizmaları sabit fiyat garantisi, prim garantisi (premium), kotaya dayalı yeşil sertifika, yatırım teşvikleri, vergi muafiyetleri ve indirimlerdir (Demir 2012).



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Çalışma Alanı

Çalışma, Bursa ilinde Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanı içerisinde kurulu Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisi üzerine hazırlanmıştır. Ayrıca, ilde geçmiş dönemlerde hizmet veren Demirtaş Rehabilite Edilmiş Vahşi Depolama Alanı içerisinde kurulu Metan Gazından Enerji Üretim Tesisi elektrik enerjisi verileri de incelenmiştir. Çalışma alanının uydu görüntüleri Şekil 3. 1’de verilmiştir.



Şekil 3. 1. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisi ve Demirtaş Metan Gazından Enerji Üretim Tesisi

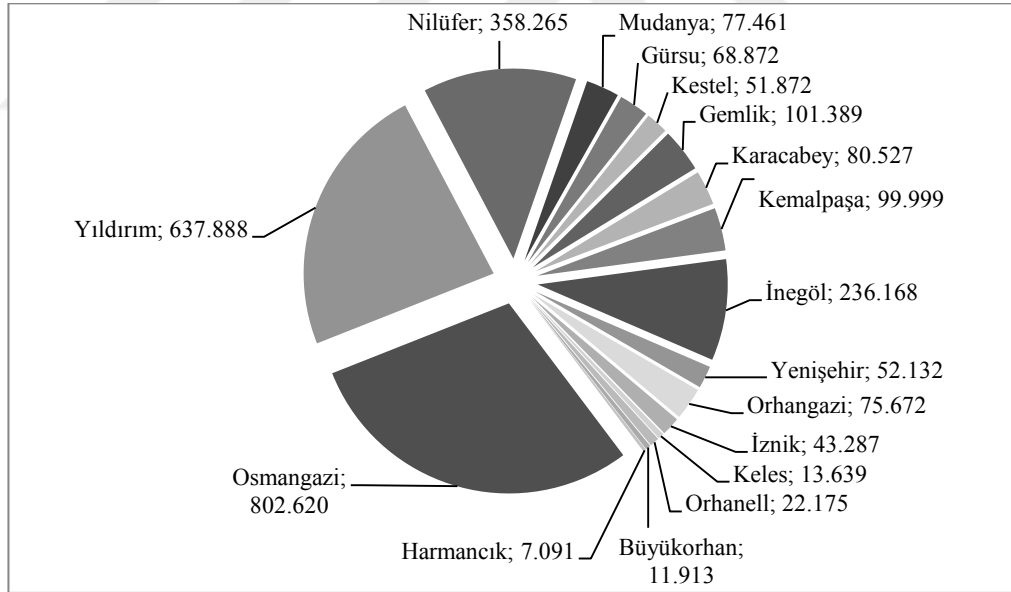
Bursa ili, 40° boylam ve 28-30° enlem daireleri arasında Marmara Denizi'nin güneydoğusunda yer almaktadır. Denizden yüksekliği 155 m. olan Bursa'da kuzeyde Marmara Denizinin yumuşak ve ılık iklimine karşılık güneyde Uludağ'ın sert iklimi ile karşılaşmaktadır. İlin en sıcak ayları Temmuz - Eylül, en soğuk ayları ise Şubat-Mart'tır. 52 yıllık gözlem süresi itibarı ile yıllık ortalama yağış miktarı 706 mm.dir. İlde ortalama nispi nem %69 civarındadır.

Bursa, ülke ekonomisine sağladığı katma değer açısından 4. sırada yer almaktadır. Türkiye İstatistik Kurumu 2003 yılı verilerine göre Bursa’da istihdam, %45,4 sanayi, %45,2 hizmet, % 5,1 tarım ve %4,4 inşaat sektöründe yer almaktadır.

İlin yönetsel tarihçesine ait kronoloji aşağıda verilmiştir:

- 1877 yılında Bursa Belediyesi kurulmuştur.
- 1987 yılında Büyükşehir Belediyesi statüsüne geçilmiştir.
- 2004 yılında görev, yetki ve sorumluluk alanı⁷ genişletilmiştir (Anonim 2010b).
- 2014⁸ yılında mülki sınırlar Büyükşehir Belediyesi sınırları olarak belirlenmiştir.

Bursa İli, 2012 yılı Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi sonuçlarına göre il ve ilçe nüfusu 2.402.012 kişi, belde ve köy nüfusu 286.159 kişi olmak üzere toplam 2.688.171 kişi ve büyükşehir belediyesi sınırlarında ise 1.983.880 kişi ile Türkiye’nin 4. büyük kentidir (Anonim 2010c). 2014 yılında il nüfusu 2.740.970 kişiye ulaşmıştır. Şekil 3. 2’de Bursa ilinin ilçelere göre nüfus dağılımı verilmektedir.



Şekil 3. 2. Bursa ili nüfus dağılımı

⁷ Osmangazi, Yıldırım, Nilüfer merkez ilçelerine Kestel, Gürsu, Gemlik ve Mudanya İlçeleri dâhil olmuştur.

⁸ 06.12.2012 tarih ve 28489 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan 6360 sayılı Kanun.

3.2. Veri Toplama Süreci

2012 yılının Ocak ayı itibariyle Literatür çalışmasıyla birlikte depolama alanlarında katı atık yönetiminin nasıl yapıldığı, katı atıkların organik ayrışması neticesinde nasıl gaz oluştuğu, gaz oluşumunun nasıl hesaplanacağı, gazın değerlendirilmesinin neden bir zorunluluk olduğu, gazın nasıl değerlendirilmesi gerektiği, oluşan gazın ne tür sistemlerle toplanması gerektiği ve enerjinin nasıl elde edildiği sorularına cevap aranarak literatür çalışmasına başlanmıştır. Bu süreç içerisinde çalışma alanına ilişkin arşiv kayıtları, teknik çizimler, haritalar, fotoğraflar ve teknik veriler Bursa Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Kontrol Dairesi Başkanlığı, Uludağ Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü ve yüklenici firma aracılığıyla tedarik edilmiştir.

Literatür çalışmasını müteakip Temmuz 2012 ile Ağustos 2014 dönemini kapsayan: Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanına ait günlük depolanan katı atık miktarı, Hamitler sızıntı suyu Arıtma Tesisi girişi haftalık sızıntı suyu debisi, BOİ, KOİ, pH ve ağır metal laboratuvar ölçümlerine ilişkin değerler, Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisine ait günlük toplanan depo gazı ve bileşenlerinin debisi, yüzdesi ve dış hava sıcaklığı, günlük üretilen elektrik enerjisi miktarı ile 1998-2008 yıllarını kapsayan Demirtaş Metan Gazından Enerji Üretim Tesisine ait aylık üretilen elektrik enerjisi miktarı üzerinde teknik çalışma yapılmıştır.

3.3. Veri Değerlendirme Süreci

İstatistiksel analiz amacıyla saha verilerine SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) programının PASW İstatistik 18.0.0. versiyonu aracılığıyla aşağıdaki testler uygulanmıştır:

- Normalite Testi⁹
- Pearson/Spearman Rho Korelasyonu ve Regresyon Analizi
- Mann Whitney U Testi
- Kruskal Wallis Testi

⁹ Analiz sonucunda sıcaklık verileri hariç diğer verilerin normal dağılım göstermediği görülmüştür.

Vadiler atık kabulü/gaz oluşumuna göre aşağıda belirtildiği şekilde sınıflandırılmıştır:

- 1,00 no.lu durum : Ana Vadi (Açık)
- 2,00 no.lu durum : Ana Vadi (Kapalı)
- 3,00 no.lu durum : Ana Vadi (Kapalı) + Z Vadisi

1,00 no.lu durumda; ana vadi atık kabulüne açıktır, kapanana kadar düzenli olarak atık depolanmasına devam edilmektedir ve nispeten eski ve yeni katı atık katmanları arasında sürekli gaz oluşumu görülmektedir. Gazın düzenli olarak toplanıp enerji üretim tesisine gönderilmeye başlandığı 01.07.2012 tarihi ile atık kabulüne kapatıldığı 30.06.2013 tarihi arasındaki dönemi anlatır.

2,00 no.lu durumda; ana vadi kapatılmıştır ve atıklar yeni oluşturulan Z vadisinde depolanmaktadır. Gövde içinde oluşan gaz ise eski atıklara aittir. Z Vadisinde atık depolanmasına başlamasına rağmen henüz gaz oluşumu görülmediğinden dolayı gaz verileri tamamen ana vadiye aittir. 01.07.2013 tarihi ile 28.02.2014 tarihi arasındaki dönemi anlatır.

3,00 no.lu dönemde; Z Vadisinde depolanan atıktan gaz oluşumu başlamıştır ve sisteme ortak ana hat üzerinden dâhil edilmektedir. Böylelikle ana vadide oluşan gaz debisi ile Z vadisinde oluşan gaz debisi birlikte değerlendirilmektedir. 01.03.2014 tarihi ile çalışma kapsamında 31.08.2014 tarihi arasındaki dönemi anlatır.

Vadilerin 1,00-2,00-3,00 no.lu durumlarına ait:

- Dağılım ve frekans; Analyze>Descriptive İstatistiks>Frequencies menüsüne göre değerlendirilmiştir. Normalite Testi; Analyze>Descriptive İstatistiks>Explore menüsüne göre ve Normal Dağılım Eğrili Histogram Grafiği; Graphs>Legacy Diologs>Histogram menüsüne göre yapılmıştır.
- Serpilme Grafiği; Graphs>Legacy>Diologs>Scatter/Dot menüsüne göre hazırlanmıştır. Korelasyon analizi; Analyze>Correlate>Bivariate menüsüne göre değerlendirilmiştir. Regresyon analizi; Analyze>Regression>Linear menüsüne göre değerlendirilmiştir.

Gaz oluşumu ve elektrik üretiminin mevsimlere göre değerlendirilmesi aşağıda verilen sınıflara göre yapılmıştır:

- 1,00 no.lu mevsim : Yaz'2012 (Temmuz, Ağustos)
- 2,00 no.lu mevsim : Sonbahar'2012 (Eylül, Ekim, Kasım)
- 3,00 no.lu mevsim : Kış'2013 (Aralık, Ocak, Şubat)
- 4,00 no.lu mevsim : İlkbahar'2013 (Mart, Nisan, Mayıs)
- 5,00 no.lu mevsim : Yaz'2013 (Haziran, Temmuz, Ağustos)
- 6,00 no.lu mevsim : Sonbahar'2013 (Eylül, Ekim, Kasım)
- 7,00 no.lu mevsim : Kış'2014 (Aralık, Ocak, Şubat)
- 8,00 no.lu mevsim : İlkbahar'2014 (Mart, Nisan, Mayıs)
- 9,00 no.lu mevsim : Yaz'2014 (Haziran, Temmuz, Ağustos)

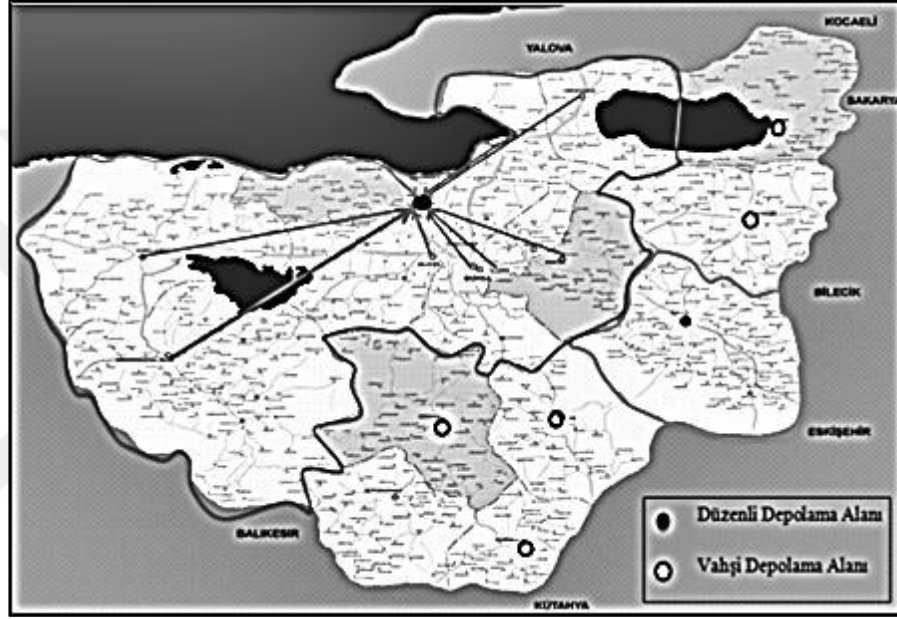
Mevsimlerin 1,00-2,00-3,00-4,00-5,00-6,00-7,00-8,00 no.lu durumlarına ait aşağıda belirtilen analizler yapılmıştır:

- Mann Whitney U Analizi; Analyze>Nonparametric Tests>Legacy Dialogs>2 Independent Samples menüsüne göre değerlendirilmiştir.
- Kruskal Wallis Testi; Analyze>Nonparametric Tests>Legacy Dialogs>K Independent Samples menüsüne göre değerlendirilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

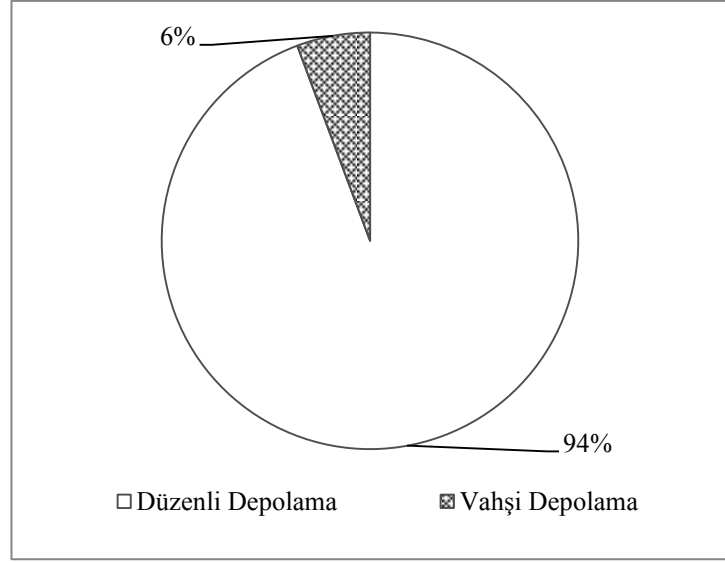
4.1. Bursa'da Katı Atık Yönetimi

Bursa ilinde katı atıklar Bursa Büyükşehir Belediyesine ait Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanı veya İnegöl Belediyesine ait Katı Atık Düzenli Depolama Sahası'nda düzenli depolanmaktadır. Şekil 4. 1'de il genelindeki düzenli depolama ve vahşi depolama alanlarının yerleri verilmektedir.

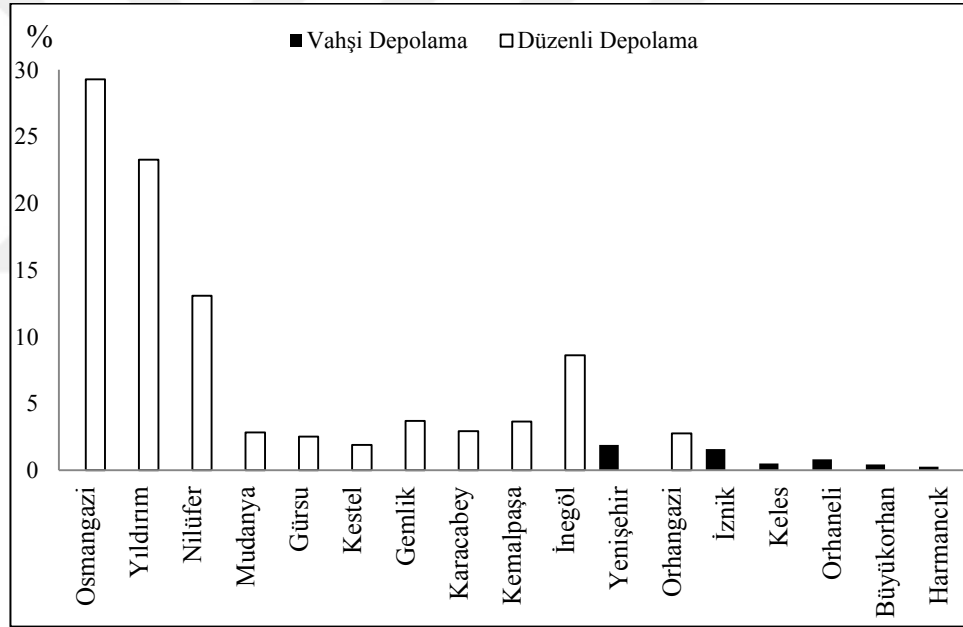


Şekil 4. 1. Bursa ili genelindeki depolama alanlarının yerleri

İl genelinde, 2.740.970 kişilik nüfusa sahip 17 ilçede günlük yaklaşık 2.245 ton (atık projeksiyonu: $A=0,85 \text{ kg/kişi.gün} \cdot N/1000=2.330 \text{ ton}$) evsel katı atık oluşmaktadır. %94,52'lik kısmını oluşturan 2.590.733 kişilik nüfusa sahip 11 ilçede günlük yaklaşık 2.118 ton evsel katı atık Bursa Büyükşehir Belediyesine ait Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanı ile İnegöl Belediyesine Katı Atık Düzenli Depolama Sahası'nda düzenli olarak depolanmaktadır. Geriye kalan %5,48'lik kısmı oluşturan 150.327 kişilik nüfusa sahip 6 ilçede günlük yaklaşık 127,7 ton evsel katı atık ise vahşi depolama ile bertaraf edilmektedir. Şekil 4. 2'de evsel katı atık miktarlarına göre düzenli depolama ve vahşi depolama alanlarının oranları ve Şekil 4. 3'te ise bu oranların ilçelere göre dağılımı verilmiştir.



Şekil 4. 2. Bursa ili genelindeki depolama alanlarının oranı



Şekil 4. 3. Bursa ili genelindeki depolama alanları oranlarının ilçelere dağılımı

Ayrıca mevcut düzenli depolama alanlarına ilave olarak Bursa büyükşehir Belediyesine ait ihale aşamasında olan dört katı atık aktarma istasyonunun kurulması planlanmaktadır.

Aktarma istasyonlarının hizmet edecekleri bölgeler aşağıda verilmiştir:

1. Kuzey Bölgesi: Çalışmalar devam etmektedir.
2. Güney Bölgesi: Orhaneli-Keles-Harmancık-Büyükorhan ilçeleri
3. Doğu Bölgesi: Kestel-Gürsu-Yıldırım ilçelerinin bir bölümü
4. Batı Bölgesi: M.Kemalpaşa-Karacabey ilçeleri

4.2. Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanı

Bursa Büyükşehir Belediyesi sınırlarında yerleşim yerlerinden kaynaklanan evsel katı atıklar ile sanayiden kaynaklanan tehlikeli olmayan endüstriyel katı atıklar 1995 yılının Ağustos ayından itibaren Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanında gömülerek bertaraf edilmektedir. Alan, Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik¹⁰ Ek-IV/20 hükümlerine göre “*tehlikesiz olarak sınıflandırılan ve evlerden kaynaklanan ya da içerik veya yapısal olarak benzer olan atıklar*” olarak 2. sınıf depolama alanı özelliğine sahiptir.

Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanının inşaatı, Büyükşehir Belediyesi Kanunu¹¹ hükümleri¹² gereği Bursa Büyükşehir Belediyesince yapılmıştır. Alanın işletimi, Kamu İhale Kanunu¹³ çerçevesinde gerçekleştirilen ihaleler ile şartname dokümanında tariflendiği şekilde özel sektörce yapılmaktadır. İşin kontrollüğü ise Çevre Koruma ve Kontrol Dairesi tarafından sağlanmaktadır. Atıkların toplanması ve taşınması ise ilçe belediyelerince gerçekleştirilmektedir.

1989 yılında düzenli depolama sistemi çalışmalarına başlamıştır. 1991 yılında hazırlanan Ön Fizibilite Raporu ile Dünya Bankasından 350.000 USD’lik proje hazırlık kredisi alınmıştır. Aynı zamanda, Japon Hükümeti’nden alınan 202.500.000 milyon JPY’lik hibenin de 350.000 USD’lik kısmı Katı Atık Projesi’ne ayrılmıştır. 1992 yılında proje hazırlık kredisi ve hibe ile Evsel ve Endüstriyel Katı Atık Fizibilite Etüdü¹⁴ hazırlanmış ve Çevre Bakanlığı tarafından da onaylanmıştır. Fizibilite Etüdü kapsamında Demirtaş Vahşi Depolama Alanı’nın rehabilitasyonu ve Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanı’nın için gerekli alet ve ekipman alımı yapılmıştır.

¹⁰ Yayımlandığı Resmi Gazete: 05.07.2008/26927

¹¹ Kanun Numarası: 5216, Yayımlandığı Resmi Gazete: 23.07.2004/25531

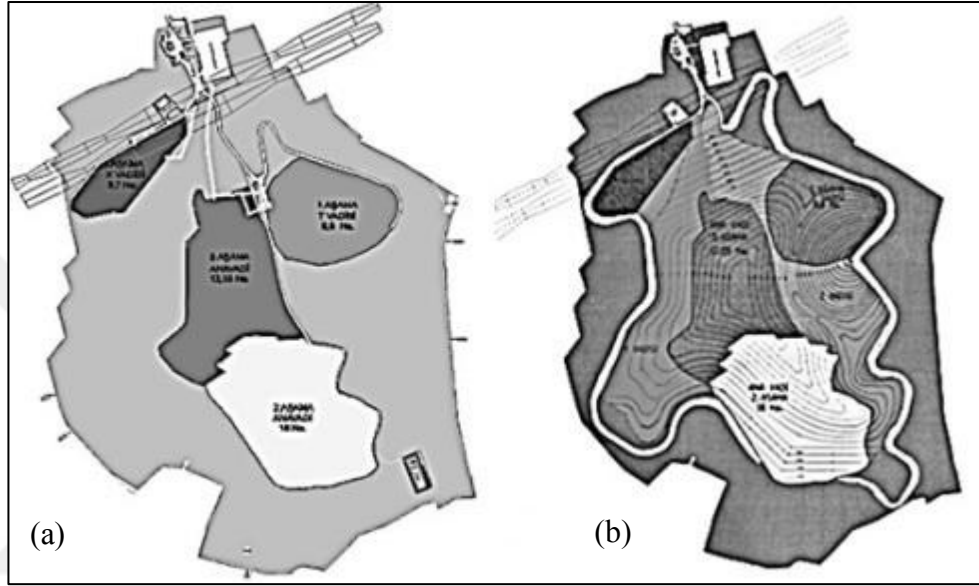
¹² 7. Madde (i) bendi “...büyükşehir katı atık yönetim plânını yapmak, yaptırmak, katı atıkların kaynaktan toplanması ve aktarma istasyonuna kadar taşınması hariç katı atıkların ve hafriyatın yeniden değerlendirilmesi, depolanması ve bertaraf edilmesine ilişkin hizmetleri yerine getirmek, bu amaçla tesisler kurmak, kurdurmak, işletmek veya işlettirmek, sanayi ve tıbbî atıklara ilişkin hizmetleri yürütmek, bunun için gerekli tesisleri kurmak, kurdurmak, işletmek veya işlettirmek...”,

(b) bendi “Büyükşehir katı atık yönetim plânına uygun olarak, katı atıkları toplamak ve aktarma istasyonuna taşımak”

¹³ Kanun Numarası: 4534, Yayımlandığı Resmi Gazete: 22.01.2002/24648

¹⁴ Yapımı planlanan işlerin bedeli 23.000.000 USD’dir. Dünya Bankası ile 12.500.000 USD’lik kredi anlaşması imzalanmıştır. Geriye kalan 10.500.000 USD’lik yatırım için Hazine ve Dış Ticaret Müsteşarlığı’ndan alınan teşvik ile Bursa Belediyesi öz kaynakları kullanılmıştır.

Düzenli depolama alanı, 30 yıllığına projelendirilmiştir. Koruma bandı dâhil toplam alanı 156,18 ha.'dır. Katı atık depolama alanı 83,09 ha.'dır. 1 ana vadi ve X-Y-Z-T olarak adlandırılan 4 yan vadi olarak planlanmış olup etaplar halinde¹⁵ inşa edilmektedir. Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanı haritası Şekil 4. 4'te, vadi bölümleri fotoğrafı Şekil 4. 5'te verilmiştir. Vadileri inşasına ilişkin temel bilgiler ise Çizelge 4. 1'de verilmiştir.



Şekil 4. 4. Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanı (a) mevcut durum haritası (b) nihai proje haritası



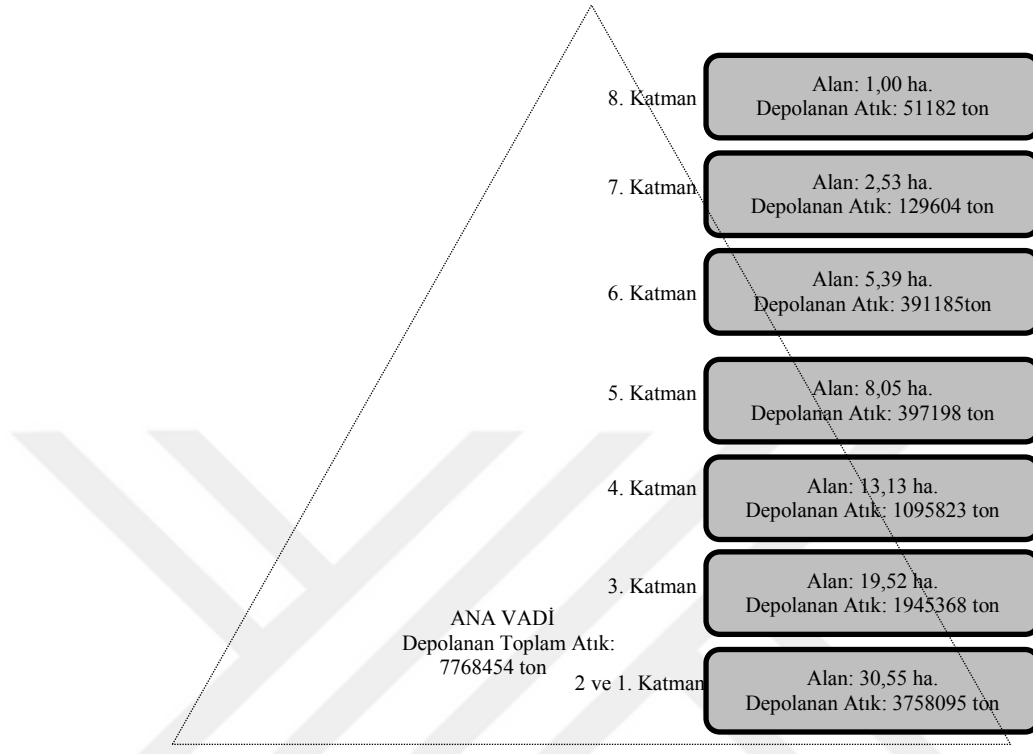
Şekil 4. 5. Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanı vadileri

¹⁵ 14.03.1991 tarih ve 20814 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği hükümleri doğrultusunda

Çizelge 4. 1. Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanı vadilerine ilişkin temel bilgiler

Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanı					
Açılma yılı/ Kapanma yılı		: 1995/2025(Öngörülen)			
Adresi		: Yenikent Mahallesi 2.Gündoğdu Sok. Osmangazi/BURSA			
Şehir Merkezine Uzaklık/ Hizmet Nüfusu		: 17 km. / 2.354.565 kişi			
Toplam Proje Alanı / Toplam Depolama Hacmi : 156,18 ha (1.561.800 m ²) / : 20.000.000 m ³					
Toplam Çöp Döküm Alanı		Depolanan Atık Miktarı (Ton)	Alan (Ha)	Enerji Eldesi	
		9.491.484	83,09		
1.Aşama	: X Vadisi	Başlangıç: 1995 Ağustos Kapanış: 1996 Ekim sonu Toplam Süre: 15 Ay	204.517	3,7	Ekonomik ömrü dolduğu için çalışma yapılmamıştır.
	: T Vadisi	Başlangıç: 1996 Kasım başı Kapanış: 2000 Eylül sonu Toplam Süre: 4 Yıl	1.369.937	8,8	Ekonomik ömrü dolduğu için çalışma yapılmamıştır.
2.Aşama	: Ana Vadi	Başlangıç: 2000 Ekim başı Kapanış: 31.06.2013 Toplam Süre: 12 Yıl+9 Ay	7.768.882	18	Gaz toplama ve enerjiye dönüştürme yapılmaktadır. Gaz toplama ve enerjiye dönüştürme yapılmaktadır.
Vadiler	3.Aşama	: Ana Vadi		12,55	
	4.Aşama	: Z Vadisi	964.155	15,5	Gaz toplama ve enerjiye dönüştürme yapılmaktadır.
	5.Aşama	: Y Vadisi : Ana Vadi Son Bölümü	---	24,6 ha.	---

Ana vadide atıklar 8 katmanda depolanmıştır. Katman bilgileri Şekil 4. 6'da şematize edilmiştir.



Şekil 4. 6. Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanı ana vadi katmanları

Y Vadisi ile Ana Vadinin son kısmı henüz inşa edilmemiştir. Mevcutta Ana Vadi katı atık üstü zemin kodu 130 ilâ 135 m. arasında değişmektedir. Tüm vadiler inşa edildikten sonra en üst noktadaki vadi yamaçlarının yaklaşık 145 m, merkezin yaklaşık 156 m. kotuna ulaşması ve depolama alanının kalınlığının yaklaşık 56 m. olması öngörülmektedir.

Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik¹⁶(ADDDY) Madde 9 ve 2010/16 sayılı Çevre ve Orman Bakanlığı Genelgesi Madde 1 hükümleri kapsamında aşağıda belirtilen atık türleri Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanı'na kabul edilmemektedir:

- Sıvı atıklar,
- ADDDY Ek III-A'da tanımlanan patlayıcı, aşındırıcı, oksitleyici, yüksek tutuşma ve yanma özelliği gösteren atıklar,

¹⁶ Yayımlandığı Resmi Gazete: 26.03.2010/ 27533

- ADDDY Ek III-A'da H 9 kodu ile enfeksiyon yapıcı olarak tanımlanan herhangi bir ön işleme tabi tutulmamış tıp ve veterinerlik kuruluşlarından kaynaklanan tıbbi atıklar,
- ADDDY Ek III-A'da sıralanan özelliklerden herhangi birini gösteren, insan veya çevre üzerindeki etkileri bilinmeyen, araştırma ve geliştirme ya da eğitim faaliyetlerinden kaynaklanan tanımlanmamış veya yeni kimyasal maddeler,
- Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Kontrolü Yönetmeliği kapsamında yer alan kullanılmış lastikler,
- Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği kapsamında tanımlanan ambalaj atıkları,
- Atık kabul kriterlerini sağlamayan diğer atıklar.

Tıbbi atıklar, 1996-2008 yılları arasında ilgili mevzuat doğrultusunda kireçlenerek Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanında gövde içinde ayrı alanlarda açılan çukurlarda bertaraf edilmiştir. 2008 yılı Temmuz ayında yap-işlet modeli ile işletilen Tıbbi Atık Sterilizasyon Tesisinin devreye girmesi ile birlikte önce sterilize edilerek parçalanmakta daha sonra evsel atık özelliğine sahip olarak diğer atıklarla birlikte Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanı'nda bertaraf edilmektedir.

Sahada günlük olarak dökülen atıklar, döküldükleri noktadan itibaren platform sonuna kadar iş makinelerince serilerek sıkıştırılmakta ve üstü toprak ile kapatılmaktadır. Atık kütesinin yüksekliğinin hem gövdenin stabilitesinin sağlanması hem de iş makinelerinin kolay manevra yapabilmeleri için 8 ilâ 10 m. arasında ve şev eğiminin de 1/3 olmasına dikkat edilmektedir. Ayrıca, iş makinelerinin itme mesafesini kısaltmak ve çöp döküm araçlarının nemli atık içine batmasını önlemek amacıyla toprak veya toprak-alt temel malzemesi karışımından 1,0 ilâ 1,2 m. kalınlığında katı atık üstü yollar yapılmaktadır. Yollar, atık döküm alanı büyüdükçe veya atık döküm yeri değiştikçe ya da hava şartları nedeniyle bozuldukça tekrarlanmaktadır. Atık şevleri, atık kütlesi düzenlendikten sonra projeye göre nihai kota ulaşacak olan şev bölgelerinde 1,0 ilâ 1,2 m. kalınlığında diğer yerlerde ise 0,40 ilâ 0,60 m kalınlığında arazi içerisinden temin edilen toprak örtüsü ile kapatılmaktadır. Atık döküm yönündeki 80 ilâ 100 m. genişliğindeki taze döküm alanı açıklığı dışında gövde ve şevler tamamen toprak örtülü durumda tutulmaktadır.

Depolama alanında Ağustos 1995'den Ocak 2014'e kadar 9.033.941 ton evsel atık, 675.996 tehlikeli olmayan sanayi atığı, 5.567 ton hafriyat atığı ve 29.371 ton sterilize tıbbi atık olmak üzere toplam 9.744.786 ton katı atık depolanarak sahada %40'lık doluluk sağlanmıştır.

4.3. Hamitler Sızıntı Suyu Arıtma Tesisi

Hamitler Sızıntı Suyu Arıtma Tesisi, BUSKİ Genel Müdürlüğü ve Bursa Büyükşehir Belediyesi arasında imzalanan protokol gereği evsel katı atıklardan kaynaklanan sızıntı suyunu arıtmak amacıyla 2. Kademe Doğu-Batı Evsel Atık Su Arıtma Tesisleri İş kapsamında 2004 yılında EMIT-Sistem Yapı-OTV Konsorsiyumu tarafından 500 m³/gün kapasiteli, aerobik ve fakültatif lagün ve ardışık kesikli aktif çamur sistemlerini içeren paralel 2 hattan oluşan 3 kademeli bir ön-arıtma tesisi olarak inşa edilmiştir. Ön arıtımı sağlanan atık su daha sonra Bursa Batı Atık Su Arıtma Tesisi'ne bağlanmaktadır. İşletimi BUSKİ Genel Müdürlüğü tarafından özel sektöre yaptırılan tesiste atık sudaki organik ve inorganik kirleticiler BUSKİ Atık Suların Hatizasyona Deşarj Yönetmeliği'nde belirtilen limitlerine kadar düşürülmektedir. Tesisin depolama alanı içindeki konumu Şekil 4. 7'de verilmiştir.

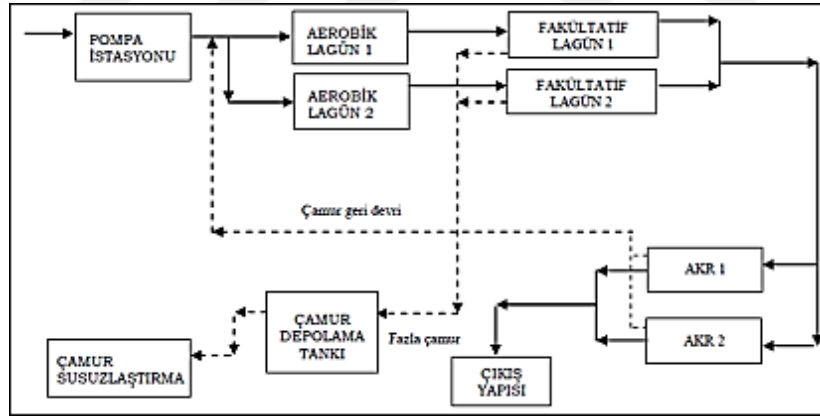


Şekil 4. 7. Bursa Hamitler Sızıntı Suyu Arıtma Tesisi

Depolama alanında, depolanan atıkların sıkıştırılması, atıkların nem içeriği, gerçekleşen biyokimyasal reaksiyonlar ve mevsimsel yağışlar sonucunda oluşan sızıntı suyunu kontrol edebilmek için zemindeki geçirimsizlik tabakasının üzerinde bulunan drenaj tabakasının içinde çapları 100 ilâ 200 mm. arasında değişen basınca dayanıklı yüksek

yoğunluklu polietilen (HDPE) delikli sızıntı suyu toplama boruları mevcuttur. Oluşan ve borular içinde toplanan sızıntı suyu çapları 250 ilâ 300 mm. arasında değişen basınca dayanıklı yüksek yoğunluklu polietilen boru hattı aracılığıyla depolama alanı çıkışında bulunan Sızıntı Suyu Arıtma Tesisi'ne aktarılmaktadır.

Tesise pompa istasyonu ile alınan sızıntı suyu önce tam karışimli aerobik lagünlere ve daha sonra üst tarafı aerobik, alt tarafı anaerobik koşullarda çalışacağı düşünülerek tasarlanmış fakültatif lagünlere alınır. Sızıntı suyu buradan cazibe ile ardışık kesikli reaktöre (AKR) geçer. Sırasıyla dolum/havalandırma/çöktürme/deşarj/çamur atımı fazlarında çalıştırılan AKR'lerde aerobik olarak arıtılan sızıntı suyudeşarj edilir. Aerobik ve fakültatif lagünlerin amacı, sızıntı suyundaki organik maddenin giderimi ve üretilen fazla çamurun anaerobik stabilizasyonudur. AKR'ler ile aerobik ve fakültatif lagünlerde giderilemeyen organik maddenin nihai arıtımı hedeflenmiştir. Tesis, 3 aşamalı biyolojik arıtma ile şartnameye göre çıkış sınır KOİ değeri 400 mg/L olacak şekilde tasarlanmıştır (Kaşıkçı ve Çallı 2011). Tesisin akım şeması Şekil 4. 8'de görülmektedir.



Şekil 4. 8. Bursa Hamitler Sızıntı Suyu Arıtma Tesisi akım şeması (Kaşıkçı ve Çallı 2011)

Depolama alanının bünyesinde bulunan laboratuarda haftada bir kez olmak üzere sızıntı suyu bileşenlerinin¹⁷ rutin analizleri yapılmaktadır:

¹⁷ Sızıntı suyu debisi, BOİ, KOİ, pH, toplam alkalinite, iletkenlik, ağır metaller (Fe, Zn, Al, Cr, Pb, Cu, Cd, Sn, Ni, B, Ag, CN), fenol, sülfat, klorür, serbest klor, anyonik yüzey aktif maddeler, amonyum azotu.

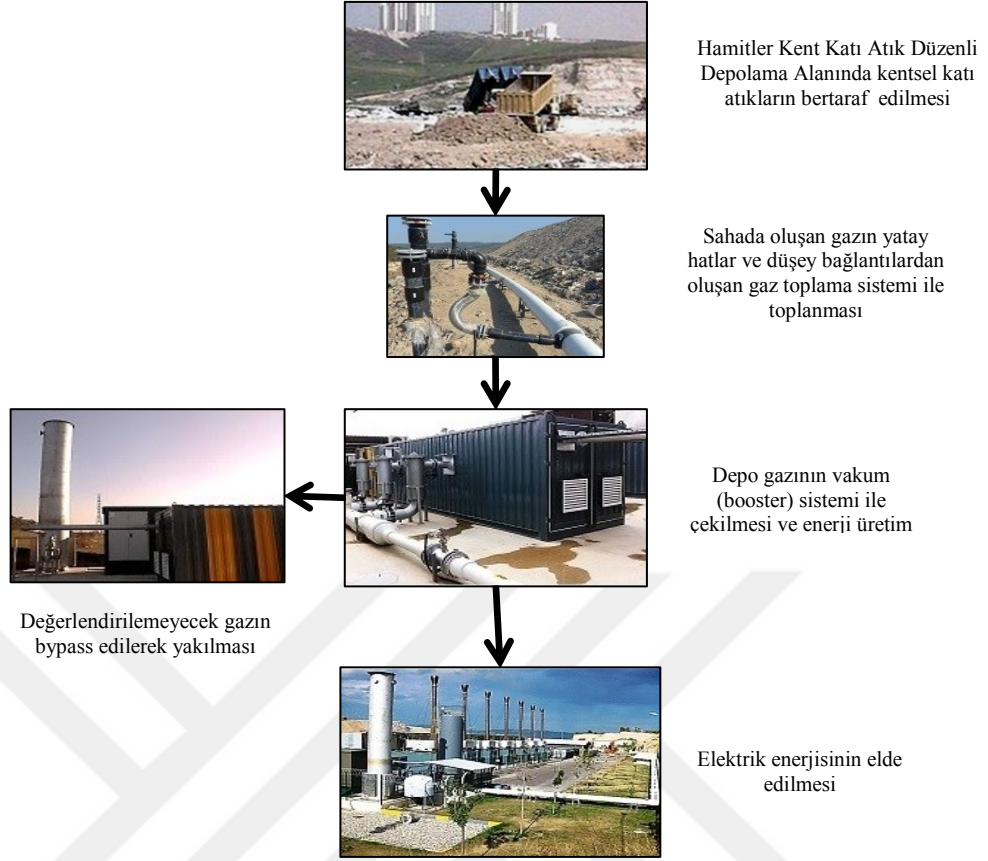
4.4. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisi

Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde gömülerek bertaraf edilen kentsel katı atıkların oluşturduğu depo gazı, Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) tarafından düzenlenen Yenilenebilir Enerji Üretim Lisansı ile Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yapılan kabul ile 19.05.2012 tarihinden itibaren elektrik enerjisi üretimi için değerlendirilmektedir.

Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinin inşaatı ve işletimi, Kamu İhale Kanunu çerçevesinde gerçekleştirilen ihale ile şartname dokümanında tariflendiği şekilde 10 milyon TL yatırımla yap-işlet olarak 29 yıl müddetle yaklaşık özel sektörcü yapılmaktadır. İşin kontrollüğü ise Çevre Koruma ve Kontrol Dairesi tarafından sağlanmaktadır.

Enerji Üretim Tesisi, ilk etapta her biri 1,4 MW gücünde 3 adet jeneratör (4,2 MW) ile projelendirilmiştir. Daha sonra YEK Mekanizması teşvikleri kapsamında her biri 1,4 MW gücünde 7 adet jeneratör (9,8 MW) ile kapasite artırımına gidilmiştir. Böylelikle saatte yaklaşık 5400 m³ metan gazının form değiştirmesi ve yıllık yaklaşık 235.000 ton CO_{2eq} azalma sağlanması hedeflenmiş ve yıllık 47.000 konutun aydınlatmasına eşdeğer yaklaşık 76.204.800 kW elektrik enerjisi üretilmesi planlanmıştır. Üretilen elektrik enerjisi de oluşturulan nakil hattı üzerinden TEİAŞ'a verilerek şebeke içi dağıtımı sağlanmıştır.

Sahada oluşan gaz, yatay hatlar ve düşey bağlantılardan oluşan gaz toplama sistemi ile toplanmakta ve gazı çeken vakum (booster) sistemi ile de enerji üretim tesisine aktarılmaktadır (Cankurt Yiğit ve ark. 2011a,b). Şematik gösterim Şekil 4. 9'da verilmiştir.



Şekil 4. 9. Hamitler Enerji Üretim Tesisinde enerji üretiminin şematik gösterimi

X ve T vadileri ile ana vadinin birinci ve ikinci katmanlarının ekonomik ömürlerinin dolması sebebiyle saha içi gaz toplama sistemi, ilk olarak ana vadinin¹⁸ üçüncü katmanındaki gazı toplamak üzere dördüncü katmana inşa edilmeye başlanmış ve diğer üst katmanlarında devam etmiştir. Dördüncü katmanda 56, beşinci katmanda 48, altıncı katmanda 16, yedinci katmanda 10 ve son katman olan sekizinci katmanda 4 adet yatay hat açılmıştır. Ana vadinin atık depolanmasına kapatılıp Z vadisinin hizmete sunulmasıyla birlikte saha içi gaz toplama sistemine Z vadisi de eklenmiştir. Saha içi gaz toplama sistemi olarak ve Z vadisinde ise 4 adedi atık altı uygulaması olan 19 adet yatay hat açılmıştır. Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanında ana vadede inşa edilen gaz toplama hatları Şekil 4. 10'da gösterilmiştir.

¹⁸ Ana vadi katmanları Bölüm 4.2.'de Şekil 4. 6'da verilmiştir.



Şekil 4. 10. Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanında ana vadide inşa edilen gaz toplama hatları

Yatay hatlar, saha koşullarına göre değişiklik göstermekte olup yaklaşık 20 m aralıklarla ortalama 60 m uzunluğunda, 1 ilâ 2 m genişliğinde, yaklaşık 5 ilâ 10 m derinliğinde ekskavatör aracılığıyla eğimli inşa edilmişlerdir.

Saha içinde oluşturulan eğimli borulama sistemi ile hem depo gazının toplanması hem de sızıntı suyunun toplanması hedeflenmiştir. Böylelikle, üst kotlardaki boruların düşey bağlantıları ile depo gazı toplanmakta ve alt kotlardaki borulardan ise sızıntı suyu dışarıya verilmektedir. Sızıntı suyuna ilişkin hatlar Şekil 4. 11’de verilmiştir.



Şekil 4. 11. Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanında ana vadide sızıntı suyu toplama bağlantıları

Hatların içi, özel olarak seçilmiş ve yıkanmış dere çakılı ile doldurulmaktadır. Çakıl yatağın üzerine 200 mm çaplı delikli HDPE boru döşenmektedir. Tekrar dere çakılı ile kapatılan boruların üzeri ise jeotekstil ile örtülmektedir. Yatay hatların oluşturulması için kazılan ve yerinden çıkarılan atık kütlesi hat inşasından sonra tekrar dolgu

malzemesi olarak kullanılmaktadır. Arta kalan atık kütlesi ise sahada atık depolamasının yapıldığı hücreye sürülmektedir. İnşa işlemi sonunda yatay hatlar yeniden toprak örtü ile kapatılmaktadır. Gaz toplama sistemi inşa çalışmaları Şekil 4. 12 ve Şekil 4. 13'te verilmiştir.



Şekil 4. 12. Hamitler Enerji Üretim Tesisi gaz toplama sisteminde kullanılan yatak malzemeleri (a) yıkanmış dere çakılı (b) HDPE boru



Şekil 4. 13. Hamitler Enerji Üretim Tesisi gaz toplama sistemi için (a) hatların yerlerinin belirlenmesi (b) hatların açılması (c) çakıl yatak (d) yatay ve düşey bağlantılar (e) jeotekstil malzeme (f) dolgu malzemesi olarak atık kütlesi (g) ve (h) gaz ve sızıntı suyu toplama bağlantıları

Saha içi gaz toplama sisteminin inşasını takiben, önce ana vadiyi çepeçevre saran ve yer yer zemin üstü yer yer zemin altı döşenen, üçüncü ile dördüncü katmanlarda ve dördüncü ile beşinci katmanlara oluşan gazı toplayan iki farklı hat olarak ana toplama sistemi yapımına geçilmiştir. Daha sonra, Z vadisinin de işleme alınmasıyla birlikte burada oluşan gazı toplamak için ayrı bir ana toplama hattı oluşturulmuştur. Ana vadide inşa edilen ana toplama hattı Şekil 4. 14’te verilmiştir.



Şekil 4. 14. Hamitler Enerji Üretim Tesisi gaz toplama sistemi için (a) ve (b) ana toplama hattı yapımı (c) ve (d) zemin üstü ana toplama hattı (e) zemin altı ana toplama hattı (f) katmanlar arası ana toplama hattı

Ana toplama sistemlerinin inşasını takiben önce basınç ve sızdırmazlık testleri yapılmıştır. Akabinde ise vanalar ile önce saha içi gaz toplama sistemlerine bağlanmış daha sonra her iki vadiye ait ana hat enerji üretim tesisi girişinde ortak hat olarak birbirine bağlanmıştır. Ana hat ile saha içi gaz toplama sistemi bağlantıları Şekil 4. 15’te verilmiştir.

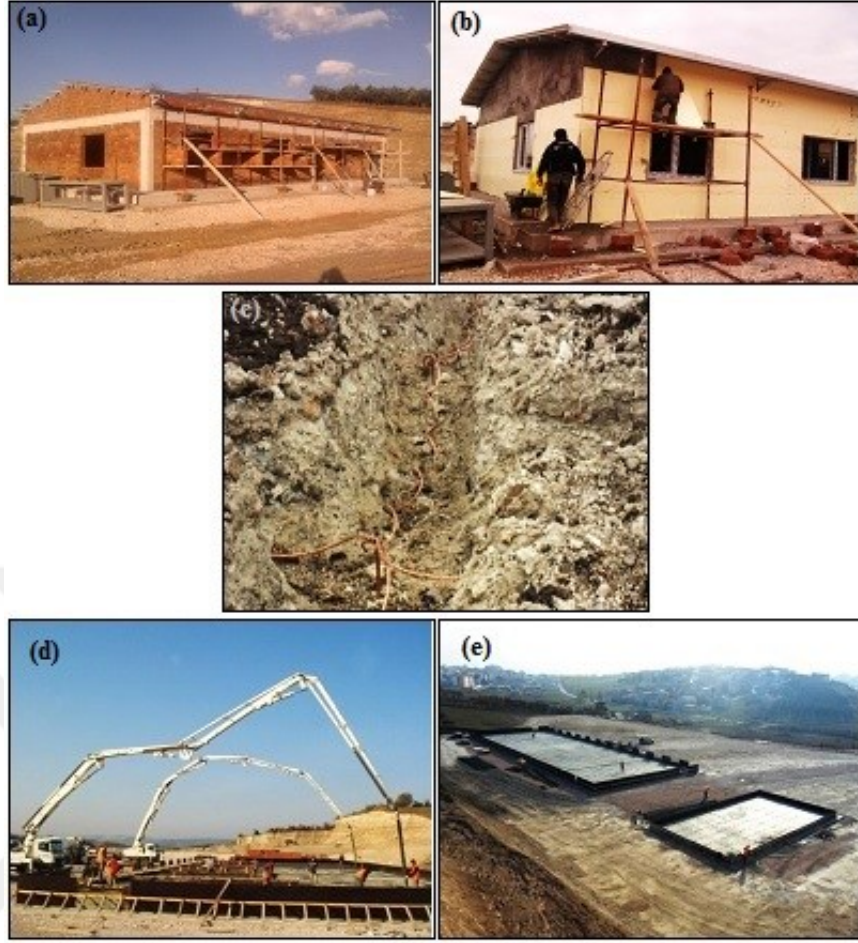


Şekil 4. 15. Hamitler Enerji Üretim Tesisi gaz toplama sistemi için (a) ve (b) saha içi gaz toplama hattının ana toplama hattına bağlantıları (c) ve (d) zemin üstü bağlantı koruma bilezikleri

Enerji Üretim Tesisine ait kontrol binası ile jeneratör gruplarının inşası Şekil 4. 16 ve Şekil 4. 17’de verilmiştir.

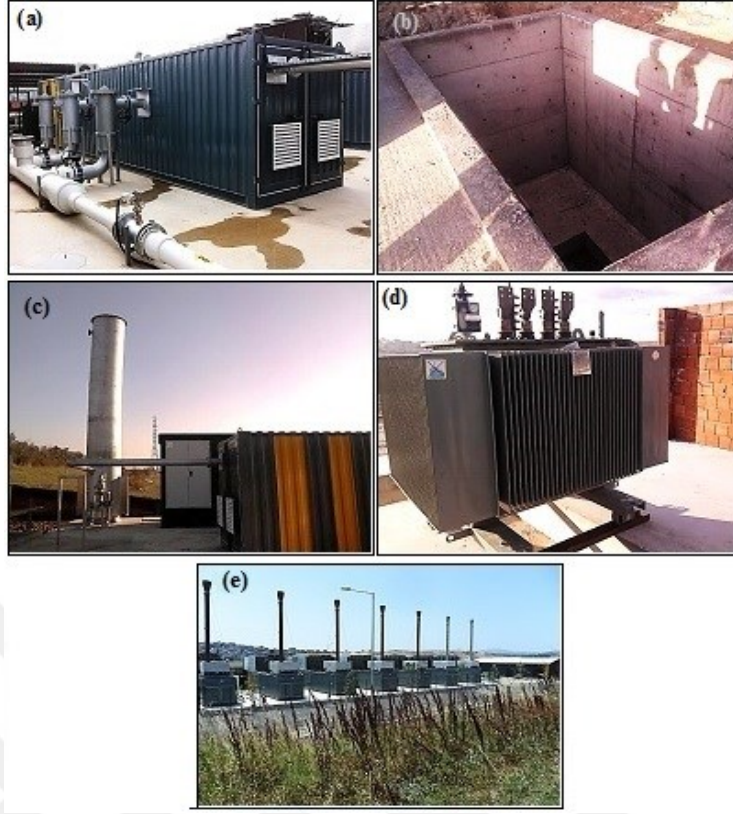


Şekil 4. 16. Hamitler Enerji Üretim Tesisi yerleşimi için (a) yerinde aplikasyon (b) ve (c) ve (d) arazi tesviyesi



Şekil 4. 17. Hamitler Enerji Üretim Tesisi (a) ve (b) kontrol binası inşası (c) topraklama (d) ve (e) bton dökümü ve düzleştirme

Ana toplama sistemi üzerinde bulunan kondens sistemi ile kondens suyundan arındırılan depo gazı, vakumlama (booster) ile çekilerek jeneratörlere aktarılmakta ve her biri 1,4 MW gücünde 7 adet jeneratör ile ısı ve elektrik enerjisi üretilmektedir. Şekil 4. 18’de jeneratör grupları verilmiştir. Sahadaki gaz kompozisyonu günlük olarak takip edilmekte ve kumanda odasında bu değerler kayıt altında tutularak sistemde sürekli izleme sağlanmaktadır. Jeneratörlerden doğaya ve çevreye zararlı bir gaz çıkışı olmamaktadır. 6 ayda bir düzenli olarak ölçümler yapılarak atmosfere verilen gazlar kontrol edilmektedir. İlgili veriler Çevre ve Şehircilik Bakanlığına internet ortamında sunulmaktadır.



Şekil 4. 18. Hamitler Enerji Üretim Tesisi (a) vakum (booster) (b) kondens suyu havuzu (c) yakma bacası (d) trafo (e) jeneratör grupları

4.5. Demirtaş Rehabilit Edilmiş Vahşi Depolama Alanı

Bursa ilinin katı atıkları, şehrin kuzey doğusunda bulunan Demirtaş Vahşi Depolama Alanı'nda 1960-1996 yılları arasında 36 yıl süre ile vahşi depolama olarak depolanmıştır. Alanın hizmet verdiği yıllara ait katı atık verileri tutulmamış olmasına rağmen yaklaşık 2.000.000 m³ (yaklaşık 1.400.000 ton) katı atık depolandığı tahmin edilmektedir.

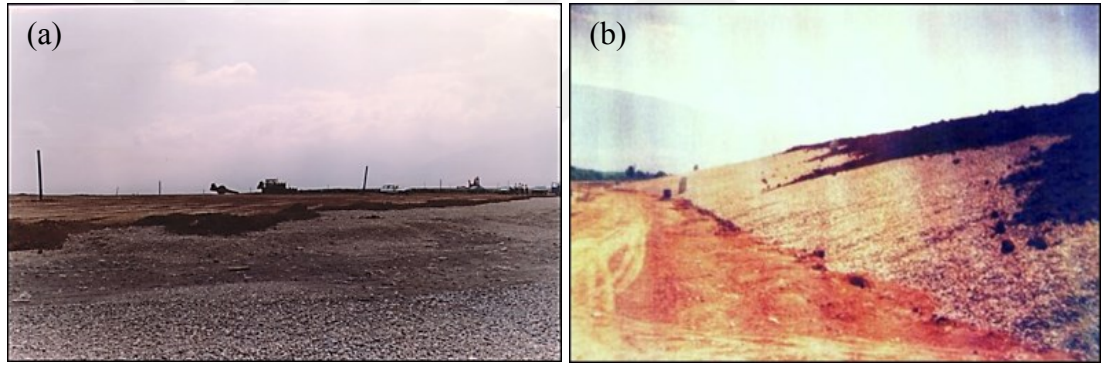
Kent atıklarına yönelik Hamitler mevkiinde düzenli depolama alanı çalışmalarının başlamasıyla birlikte Demirtaş Vahşi Depolama Alanı, 1994-1996 yıllarında rehabilite edilmeye başlanmıştır. Rehabilitasyon bedeli 2.000.000 USD olup bedelin %48'i Dünya Bankası kredisi ve %52'si öz kaynakla karşılanmıştır.

Vahşi depolama yapılan alan, çirkin görüntüsü, kötü kokular yayması, yangınların çıkması, sızıntı suyunun hem yeraltı suyuna karışması hem de kaçak sulamayla meyve-sebze ürünlerini etkilemesi nedeniyle çevre ve insan sağlığına zarar vermiştir (Sezgin ve ark. 2003). Şekil 4. 19'da yaşanan bir yangın görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4. 19. Demirtaş Vahşi Depolama Alanı'nda yangın

Rehabilitasyonda, gövde ve şevlerin tesviyesinde dolgu malzemesi olarak aktifliğini kaybetmiş katı atıklar kullanılmıştır. 1/2 - 1/3 arasında değişen eğimlerle 80.000 m²'lik şev alanı düzenlenmiştir. Yağmur sularının katı atık içerisine sızmaması için gövde üzeri % 1-5 eğimli hale getirilmiştir. Şekil 4. 20'de çalışmalara ait görüntü verilmiştir.



Şekil 4. 20. Demirtaş Vahşi Depolama Alanı rehabilitasyonunda (a) gövdenin çakıl ve kil ile örtülmesi (b) şevlerin çakıl ve kil ile örtülmesi

Atık kütlesi üzerinde burgu ve darbe yöntemleri ile gaz kuyuları açılıp teçhiz edilmiştir. Sahanın civarında yer altı sularını gözlemek amacıyla kuyular açılmıştır. Saha çevresinde toplam uzunluğu 2 km olan süzüntü suyu toplama hatları ve prefabrik muayene bacaları yapılmış, süzüntü suları bir depoda toplanarak arıtma tesisine bağlanmıştır. Hat imalatında toplanan süzüntü sularının yeraltına sızmasını önlemek amacıyla hat tabanına 30 cm kalınlığında geçirimsiz kil tabakası ve üzerine 30 cm kalınlığında kum serilmiştir. Kumun üzerine %1 eğimle 250 mm çapında delikli drenaj borusu döşenmiş ve üzeri 16/32 mm tane çapında drenaj malzemesi ile doldurularak tamamlanmıştır.

Atık sahası şev ve gövdesi uygun eğimlere getirilip tesviyesi yapıldıktan sonra gövde üzerine 30 cm şevlerde ise şev başında 30 cm den başlayıp şev dibinde 110 cm kalınlığında 16/32 mm tane çapında drenaj malzemesi serilmiştir. 40 cm kalınlığında geçirimsiz kil örtününün üzerine, bitki büyümesine elverişli 40 cm kalınlığında bitkisel toprak serilmiştir.

Yağmur suyunun gövde üzerinde toplanması ve şevlere zarar vermemesi için şevlerde prefabrik su hatları açılmış, yüzeysel suların uzaklaştırılması amacıyla kuşaklama hatlarına bağlanmıştır. Atık döküm sahası şevleri üzerinde son örtü olarak bitkisel toprak serilmesinden sonra 5-6 m arayla erozyon önleme çiti yapılmış, şevlere fidan dikilmiş, bitkilerin sulanması için yağmurlama ve damlama sistemleri yapılmıştır (Çeliksağ 2001).

Rehabilitasyon ile sahanın çevreye verdiği olumsuz etkilerinin önüne geçilerek toplam 16 hektarlık yeşil alan elde edilmiştir. Şekil 4. 21 ve Şekil 4. 22’de Demirtaş Vahşi Depolama Alanı’nın rehabilitasyon sonrası görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4. 21. Demirtaş Vahşi Depolama Alanı rehabilitasyon sonrası yeşil alan



Şekil 4. 22. Demirtaş Rehabilitate Edilmiş Vahşi Depolama Alanı

Geçmişe ait detaylı ve düzenli kayıt tutulmadığından ötürü bu çalışma kapsamında Demirtaş Rehabilitate Edilmiş Vahşi Depolama Alanı'na ait herhangi bir istatistiksel analiz yapılamamıştır.

4.6. Demirtaş Metan Gazından Enerji Üretim Tesisi

Bursa Büyükşehir Belediyesince Demirtaş Vahşi Depolama Alanı'nın rehabilitasyonundan sonra alandaki depo gazlarının toplanıp değerlendirilerek elektrik enerjisine dönüştürülmesi amacıyla Ocak 1997 tarihinde ihale gerçekleştirilmiştir. Enerjisinin üretimini müteakip birinci ve ikinci yıllar için satış net tutarının %3'ü ve devam eden yıllar için %6'sı oranında kira bedeli mutabakatı ile Kazancı Holding'e bağlı AKSA Enerji şirketi uhdesine kalan ihale neticesinde, yap-işlet modeli olarak 10 yıl süreli toplam 1.500.000 USD yatırım bedeli ile çalışmalarına başlanmıştır. Yatırım bedelinin yarısı jeneratör grubu diğer yarısı ise yatay borulama sistemi inşası için kullanılmıştır. AKSA Enerji tarafından Bursa Biyogaz Santrali olarak adlandırılan tesis, European Investment Bank tarafından proje finansmanı ile ödüllendirilmiş Türkiye'deki ilk biogaz enerji santralidir (Anonim 2014i). Şekil 4. 23'te tesisin rehabilite alan içindeki yerleşimi ve Şekil 4. 24'te tesis cephe görünümü verilmektedir.



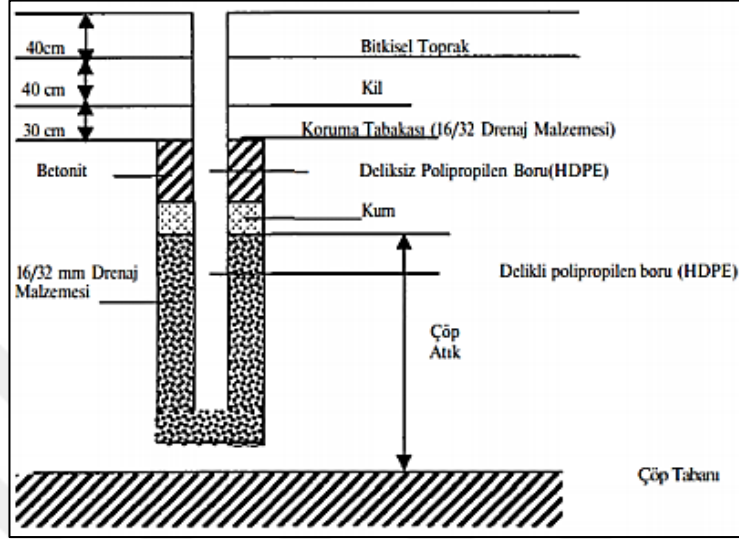
Şekil 4. 23. Demirtaş Enerji Üretim Tesisinin konumu (Anonim 2014i)



Şekil 4. 24. Demirtaş Enerji Üretim Tesisi (Anonim 2014i)

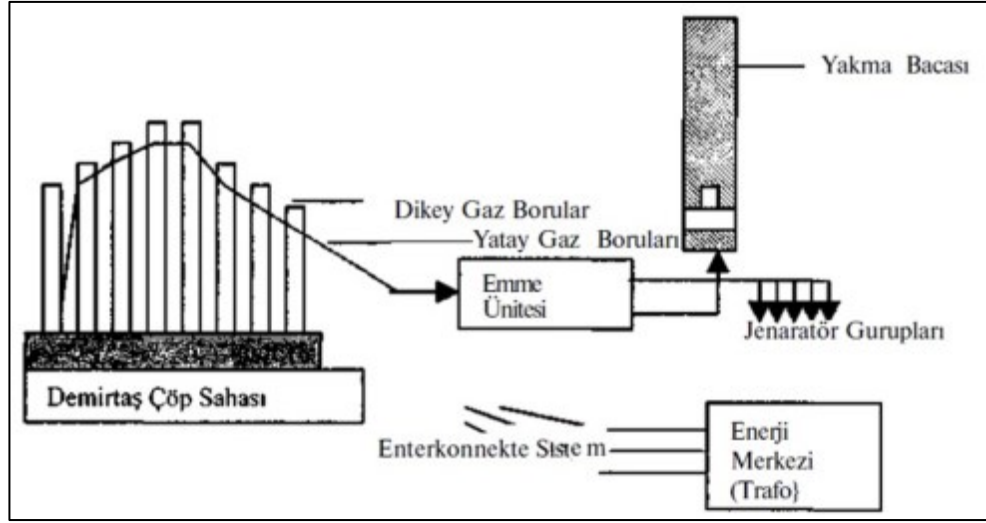
Tesiste, enerji darboğazının aşılması için ülke genelinde tasarruf önlemlerinin alındığı bir dönemde, 10 bin ailenin ihtiyacını karşılayabilecek elektrik üretimi hedeflenmiştir (Anonim 2014h). İnşaat çalışmalarına Nisan 1998 tarihinde başlanırken elektrik enerjisi üretimine ise Kasım 1998 tarihinde geçilmiştir. Tesisin 10 yıllık ekonomik ömrü boyunca toplam 6.892.557 kW elektrik enerjisi üretilmiştir. Ayrıca, Büyükşehir Belediyesi üretilen elektriğin satışı karşılığında yaklaşık 11.000.000.000 TL gelir elde etmiştir.

Enerji üretimini sağlayacak sistem, atık gövdesindeki gazı çeken ve derinlikleri 10 ilâ 20 m arasında değişen ve 40 ilâ 60 m aralıklarla 51 adet düşey gaz bacası ile bu bacaları birbirine bağlayan yatay borulardan (ϕ : 110, 160 ve 225 cm'lik) ve gazın toplandığı 12 adet kollektör merkezinden oluşmuştur. Şekil 4. 25'te düşey kuyu kesiti verilmektedir.



Şekil 4. 25. Demirtaş Enerji Üretim Tesisi kuyu kesiti (Çeliktaş 2001)

Ayrıca, gaz içindeki yoğuşmadan kaynaklanan sızıntı suları için 7 adet sızıntı suyu rögarı inşa edilmiştir. Kollektörlerde toplanan gaz, kapalı sistem ana toplama hattı ile her biri 278 kW olan ve 900 m³ gaz emişi yapan bilgisayar kontrollü 5 adet jeneratöre getirilerek yakıt olarak kullanılmıştır. Jeneratörleri beslemek üzere 1000 m³/saat emme ünitesi kurulmuştur. Ardından alternatörler aracılığıyla elektrik enerjisi üretilmiştir. Üretilen elektrik enerjisi de (380 V) trafo ile 34,5 kV'ya yükseltilip enterkonnekte hatta verilmiştir. Şekil 4. 26'da tesis akım şeması ve Şekil 4. 27'de jeneratör grubu verilmiştir.



Şekil 4. 26. Demirtaş Enerji Üretim Tesisi üretim şeması (Çeliktaş 2001)



Şekil 4. 27. Demirtaş Enerji Üretim tesisi jeneratör grubu

Jeneratör yakıtı gazın olarak kullanılabilmesi için yanma öncesi metan miktarının %40'dan fazla ve oksijen miktarının ise %6'dan az olması gerekmiştir. Aksi durumda, tesis tamamen otomatik kontrollü olduğundan çekilen gaz motorlara girmeden önce yakma bacasında 1200 °C'de yakılmıştır (Yolcu 1999). Şekil 4. 28'de gaz yakma bacası verilmiştir.



Şekil 4. 28. Demirtaş Enerji Üretim tesisi jeneratör grubu gaz yakma bacası

Gaz bacalarında periyodik olarak yapılan ölçümlerde metan oranı kuyu başına ortalama %55,8 olarak bulunmuştur (Sezgin ve ark. 2003). Genel olarak sahadaki depo gazı % 40 ilâ 50 oranında metan, %20 ilâ 40 oranında karbondioksit ve % 2 ilâ 4 oranında oksijen gazından oluşmaktadır. Çizelge 4. 2’de beş gaz bacasında yapılan gaz ölçümlerinin ortalamaları verilmiştir.

Çizelge 4. 2. Demirtaş Enerji Üretim Tesisinde Gaz Kuyularında Gaz Ölçümleri (Çeliktaş 2001)

Baca No	CO ₂ %	CH ₄ %	Basınç hPa	Hız m/s	Sıcaklık °C
1,2,3,4,5	45,0	55,0	0,040	2,60	45,0
6,7,8,9,10	44,0	56,8	0,040	2,60	37,0
11,12,13,14,15	42,0	58,2	0,046	2,68	35,7
16,17,18,19,20	42,5	57,8	0,038	2,50	37,5
21,22,23,24,25	41,4	58,6	0,046	2,64	35,0
26,27,28,29,30	39,8	57,2	0,042	2,56	35,1
31,32,33,34,35	42,4	56,6	0,040	2,64	36,1
36,37,38,39,40	45,8	54,8	0,038	2,54	35,4
41,42,43,44,45	46,6	53,6	0,046	2,72	38,3
46,47,48,49,50,51	51,0	51,0	0,041	2,62	35,1

Demirtaş Vahşi Depolama Alanı Rehabilitasyonu ve Demirtaş Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinin yararları aşağıda sıralanmıştır:

- Ekonomik Yararları: Sahanın rehabilitasyonu ile 16 hektarlık kullanılabilir alan kazanılmıştır. Sahada üretilen elektrikten alınan %6'lık kira geliriyle belediye bütçesine küçük bir katkı sağlanmıştır.
- Çevresel Yararları: Saha üzerinin kapatılıp yeşillendirilmesiyle güzel bir görüntü meydana gelmiştir. Metan gazının kontrol altına alınmasıyla hava kirliliği ne neden olan yangınlar önlenmiştir. Katı atıklardan kaynaklanan koku problemi kalmamıştır.
- İklim Değişikliğine Etkisi: Sahadan elektrik enerjisi için çekilen metan gazının CO₂ gazına dönüştürülmesiyle iklim değişikliği etkisi azaltılmıştır (Çelikaş 2001).

Geçmişe ait detaylı ve düzenli kayıt tutulmadığından ötürü bu çalışma kapsamında Demirtaş Metan Gazından Enerji Üretim Tesisi'ne ait herhangi bir istatistiksel analiz yapılamamıştır.

4.7. Depolanan Katı Atık Miktarının Değerlendirilmesi

4.7.1. Genel Değerlendirme

Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanında, Bursa Büyükşehir Belediyesi sınırları¹⁹ dâhilinde alanın işleme açıldığı Ağustos 1995'ten günümüz Ağustos 2014 sonuna kadar yaklaşık %95'i evsel atık ve %5'i tehlikeli olmayan sanayi atığı olmak üzere toplamda 10.307.491²⁰ ton katı atık depolanmıştır. Bu miktarın vadilere göre dağılımı Bölüm 4.2'de Çizelge 4. 1'de verilmiştir. Çalışma kapsamında incelenen Temmuz 2012 ile Ağustos 2014 dönemine ait katı atık miktarlarının aylık ortalaması Çizelge 4. 3'te verilmiştir.

¹⁹ 17 ilçesi ile birlikte Bursa ili genel nüfusu 2.740.970 kişidir. Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanının hizmet nüfusu 10 ilçe ile birlikte 2.354.565 kişidir. Atık projeksiyonu: $A=0,85 \text{ kg/kışı.gün} * N/1000=2.330 \text{ ton'dur.}$

²⁰ Ağustos 1995'den Ocak 2014'e kadar 9.033.941 ton evsel atık, 675.996 tehlikeli olmayan sanayi atığı, 5.567 ton hafriyat atığı ve 29.371 ton sterilize tıbbi atık olmak üzere toplam 9.744.786 ton katı atık depolanarak sahada %40'lık doluluk sağlanmıştır.

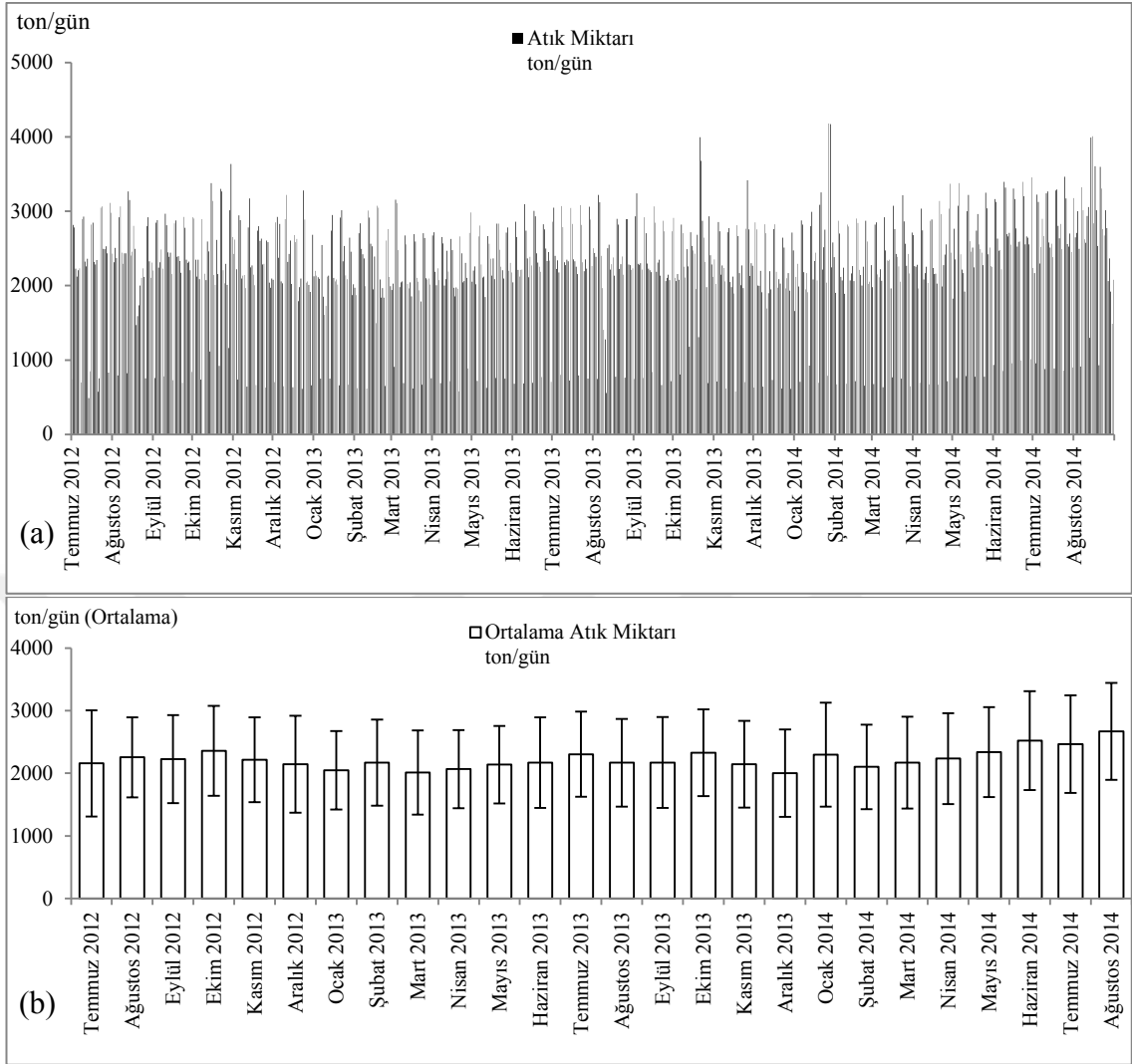
Çizelge 4. 3. Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanında Temmuz 2012 ile Ağustos 2014 döneminde depolanan aylık ortalama katı atık miktarları

Gaz Oluşumuna Göre Vadi Grupları	Tarih	Aylık Miktar	Ortalama Atık Miktarı	
		ton/ay	ton/gün	Standart Sapma
1 No.lu Durum Ana Vadi (Açık)	01.07.2012-31.07.2012	66894*	2158	±848
	01.08.2012-31.08.2012	69886*	2254	±638
	01.09.2012-30.09.2012	69046*	2227	±704
	01.10.2012-31.10.2012	70714*	2357	±718
	01.11.2012-30.11.2012	70941*	2217	±676
	01.12.2012-31.12.2012	66544*	2147	±774
	2012 Yılı	Toplam: 414024 ton (Aylık Ortalama: 2226±723 ton/gün)		
2 No.lu Durum Ana Vadi (Kapalı)	01.01.2013-31.01.2013	63448*	2047	±625
	01.02.2013-28.02.2013	60740*	2169	±688
	01.03.2013-31.03.2013	62384*	2012	±673
	01.04.2013-30.04.2013	62930*	2067	±624
	01.05.2013-31.05.2013	66299*	2139	±618
	01.06.2013-30.06.2013	65173*	2172	±722
	2013 Yılı	Toplam: 783705 ton (Aylık Ortalama: 2146±675 ton/gün)		
3 No.lu Durum Ana Vadi (Kapalı) + Z Vadisi	01.01.2014-31.01.2014	71253**	2298	±829
	01.02.2014-28.02.2014	58876**	2103	±675
	01.03.2014-31.03.2014	67251**	2169	±732
	01.04.2014-30.04.2014	67058**	2235	±725
	01.05.2014-31.05.2014	72472**	2338	±718
	01.06.2014-30.06.2014	75601**	2520	±788
	01.07.2014-31.07.2014	76388**	2464	±779
2014 Yılı	Toplam: 571654 ton (Aylık Ortalama: 2354±766 ton/gün)			
GENEL TOPLAM		1769383 ton		

* Ana vadede depolama

** Z vadisinde depolama

Depolanan atık miktarındaki günlük ve aylık değişimler de Şekil 4. 29'da verilmiştir.

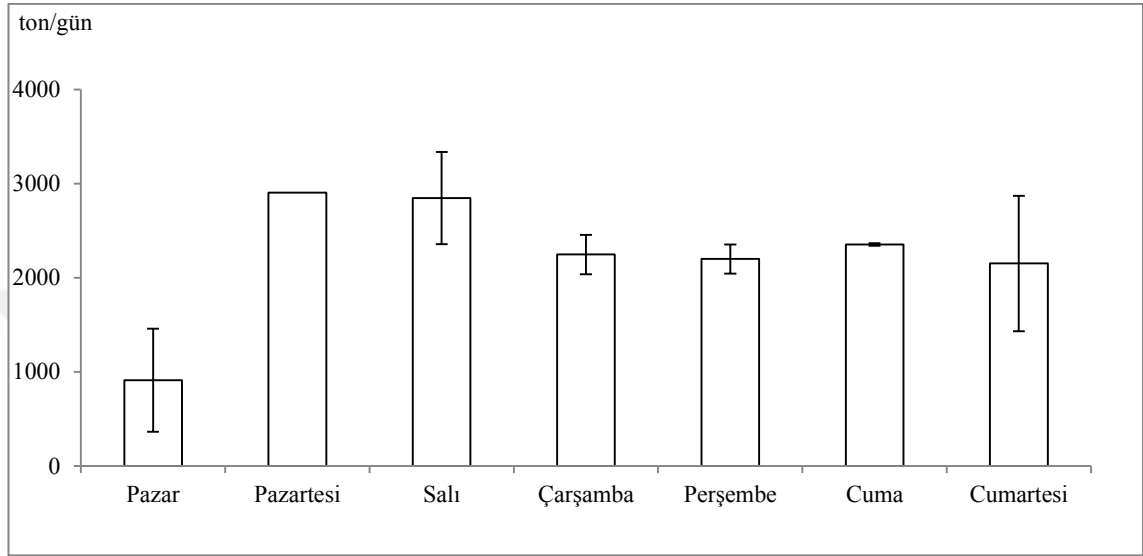


Şekil 4. 29. Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanında Temmuz 2012-Ağustos 2014 arası depolanan katı atık miktarındaki (a) günlük ve (b) aylık değişim

Temmuz 2012 ile Ağustos 2014 dönemi için depolanan günlük atık miktarı 489 ton (14.07.2012, Cumartesi) ilâ 4184 ton (27.01.2014, Pazartesi) arasında değişmekte olup Şekil 4. 29(a)'da gösterilmiştir. Depolanan aylık atık miktarı ise 62598 ton (Aralık 2013, günlük ortalaması 2004 ton) ilâ 82755 ton (Ağustos 2014, günlük ortalaması 2670 ton) arasında değişmekte olup Şekil 4. 29 (b)'de gösterilmiştir. Şekil 4. 29 (a)'daki günlük depolanan atık miktarındaki salınım, Pazar günü atık transferi yapmayan ilçelerden dolayı depolama alanında daha az atık depolanması ve Pazartesi günü iki günlük atık depolaması yapılmasından kaynaklanmaktadır. Çizelge 4. 4 ve Şekil 4. 30'da depolanan katı atık miktarlarının haftalık dağılımı verilmiştir.

Çizelge 4. 4. Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanında Temmuz 2012-Ağustos 2014 arası depolanan katı atık miktarlarının haftalık dağılımı

Günler	Pazar	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi
Gün Sayısı	114	115	113	114	113	113	113
Toplam (kg)	103672	333975	318679	255972	248360	265785	242940
Ortalama (kg)	909	2904	2845	2245	2198	2352	2150
Standart Sapma	±548	±287	±324	±301	±419	±350	±374



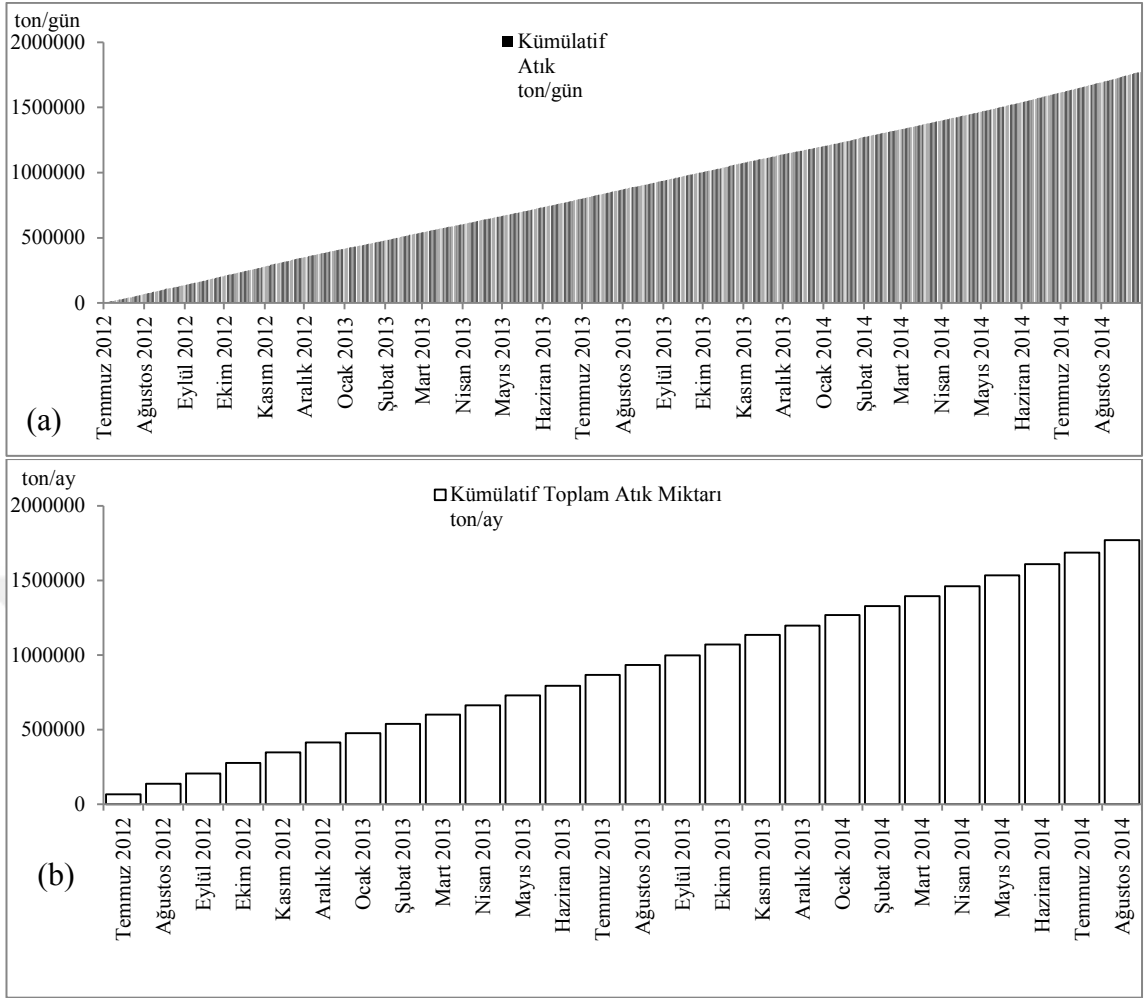
Şekil 4. 30. Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanında Temmuz 2012-Ağustos 2014 arası depolanan katı atık miktarlarının haftalık dağılımı

Kümülatif depolanan atık miktarı ise

Şekil 4. 31’de verilmiştir. Buna göre Temmuz 2012 ilâ Ağustos 2014 tarihleri arasında²¹ Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanında toplam 1773122 ton katı atık depolanmıştır.Şekil 4. 29 ve

Şekil 4. 31 birlikte incelendiğinde depolanan katı atık miktarında düzenli bir artış olduğu görülmektedir. Çalışma kapsamında, depolanan katı atık miktarlarının istatistiki genel değerlendirmesinin yanı sıra hem bu artışın istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı hem de sıcaklık değişimi ve mevsim farklılıklarından atık depolanmasının etkilenip etkilenmediği istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

²¹ 2012 yılında 414024 kg, 2013 yılında 794998 kg ve 2014 yılında 571654 kg atık depolanmıştır. 1 no.lu durumda 794998 kg, 2 no.lu durumda 532860 kg ve 3 no.lu durumda 441525 kg atık depolanmıştır.



Şekil 4. 31. Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanında Temmuz 2012-Ağustos 2014 arası depolanan kümülatif atık miktarı (a) günlük (b) aylık

4.7.2. Atık Miktarının Yıllara Göre Değişimi

Çalışma kapsamında, Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanında Temmuz 2012 ilâ Ağustos 2014 arası depolanan katı atık miktarının yıllara göre değişim gösterip göstermediği araştırılmıştır. İstatistiksel testler²² Ek 1’de verilmiştir.

Buna göre, 2012 yılı (ortalama: 2226 ± 723 ton/gün ve ortanca: 2229 ton/gün) ve 2013 yılı (ortalama: 2146 ± 675 ton/gün ve ortanca: 2208 ton/gün) için depolanan günlük katı atık miktarında anlamlı bir fark bulunmamıştır (Kruskal Wallis Testi $H=21,201$; $p=0,000$; $p<0,05$ / Mann Whitney U Testi $U=29807$; $p=0,019$; $p>0,0167$). 2013 yılı ve

²² Verilerin normal dağılım göstermemesi nedeniyle sırayla Kruskal Wallis ($\alpha=0,05$) ve Ortanca Testi ile uygulanmıştır.

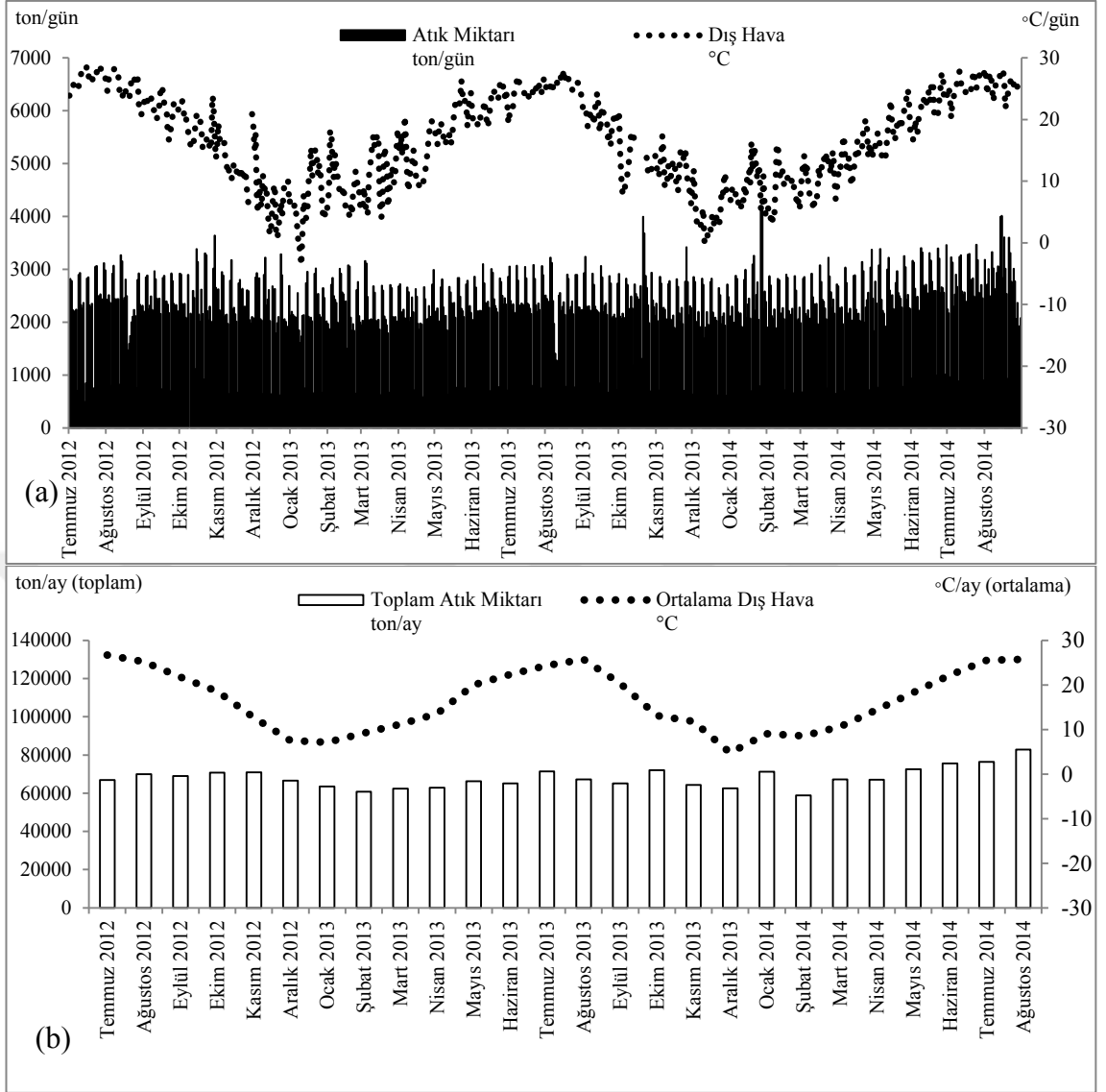
2014 yılı (ortalama: 2354±766 ton/gün ve ortanca: 2469 ton/gün) için ise 2014 yılında depolanan günlük atık miktarının 2013 yılında depolanan günlük atık miktarından daha yüksek olduğu görülmüştür. (Kruskal Wallis Testi H=21,201; p=0,000; p<0,05 / Mann Whitney U Testi U=34824; p=0,00; p<0,0167).

4.7.3. Atık Miktarının Sıcaklığa Göre Değişimi

Temmuz 2012 ilâ Ağustos 2014 arası ortalama dış ortam sıcaklığı Çizelge 4. 5'te ve depolanan toplam atık miktarı ile dış ortam sıcaklığının değişimi Şekil 4. 32'de verilmiştir.

Çizelge 4. 5. Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanında Temmuz 2012-Ağustos 2014 arası dış ortam aylık ortalama sıcaklığı

Tarih	Dış Ortam Ortalama Sıcaklığı °C	Standart Sapma	
Temmuz 2012	01.07.2012-31.07.2012	27	±1
Ağustos 2012	01.08.2012-31.08.2012	25	±2
Eylül 2012	01.09.2012-30.09.2012	22	±2
Ekim 2012	01.10.2012-31.10.2012	19	±3
Kasım 2012	01.11.2012-30.11.2012	13	±3
Aralık 2012	01.12.2012-31.12.2012	8	±4
Ocak 2013	01.01.2013-31.01.2013	7	±5
Şubat 2013	01.02.2013-28.02.2013	9	±4
Mart 2013	01.03.2013-31.03.2013	11	±5
Nisan 2013	01.04.2013-30.04.2013	14	±4
Mayıs 2013	01.05.2013-31.05.2013	20	±3
Haziran 2013	01.06.2013-30.06.2013	22	±2
Temmuz 2013	01.07.2013-31.07.2013	24	±2
Ağustos 2013	01.08.2013-31.08.2013	26	±1
Eylül 2013	01.09.2013-30.09.2013	20	±2
Ekim 2013	01.10.2013-31.10.2013	13	±3
Kasım 2013	01.11.2013-30.11.2013	12	±3
Aralık 2013	01.12.2013-31.12.2013	5	±3
Ocak 2014	01.01.2014-31.01.2014	9	±3
Şubat 2014	01.02.2014-28.02.2014	9	±4
Mart 2014	01.03.2014-31.03.2014	11	±3
Nisan 2014	01.04.2014-30.04.2014	14	±3
Mayıs 2014	01.05.2014-31.05.2014	18	±3
Haziran 2014	01.06.2014-30.06.2014	22	±3
Temmuz 2014	01.07.2014-31.07.2014	26	±2
Ağustos 2014	01.08.2014-31.08.2014	26	±2

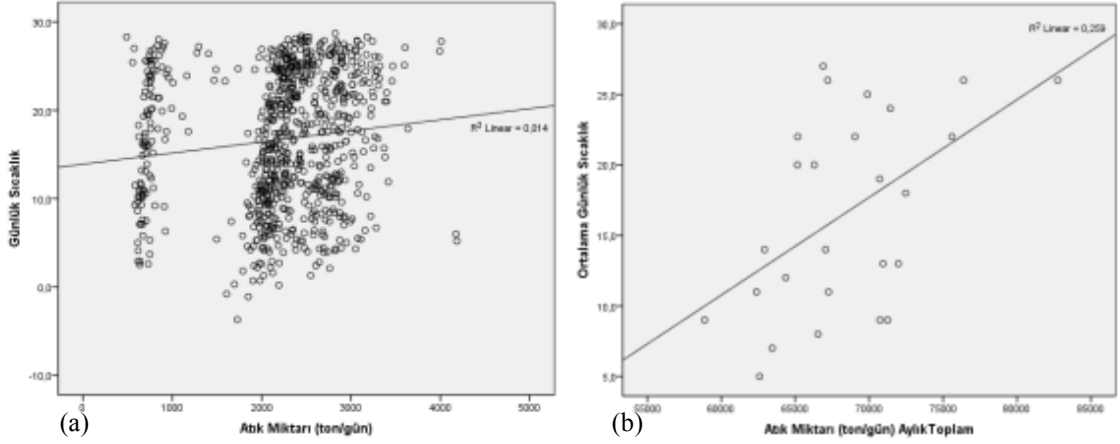


Şekil 4. 32. Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanında depolanan atık miktarı ile dış ortam sıcaklığının değişimi (a) günlük atık miktarı ile günlük sıcaklık (b) aylık toplam atık miktarı ile aylık ortalama sıcaklık

Şekil 4. 32 incelendiğinde depolanan atık miktarı ile dış ortam sıcaklığı arasındaki değişimin birbiri ile ilişkili olup olmadığı araştırılmıştır. Korelasyon²³ ve regresyon analizleri Ek 2’de verilmiştir. Serpilme grafiği ise Şekil 4. 33’te verilmiştir.

²³ Korelasyon katsayısının yorumu aşağıdaki şekilde yapılmaktadır:

- 0,00-0,25 İlişki: Çok Zayıf
- 0,26-0,49 İlişki: Zayıf
- 0,50-0,69 İlişki: Orta
- 0,70-0,89 İlişki: Yüksek
- 0,90-1,00 İlişki: Çok Yüksek



Şekil 4. 33. Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanında Temmuz 2012-Ağustos 2014 arası depolanan atık miktarı ile sıcaklık değeri serpilme grafiği (a) günlük atık miktarı ile günlük sıcaklık (b) aylık toplam atık miktarı ile aylık ortalama sıcaklık

Buna göre depolanan günlük atık miktarı ile günlük sıcaklık değeri arasında çok zayıf pozitif bir ilişki ($R=0,120$, $R^2=0,014$, $F=11,345$, $p=0,001$) bulunmuştur. Ayrıca, depolanan aylık toplam atık miktarı ile aylık ortalama sıcaklık değeri arasında zayıf pozitif bir ilişki ($R=0,509$, $R^2=0,259$, $F=8,399$, $p=0,008$) bulunmuştur.

4.7.4. Mevsimler Arası Farklılık

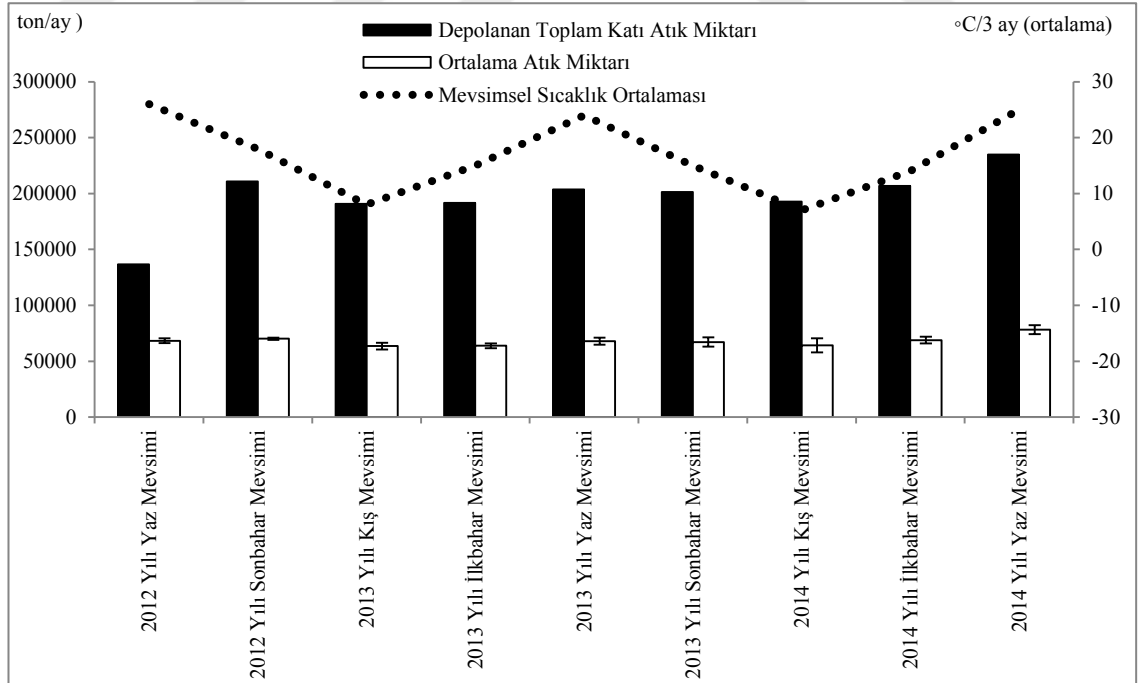
Temmuz 2012 ilâ Ağustos 2014 tarihleri arasında depolanan katı atık miktarının mevsim farklılıklarından etkilenip etkilenmediğinin istatistiksel değerlendirmesi için mevsimler aşağıdaki şekilde gruplanmıştır:

- 2012 Yılı Yaz Mevsimi (Temmuz, Ağustos)
- 2012 Yılı Sonbahar Mevsimi (Eylül, Ekim, Kasım)
- 2013 Yılı Kış Mevsimi (Aralık, Ocak, Şubat)
- 2013 Yılı İlkbahar Mevsimi (Mart, Nisan, Mayıs)
- 2013 Yılı Yaz Mevsimi (Haziran, Temmuz, Ağustos)
- 2013 Yılı Sonbahar Mevsimi (Eylül, Ekim, Kasım)
- 2014 Yılı Kış Mevsimi (Aralık, Ocak, Şubat)
- 2014 Yılı İlkbahar Mevsimi (Mart, Nisan, Mayıs)
- 2014 Yılı Yaz Mevsimi (Haziran, Temmuz, Ağustos)

Mevsimplere göre depolanan atık miktarına ait değerler Çizelge 4. 6'da ve değişim ise Şekil 4. 34'te verilmiştir.

Çizelge 4. 6. Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanında Temmuz 2012-Ağustos 2014 arası mevsimlere göre depolanan atık miktarı

Mevsimler	Mevsimsel Sıcaklık Ortalaması (°C/3 ay)	Standart Sapma	Depolanan Toplam Katı Atık Miktarı (ton/3ay)	Depolanan Ortalama Katı Atık Miktarı (ton/3ay)	Standart Sapma
2012 Yılı Yaz Mevsimi (Temmuz, Ağustos)	26	±1	136780*	68390	±2116
2012 Yılı Sonbahar Mevsimi (Eylül, Ekim, Kasım)	18	±5	210701	70234	±1035
2013 Yılı Kış Mevsimi (Aralık, Ocak, Şubat)	8	±1	190732	63577	±2904
2013 Yılı İlkbahar Mevsimi (Mart, Nisan, Mayıs)	15	±5	191613	63871	±2120
2013 Yılı Yaz Mevsimi (Haziran, Temmuz, Ağustos)	24	±2	203811	67937	±3194
2013 Yılı Sonbahar Mevsimi (Eylül, Ekim, Kasım)	15	±5	201495	67165	±4184
2014 Yılı Kış Mevsimi (Aralık, Ocak, Şubat)	7	±2	192727	64242	±6350
2014 Yılı İlkbahar Mevsimi (Mart, Nisan, Mayıs)	14	±4	206781	68927	±3072
2014 Yılı Yaz Mevsimi (Haziran, Temmuz, Ağustos)	25	±2	234744	78248	±3923



Şekil 4. 34. Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanında Temmuz 2012-Ağustos 2014 arası mevsimlere göre depolanan atık miktarındaki değişim

İstatistiki değerlendirme neticesinde depolanan katı atık miktarlarının:

- Yaz mevsimlerine ait ortalama ve ortanca değerleri sırasıyla,
 - 2012; 68390±2116 ton/3ay ve 2346 ton/3ay, 2013; 67937±3194 ton/3ay ve 2328 ton/3ay, 2014; 78248±3923 ton/3ay ve 2649 ton/3ay,
- Sonbahar mevsimlerine ait ortalama ve ortanca değerleri sırasıyla,
 - 2012; 70234±1035 ton/3ay ve 2349 ton/3ay, 2013; 67165±4184 ton/3ay ve 2267 ton/3ay,
- Kış mevsimlerine ait ortalama ve ortanca değerleri sırasıyla,
 - 2013; 63577±2904 ton/3ay ve 2117 ton/3ay, 2014; 64242±6350 ton/3ay ve 2170 ton/3ay,
- İlkbahar mevsimlerine ait ortalama ve ortanca değerleri sırasıyla,
 - 2013; 63871±2120 ton/3ay ve 2111 ton/3ay, 2014; 68927±3072 ton/3ay ve 2340 ton/3ay,
- 2012 yılı yaz mevsimi ile 2012 yılı sonbahar mevsimi için (U=2847,5 p>0,0167),
- 2013 yılı kış mevsimi ile 2013 yılı ilkbahar mevsimi için (U=4050,5 p>0,0167),
- 2013 yılı yaz mevsimi ile 2013 yılı sonbahar mevsimi için (U=3763 p>0,0167),
- 2013 yılı kış mevsimi ile 2013 yılı yaz mevsimi için (U=3400 p>0,0167),
- 2014 yılı kış mevsimi ile 2014 yılı ilkbahar mevsimi için (U=3404 p>0,0167),
- 2013 yılı ilkbahar mevsimi ile 2013 yılı sonbahar mevsimi için (U=3428,5 p>0,0167),
- 2012 yılı yaz mevsimi ile 2013 yılı yaz mevsimi için (U=2725 p>0,0167),
- 2012 yılı sonbahar mevsimi ile 2013 yılı sonbahar mevsimi için (U=3852,5 p>0,0167),
- 2013 yılı kış mevsimi ile 2014 yılı kış mevsimi için (U=3978 p>0,0167)
- 2012 yılı sonbahar mevsimi ile 2013 yılı kış mevsimi için (U=3380,5 p<0,0167),
- 2013 yılı ilkbahar mevsimi ile 2013 yılı yaz mevsimi için (U=3187 p<0,0167),
- 2014 yılı ilkbahar mevsimi ile 2014 yılı yaz mevsimi için (U=2795 p<0,0167),
- 2014 yılı kış mevsimi ile 2014 yılı yaz mevsimi için (U=2454 p<0,0167),
- 2013 yılı yaz mevsimi ile 2014 yılı yaz mevsimi için (U=2608,5 p<0,0167),
- 2012 yılı yaz mevsimi ile 2014 yılı yaz mevsimi için (U=1815,5 p<0,0167),
- 2013 yılı ilkbahar mevsimi ile 2014 yılı ilkbahar mevsimi için (U=3279 p<0,0167)

olduğu görülmüştür.

4.8. Oluşan Sızıntı Suyunun Değerlendirilmesi

4.8.1. Genel Değerlendirme

Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanında hem atıkların içindeki su muhteviyatından hem gerçekleşen biyokimyasal reaksiyonlar hem de yağışlardan dolayı oluşan sızıntı suyu atık gövdesi içinde süzülerek gövde tabanında gaz toplama sisteminden bağımsız inşa edilen sızıntı suyu kanalları ile toplanarak arıtılmak üzere Hamitler Sızıntı Suyu Arıtma Tesisi gönderilmektedir. Sızıntı suyu, her bir vadiden gelen hatların birleştiği sızıntı suyu ana toplama hattı ile arıtma tesisine ulaşmak olup vadi çıkışlarında sızıntı suyu ölçümü yapılmamaktadır. Düzenli ölçümler arıtma tesisi girişinde ve çıkışında gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle çalışma kapsamında sızıntı suyu değerleri vadi gruplarına²⁴ göre istatistik olarak değerlendirememiştir. Yapılan istatistiksel analizlere Ek 3'te verilmiştir.

Sızıntı suyu debisi 11,79 ilâ 27,83 m³/sa arasında değişmekte olup ortalaması 19,91±3,21 m³/sa'tir. En düşük aylık ortalama sızıntı suyu debisi 16±5 m³/sa olarak Eylül 2012'de, en yüksek aylık ortalama sızıntı suyu debisi 25±10 m³/sa olarak Şubat 2013'te görülmüştür.

BOİ konsantrasyonu 33,40 ilâ 31517,00 mg/L arasında değişmekte olup ortalaması 13170,51±6657,29 mg/L'dir. En düşük aylık BOİ konsantrasyonu 4205±900 mg/L olarak Aralık 2012'de, en yüksek aylık ortalama konsantrasyon 28183±2260 mg/L olarak Ağustos 2013'te görülmüştür.

KOİ konsantrasyonu 6450,00 ilâ 48550,00 mg/L arasında değişmekte olup ortalaması 23000,07±10161,54 mg/L'dir. En düşük aylık KOİ konsantrasyonu 9500±4022 mg/L olarak Aralık 2012'de, en yüksek aylık ortalama konsantrasyon 43988±7094 mg/L olarak Ağustos 2013'te görülmüştür.

pH değeri 6,34 ilâ 8,42 mg/L arasında değişmekte olup ortalaması 7,39±0,4 mg/L'dir. Aylık değişimler Çizelge 4. 7'de verilmiştir.

²⁴ Vadiler atık kabulü/gaz oluşumuna göre aşağıda belirtildiği şekilde sınıflandırılmıştır:

- 1,00 no.lu durum : Ana Vadi (Açık)
- 2,00 no.lu durum : Ana Vadi (Kapalı)
- 3,00 no.lu durum : Ana Vadi (Kapalı) + Z Vadisi

Çizelge 4. 7. Hamitler Sızıntı Suyu Arıtma Tesisi Girişi Temmuz 2012 ile Ağustos 2014 dönemi sızıntı suyu debisi ve bileşenlerinin konsantrasyonlarının aylık ortalaması

Tarih	Ortalama Sızıntı Suyu Debisi		Ortalama BOİ		Ortalama KOİ		Ortalama pH	
	m ³ /sa	Standart Sapma	mg/L	Standart Sapma	mg/L	Standart Sapma	Değer	Standart Sapma
01.07.2012-31.07.2012	22	±8	12543	±287	23837	±4080	7	0
01.08.2012-31.08.2012	21	±8	14189	±3137	26180	±6416	7	0
01.09.2012-30.09.2012	16	±5	8116	±5749	15115	±8930	7	±1
01.10.2012-31.10.2012	20	±7	8315	±1883	15744	±2448	7	0
01.11.2012-30.11.2012	18	±6	7879	±2121	13230	±3578	8	0
01.12.2012-31.12.2012	20	±6	4205	±900	9500	±4022	8	0
01.01.2013-31.01.2013	23	±8	7210	±7210			8	0
01.02.2013-28.02.2013	25	±10	6710	±6710			8	0
01.03.2013-31.03.2013	22	±8	9430	±99			8	0
01.04.2013-30.04.2013	24	±9	7880	±1146			8	0
01.05.2013-31.05.2013	21	±7	8790	±636			8	±1
01.06.2013-30.06.2013	21	±7	9780	±9780			8	0
01.07.2013-31.07.2013	21	±7	13724	±6592	21623	±11531	7	0
01.08.2013-31.08.2013	18	±6	28183	±2660	43988	±7094	7	0
01.09.2013-30.09.2013	17	±6	11776	±7879	22543	±10355	7	0
01.10.2013-31.10.2013	19	±7	10317	±3547	18127	±3358	8	0
01.11.2013-30.11.2013	18	±6	10784	±3257	17277	±2935	8	0
01.12.2013-31.12.2013	19	±7	12980	±849	19900	±919	7	0
01.01.2014-31.01.2014	19	±7	12794	±5166	19184	±7064	7	0
01.02.2014-28.02.2014	21	±7	23088	±2200	38538	±816	7	0
01.03.2014-31.03.2014	18	±6	18988	±4240	28350	±5634	7	0
01.04.2014-30.04.2014	17	±6	14819	±2060	25150	±3182	7	0
01.05.2014-31.05.2014	20	±7	13334	±2702	22175	±5963	7	0
01.06.2014-30.06.2014	17	±6	10337	±3003	15633	±6022	7	0
01.07.2014-31.07.2014	20	±7	18380	±8370	30393	±8707	7	0
01.08.2014-31.08.2014	20	±7	21392	±3864	33806	±5507	7	0

Çizelge 4. 8’de ise çalışma kapsamında incelenen ağır metallerin konsantrasyonlarının aylık ortalaması verilmiştir.

Çizelge 4. 8. Hamitler Sızıntı Suyu Arıtma Tesisi Girişi Temmuz 2012 ile Ağustos 2014 dönemi ağır metal konsantrasyonlarının aylık ortalaması

Tarih	Ortalama Fe		Ortalama Zn		Ortalama Al		Ortalama Pb		Ortalama Cu	
	mg/L	Standart Sapma	mg/L	Standart Sapma	mg/L	Standart Sapma	mg/L	Standart Sapma	mg/L	Standart Sapma
01.07.2012-31.07.2012	9	±1	3	±1	1	±1	0	0	1	±1
01.08.2012-31.08.2012	7	±5	2	±2	1	0	0	0	1	±1
01.09.2012-30.09.2012	6	±5	2	±1	1	0	0	0	0	0
01.10.2012-31.10.2012	3	0	1	0	1	0	1		1	±1
01.11.2012-30.11.2012	2	0	1	0	1	0	1	±1	1	0
01.12.2012-31.12.2012	1	0	1	0	1	0	0		1	0
01.01.2013-31.01.2013					4		1		0	
01.02.2013-28.02.2013					3		1		0	
01.03.2013-31.03.2013					2	±1	0	0	0	0
01.04.2013-30.04.2013					2	0	1	0	0	0
01.05.2013-31.05.2013					1	±1	1	0	0	0
01.06.2013-30.06.2013					1		0		0	
01.07.2013-31.07.2013	3	±1	2	±1	1	0			1	0
01.08.2013-31.08.2013	2	0	3	±1	1	1			1	0

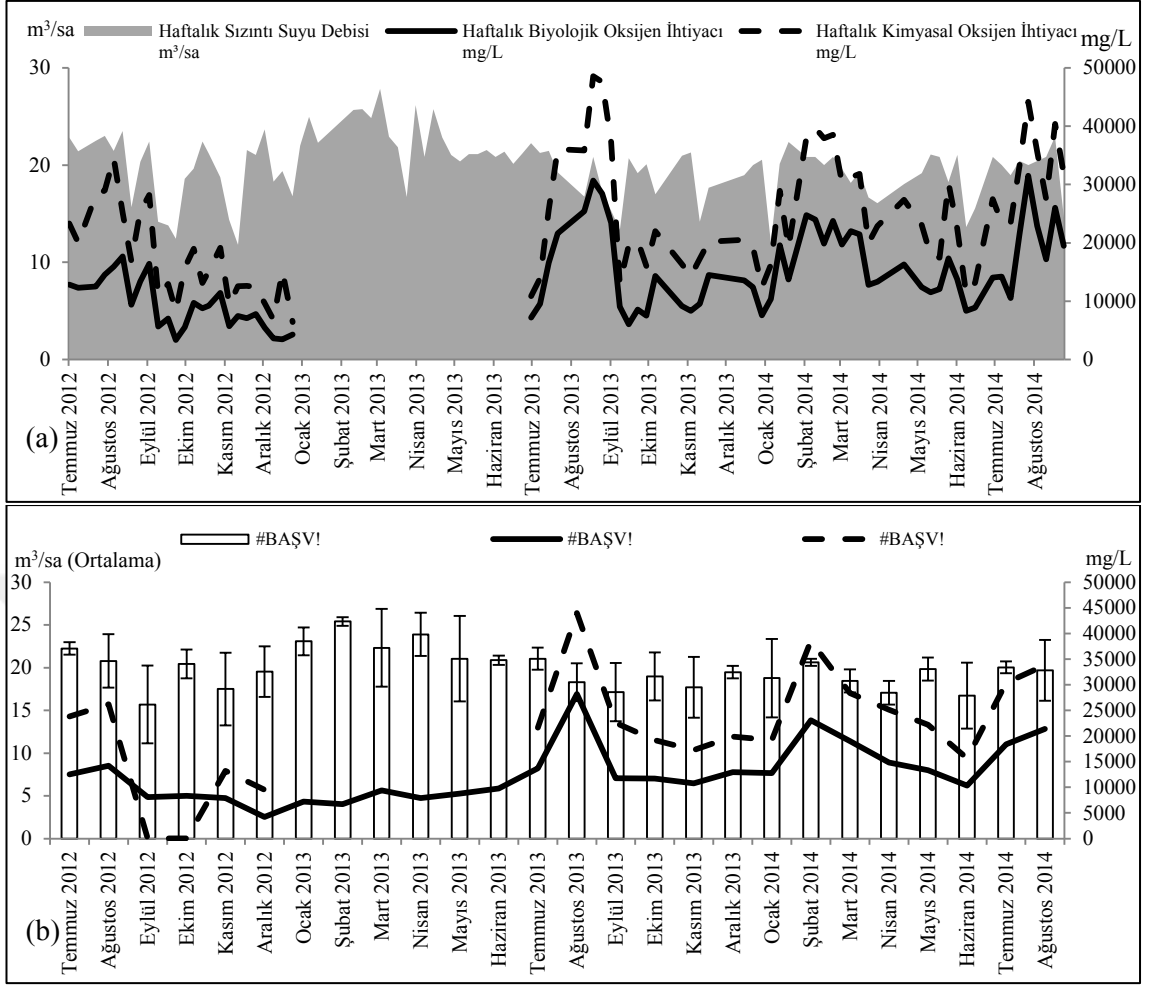
Çizelge 4. 8. Hamitler Sızıntı Suyu Arıtma Tesisi Girişi Temmuz 2012 ile Ağustos 2014 dönemi ağır metal konsantrasyonlarının aylık ortalaması (devam)

Tarih	Ortalama Fe		Ortalama Zn		Ortalama Al		Ortalama Pb		Ortalama Cu	
	mg/L	Standart Sapma	mg/L	Standart Sapma	mg/L	Standart Sapma	mg/L	Standart Sapma	mg/L	Standart Sapma
01.09.2013-30.09.2013	3	±1	2	±1	0	0	1	0	1	0
01.10.2013-31.10.2013	1	±1	2	0	0	0	0	0	0	0
01.11.2013-30.11.2013	2		3		1		0		1	
01.12.2013-31.12.2013	1		1		1				0	
01.01.2014-31.01.2014	4	±2	2	0	1	0	0	0	1	±1
01.02.2014-28.02.2014										
01.03.2014-31.03.2014	6		4		2		1		1	
01.04.2014-30.04.2014	1		2		1				1	
01.05.2014-31.05.2014	3	0	2	0	1	0			1	0
01.06.2014-30.06.2014	3	±1	2	±1	1	0	1		1	0
01.07.2014-31.07.2014	6	±1	3	±1	1	0	1	0	1	0
01.08.2014-31.08.2014	4	±1	4	±1	1	±1			1	±1

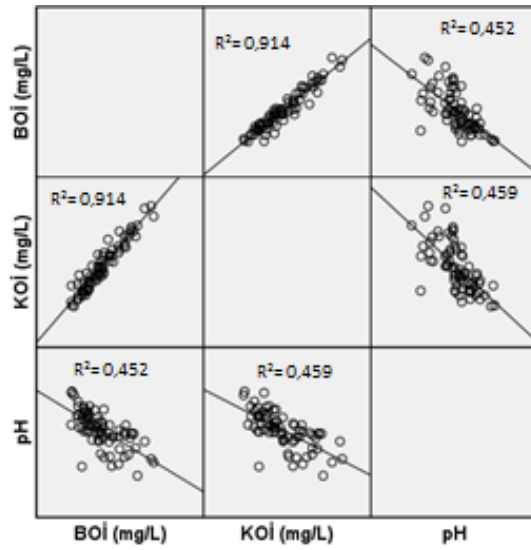
4.8.2. Debi-BOİ-KOİ-pH ve Ağır Metallerin Değerlendirilmesi

Hamitler Sızıntı Suyu Arıtma Tesisi girişinde alınan haftalık numunelere göre Temmuz 2012 ile Ağustos 2014 dönemi için sızıntı suyu debisi ile BOİ ve KOİ'nin haftalık aylık değişimi Şekil 4. 35'te verilmiştir. Korelasyona ilişkin serpilme grafiği ise Şekil 4. 36'da verilmiştir.

Buna göre BOİ ile KOİ değeri arasında çok yüksek pozitif bir ilişki ($R=0,956$, $R^2=0,914$, $F=763$ $p=0$) bulunmuştur. BOİ ile pH değeri arasında orta negatif bir ilişki ($R=-0,651$, $R^2=0,424$, $F=59$ $p=0$) bulunmuştur. KOİ ile pH değeri arasında orta pozitif bir ilişki ($R=0,678$, $R^2=0,459$, $F=61$ $p=0$) bulunmuştur.

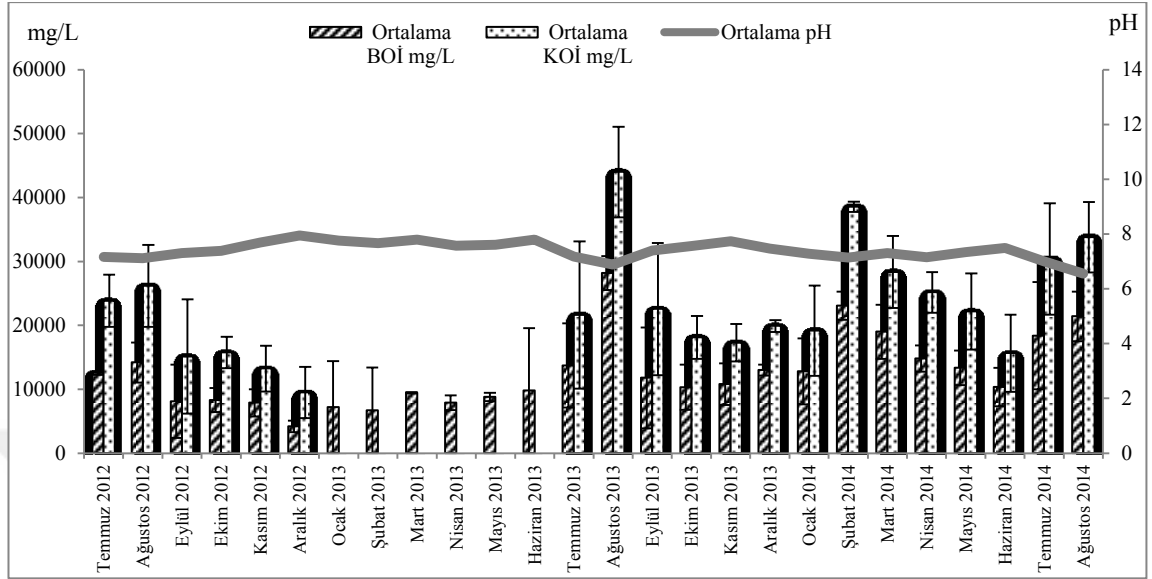


Şekil 4. 35. Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanında Temmuz 2012-Ağustos 2014 arası sızıntı suyu debisi ile BOİ ve KOİ değişimi (a) haftalık (b) aylık

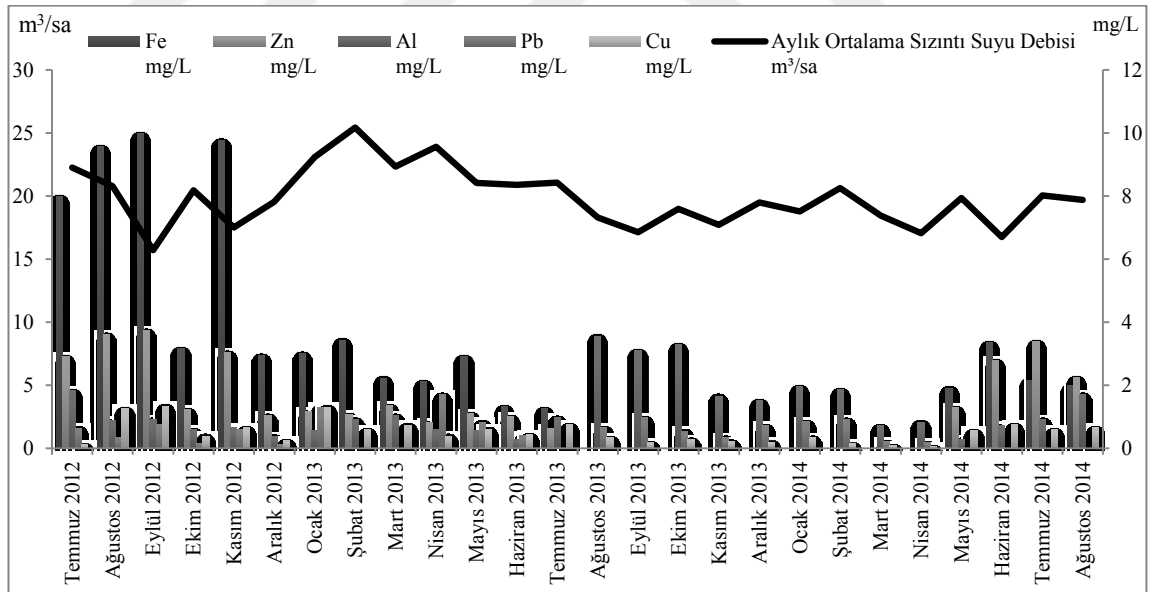


Şekil 4. 36. Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanında Temmuz 2012-Ağustos 2014 arası sızıntı suyunda aylık pH ile BOİ ve KOİ ilişkisi

Temmuz 2012 ile Ağustos 2014 dönemi için sızıntı suyundaki ağır metal konsantrasyonlarının haftalık değişimi Şekil 4. 38’de verilmiştir.



Şekil 4. 37. Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanında Temmuz 2012-Ağustos 2014 arası sızıntı suyunda aylık pH ile BOİ ve KOİ değişimi



Şekil 4. 38. Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanında Temmuz 2012-Ağustos 2014 arası sızıntı suyunda haftalık ağır metal konsantrasyonlarının değişimi

4.8.3. Mevsimler Arası Farklılık

Temmuz 2012 ilâ Ağustos 2014 tarihleri arasında sızıntı suyu debisi, BOİ ve KOİ konsantrasyonlarının mevsim farklılıklarından etkilenip etkilenmediğinin istatistiksel değerlendirmesi Ek 4'te verilmiştir. Bunun için mevsimler aşağıdaki şekilde gruplanmıştır:

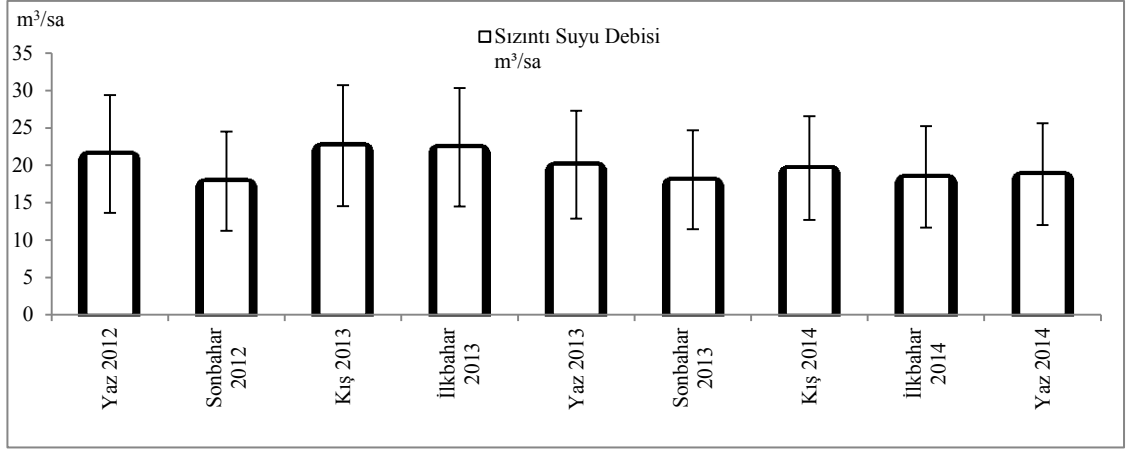
- Sonbahar Mevsimi (2012, 2013; Eylül, Ekim, Kasım)
- Kış Mevsimi (2013, 2014; Aralık, Ocak, Şubat)
- İlkbahar Mevsimi (2013, 2014; Mart, Nisan, Mayıs)
- Yaz Mevsimi (2012, 2013, 2014; Temmuz, Ağustos)

Mevsimsel sızıntı suyu debisinin değişimi Şekil 4. 39'da, pH ile BOİ ve KOİ değişimi Şekil 4. 40'ta ve ağır metal değişimi ise Şekil 4. 41.'de verilmiştir.

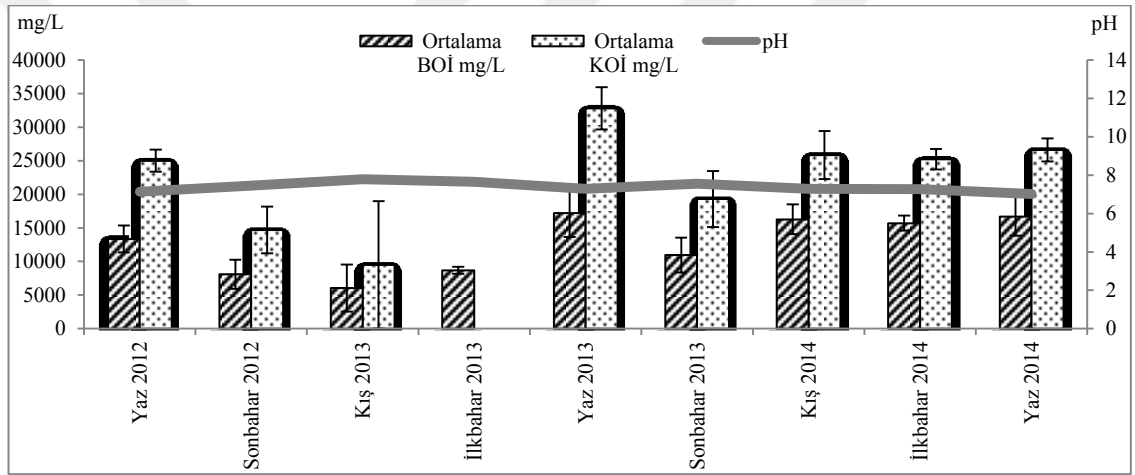
İstatistiki değerlendirme neticesinde sırayla genel ortalamalar ve sıra ortalamalar;

- Sonbahar mevsimlerinde debi $17,90 \pm 3,48 \text{ m}^3/\text{sa}$; 34,59, BOİ $9370,70 \pm 4338,53 \text{ mg/L}$; 26,87 ve KOİ $16781,09 \pm 6350,66 \text{ mg/L}$; 23,57,
- Kış mevsimlerinde debi $21,01 \pm 3,26 \text{ m}^3/\text{sa}$; 58,15, BOİ $12514 \pm 7675,28 \text{ mg/L}$; 38,06 ve KOİ $22048,93 \pm 12280,53$; 34,93 mg/L,
- İlkbahar mevsimlerinde debi $20,75 \pm 2,99 \text{ m}^3/\text{sa}$; 53,70, BOİ $13195,13 \pm 4796,03 \text{ mg/L}$; 44,44 ve KOİ $25240,00 \pm 5659,69 \text{ mg/L}$; 45,20,
- Yaz mevsimlerinde debi $20,08 \pm 2,53 \text{ m}^3/\text{sa}$; 50,31, BOİ $16652,75 \pm 6973,24 \text{ mg/L}$; 55,29 ve KOİ $27961,30 \pm 10349,08 \text{ mg/L}$; 47,85,

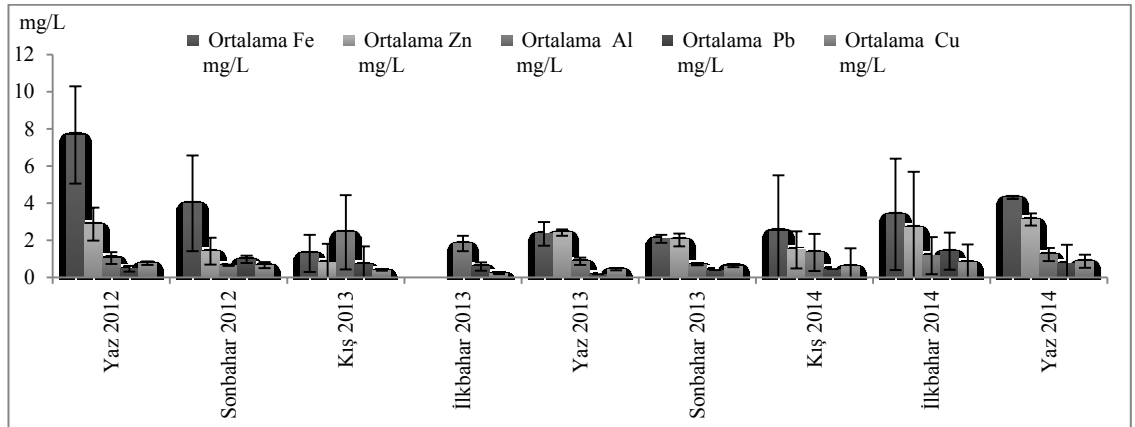
olarak bulunmuştur.



Şekil 4. 39. Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanında Temmuz 2012-Ağustos 2014 arası mevsimsel sızıntı suyu değişimi



Şekil 4. 40. Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanında Temmuz 2012-Ağustos 2014 arası sızıntı suyunda mevsimsel pH ile BOİ ve KOİ değişimi



Şekil 4. 41. Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanında Temmuz 2012-Ağustos 2014 arası sızıntı suyunda mevsimsel ağır metal değişimi

4.9. Oluşan Gaz Debisinin Değerlendirilmesi

4.9.1. Genel Değerlendirme

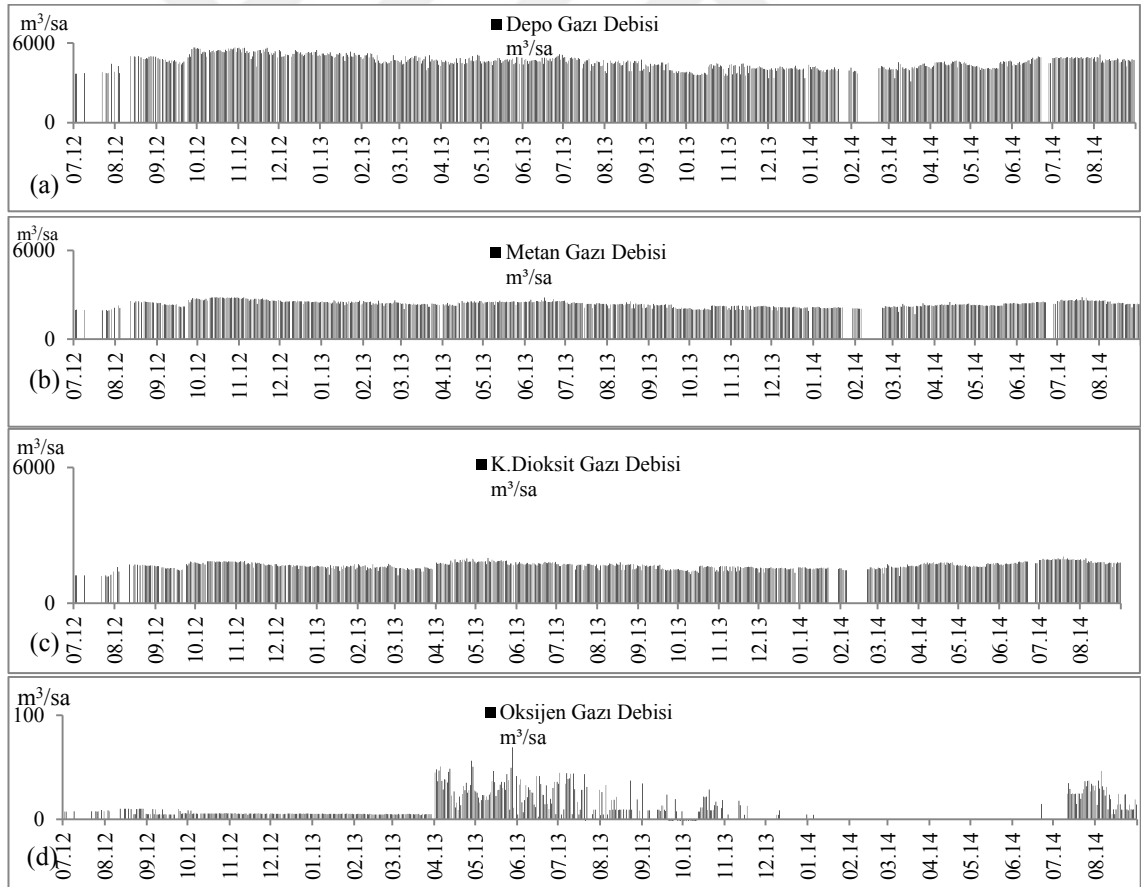
Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisi'nin işleme açıldığı Temmuz 2012'den Ağustos 2014 sonuna kadar katı atık gövdesi içinden toplamda 86.894.549 m³ depo gazı olmak üzere 45.021.570 m³ metan gazı ve 31.346.573 m³ karbondioksit gazı toplanmıştır. Çalışma kapsamında incelenen Temmuz 2012 ile Ağustos 2014 dönemine ait gaz debilerinin aylık ortalaması Çizelge 4. 9'da verilmiştir. Toplanan gaz miktarındaki günlük ve aylık değişimler de Şekil 4. 42 ve Şekil 4. 43'te verilmiştir.

Çizelge 4. 9. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012 ile Ağustos 2014 döneminde toplanan aylık ortalama gaz debileri

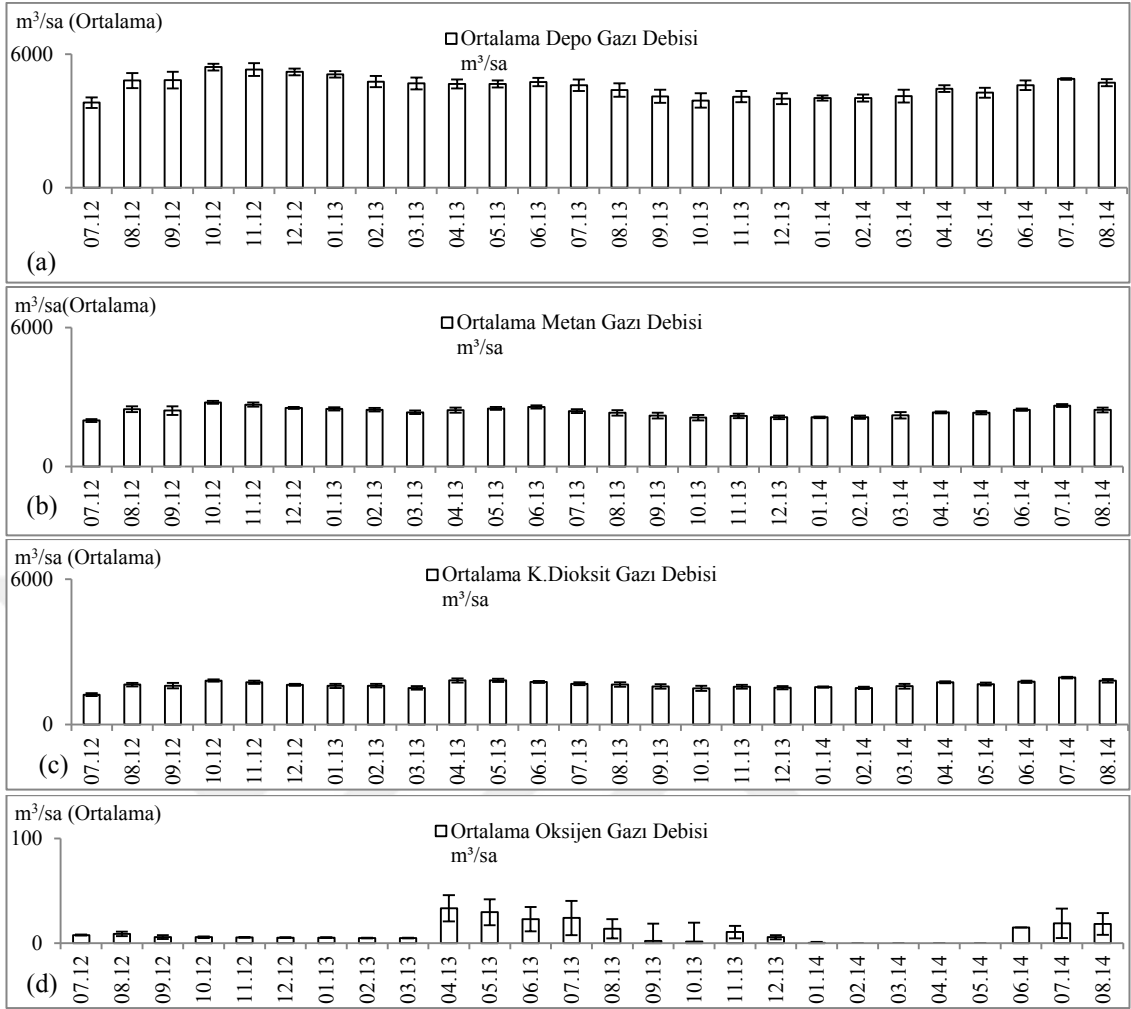
Gaz Oluşumuna Göre Vadi Grupları	Tarih	Gaz Debisi m ³ /ay			Ortalama Gaz Debisi m ³ /sa					
		Depo Gazı	Metan Gazı	Karbondioksit Gazı	Depo Gazı	Standart Sapma	Metan Gazı	Standart Sapma	Karbondioksit Gazı	Standart Sapma
	01.07.2012-31.07.2012	25601040	13297054	8255629	3823	±233	1985	±60	1232	±65
	01.08.2012-31.08.2012	57400344	29472206	19621452	4821	±340	2475	±119	1648	±73
	01.09.2012-30.09.2012	94083840	46991044	31151704	4839	±371	2417	±185	1602	±113
	01.10.2012-31.10.2012	121108742	61847415	40478458	5426	±148	2770	±65	1813	±41
	01.11.2012-30.11.2012	118630980	59734145	39020299	5315	±288	2676	±83	1748	±65
	01.12.2012-31.12.2012	116318448	56556597	36624464	5211	±153	2533	±41	1640	±39
		Toplam Depo Gazı: 533143394 m ³ (Aylık Ortalama: 4906±585 m ³ /sa)								
		Toplam Metan Gazı: 267898461 m ³ (Aylık Ortalama: 2476±273 m ³ /sa)								
		Toplam Karbondioksit Gazı: 175152006 m ³ (Aylık Ortalama: 1614±202 m ³ /sa)								
1 No.lu Durum Ana Vadi (Açık)	2012 Yılı									
	01.01.2013-31.01.2013	117492480	57404687	36726704	5094	±144	2488	±69	1592	±86
	01.02.2013-28.02.2013	89821536	46191333	30140426	4773	±249	2454	±81	1601	±71
	01.03.2013-31.03.2013	108138912	50555217	32533993	4688	±271	2343	±80	1507	±72
	01.04.2013-30.04.2013	97421040	50773861	37975060	4667	±195	2430	±111	1818	±82
	01.05.2013-31.05.2013	104160744	55914267	40719651	4666	±155	2505	±60	1824	±69
	01.06.2013-30.06.2013	102643200	55476532	37848576	4752	±182	2568	±66	1752	±39
		Toplam Depo Gazı: 11528221306 m ³ (Aylık Ortalama: 4906±585 m ³ /sa)								
		Toplam Metan Gazı: 584214358 m ³ (Aylık Ortalama: 2476±273 m ³ /sa)								
		Toplam Karbondioksit Gazı: 391096416 m ³ (Aylık Ortalama: 1614±202 m ³ /sa)								
	1 No.lu Durum Toplamı									
	01.07.2013-31.07.2013	102933144	53408212	37554885	4611	±260	2392	±84	1682	±65
	01.08.2013-31.08.2013	98130624	51754792	36899462	4396	±303	2318	±121	1653	±94
	01.09.2013-30.09.2013	88786080	47572741	33855662	4110	±291	2202	±123	1567	±92
	01.10.2013-31.10.2013	90056736	48634192	34423141	3916	±324	2112	±118	1495	±104
	01.11.2013-30.11.2013	88444080	47117290	33648461	4094	±247	2181	±97	1557	±77
	01.12.2013-31.12.2013	83664288	44327908	31631358	4003	±251	2126	±76	1516	±64
		Toplam Depo Gazı: 1171692864 m ³ (Aylık Ortalama: 4110±200 m ³ /sa)								
		Toplam Metan Gazı: 50760919 m ³ (Aylık Ortalama: 2343±155 m ³ /sa)								
		Toplam Karbondioksit Gazı: 35329782 m ³ (Aylık Ortalama: 1630±116 m ³ /sa)								
	2013 Yılı									
	01.01.2014-31.01.2014	71956704	37941512	27479317	4029	±117	2124	±32	1538	±26
	01.02.2014-28.02.2014	35253792	18628762	13177529	4035	±161	2132	±65	1508	±43
		Toplam Depo Gazı: 659225448 m ³ (Aylık Ortalama: 4149±233 m ³ /sa)								
		Toplam Metan Gazı: 349385409 m ³ (Aylık Ortalama: 2198±103 m ³ /sa)								
		Toplam Karbondioksit Gazı: 248669815 m ³ (Aylık Ortalama: 1565±68 m ³ /sa)								
	2 No.lu Durum Toplamı									

Çizelge 4. 9. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012 ile Ağustos 2014 döneminde toplanan aylık ortalama gaz debileri (devam)

Gaz Oluşumuna Göre Vadi Grupları	Tarih	Gaz Debisi m ³ /ay			Ortalama Gaz Debisi m ³ /sa					
		Depo Gazı	Metan Gazı	Karbon dioksit Gazı	Depo Gazı	Standart Sapma	Metan Gazı	Standart Sapma	Karbon dioksit Gazı	Standart Sapma
3 No.lu Durum Ana Vadi (Kapalı) + Z Vadisi	01.03.2014-31.03.2014	91877304	49452054	35310131	4116	±285	2215	±136	1581	±100
	01.04.2014-30.04.2014	96243120	50555858	37687576	4455	±149	2340	±43	1744	±43
	01.05.2014-31.05.2014	98490720	53640129	38387809	4270	±223	2325	±69	1664	±60
	01.06.2014-30.06.2014	79630560	42376714	30471419	4608	±210	2452	±49	1763	±50
	01.07.2014-31.07.2014	112777008	60704557	44627542	4889	±39	2632	±58	1934	±31
	01.08.2014-31.08.2014	108804048	56326471	41650126	4717	±158	2442	±103	1805	±70
2014 Yılı		Toplam Depo Gazı: 695033256 m ³ (Aylık Ortalama: 4390±328 m ³ /sa) Toplam Metan Gazı: 369626058 m ³ (Aylık Ortalama: 2333±174 m ³ /sa) Toplam Karbon dioksit Gazı: 268791447 m ³ (Aylık Ortalama: 1692±146 m ³ /sa)								
3 No.lu Durum Toplamı		Toplam Depo Gazı: 587822760 m ³ (Aylık Ortalama: 4509±287 m ³ /sa) Toplam Metan Gazı: 313055784 m ³ (Aylık Ortalama: 2401±142 m ³ /sa) Toplam Karbon dioksit Gazı: 228134601 m ³ (Aylık Ortalama: 1749±120 m ³ /sa)								
GENEL TOPLAM		Toplam Depo Gazı: 2399869514 m ³ (Aylık Ortalama: 4809±385 m ³ /sa) Toplam Metan Gazı: 1246655551 m ³ (Aylık Ortalama: 2473±155 m ³ /sa) Toplam Karbon dioksit Gazı: 867900832 m ³ (Aylık Ortalama: 1683±106 m ³ /sa)								



Şekil 4. 42. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012- Ağustos 2014 arası toplanan gaz debisindeki günlük değişim (a) depo gazı (b) metan gazı (c) karbondioksit gazı (d) oksijen gazı



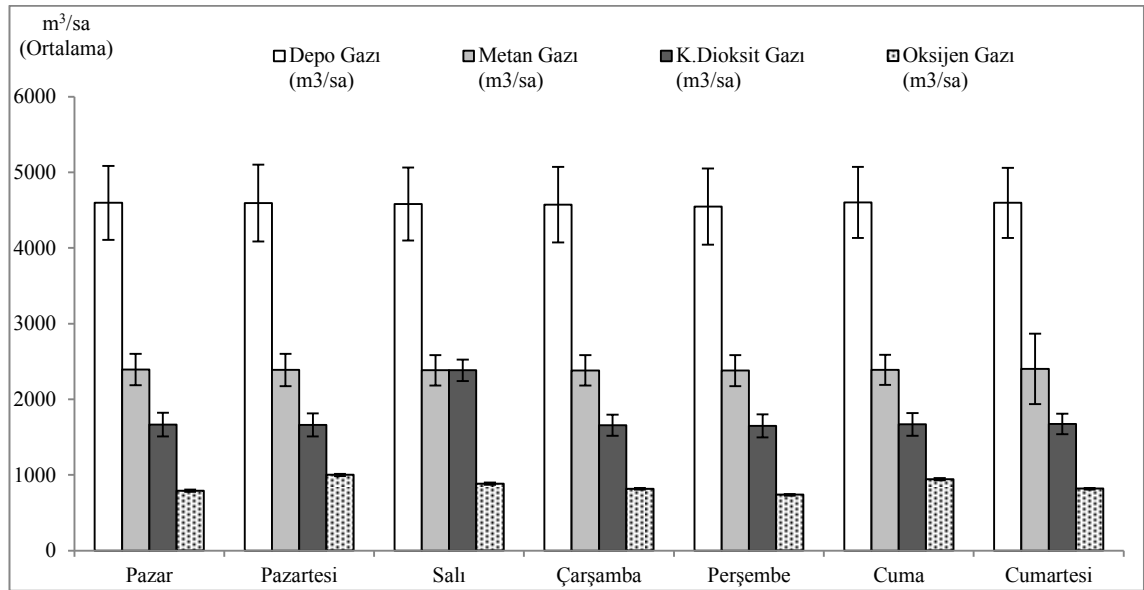
Şekil 4. 43. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012-Ağustos 2014 arası toplanan gaz debisindeki aylık değişim (a) depo gazı (b) metan gazı (c) karbondioksit gazı (d) oksijen gazı

Şekil 4. 42'de görüldüğü üzere Temmuz 2012 ile Ağustos 2014 dönemi için günlük toplanan depo gazının debisi 3110 m³/sa (17.03.2014 Pazartesi) ilâ 5680 m³/sa (28-29.09.2012 Cuma-Cumartesi) arasında, metan gazının debisi 1686 m³/sa (17.03.2014 Pazartesi) ilâ 2841 m³/sa (13.10.2012 Cumartesi) arasında, karbondioksit gazının debisi 1169 m³/sa (26.07.2012 Perşembe) ilâ 2055 m³/sa (19.07.2014 Cumartesi) arasında, oksijen gazının debisi -29 m³/sa (08-10-11.10.2013 Salı-Perşembe-Cuma) ilâ 69 m³/sa arasında değişmektedir. Şekil 4. 43'te görüldüğü üzere ise aylık toplanan depo gazının debisi 34410 m³/sa (Temmuz 2012, günlük ortalaması 3823 m³/sa) ilâ 164765 m³/sa (Kasım 2012, günlük ortalaması 5315 m³/sa) arasında, metan gazının debisi 17872 m³/sa (Temmuz 2012, günlük ortalaması 1986 m³/sa) ilâ 83128 m³/sa (Ekim 2012, günlük ortalaması 2871 m³/sa) arasında, karbondioksit gazının debisi 11096 m³/sa

(Temmuz 2012, günlük ortalaması 1233 m³/sa) ilâ 59983 m³/sa (Temmuz 2014, günlük ortalaması 1935 m³/sa) arasında, oksijen gazının debisi 0 m³/sa (Şubat, Mart, Nisan, Mayıs 2014) ilâ 959 m³/sa (Nisan 2013, günlük ortalaması 33 m³/sa) arasında değişmektedir. Çizelge 4. 10 ve Şekil 4. 44'te toplanan gaz debilerinin haftalık dağılımı verilmiştir.

Çizelge 4. 10. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012-Ağustos 2014 arası toplanan gaz debilerinin haftalık dağılımı

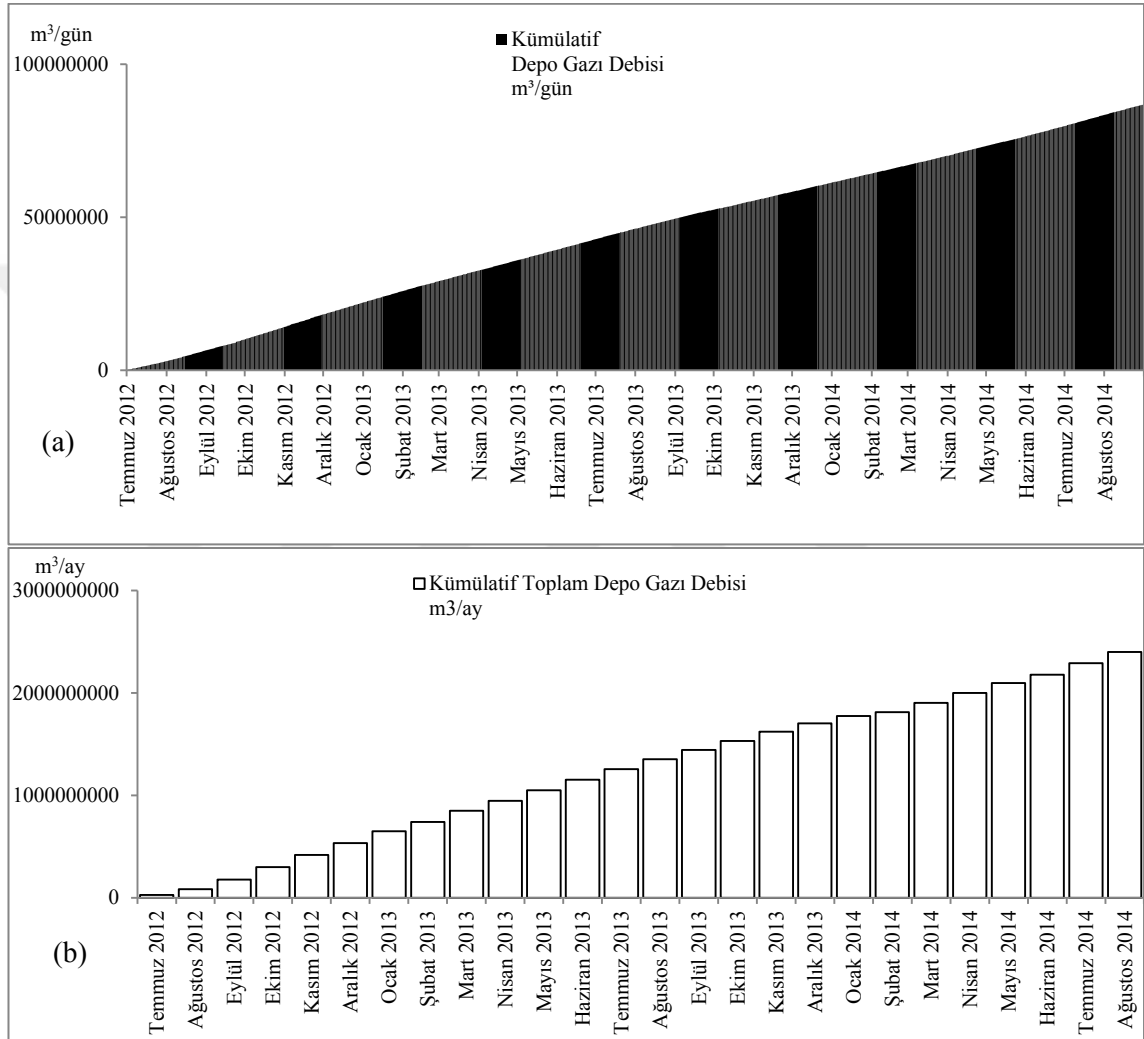
Günler	Pazar	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi
Depo Gazı							
Gün Sayısı	98	103	101	105	100	104	104
Toplam (m ³ /gün)	10814184	11357378	11102276	11521688	10913930	11487960	11473548
Ortalama (m ³ /sa)	4598	4594	4580	4572	4547	4603	4597
Standart Sapma	489	508	482	499	503	470	464
Metan Gazı							
Gün Sayısı	97	103	101	105	100	104	103
Toplam (m ³ /gün)	5571770	5901970	5776786	6004489	5711911	5963855	5938697
Ortalama (m ³ /sa)	2393	2388	2383	2383	4547	2389	2402
Standart Sapma	209	214	200	200	503	199	200
Karbon dioksit Gazı							
Gün Sayısı	97	103	101	105	100	104	103
Toplam (m ³ /gün)	38725245	4104624	4030559	4177362	3957300	4164749	4139538
Ortalama (m ³ /sa)	1665	1660	1663	1658	1649	1669	1675
Standart Sapma	155	153	142	140	152	149	136
Oksijen Gazı							
Gün Sayısı	85	89	88	90	86	92	87
Toplam (m ³ /gün)	18984	23999	21198	19608	17706	22648	19611
Ortalama (m ³ /sa)	9	11	10	9	9	10	9
Standart Sapma	14	14	15	12	11	14	12



Şekil 4. 44. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012-Ağustos 2014 arası toplanan gaz debilerinin haftalık dağılımı

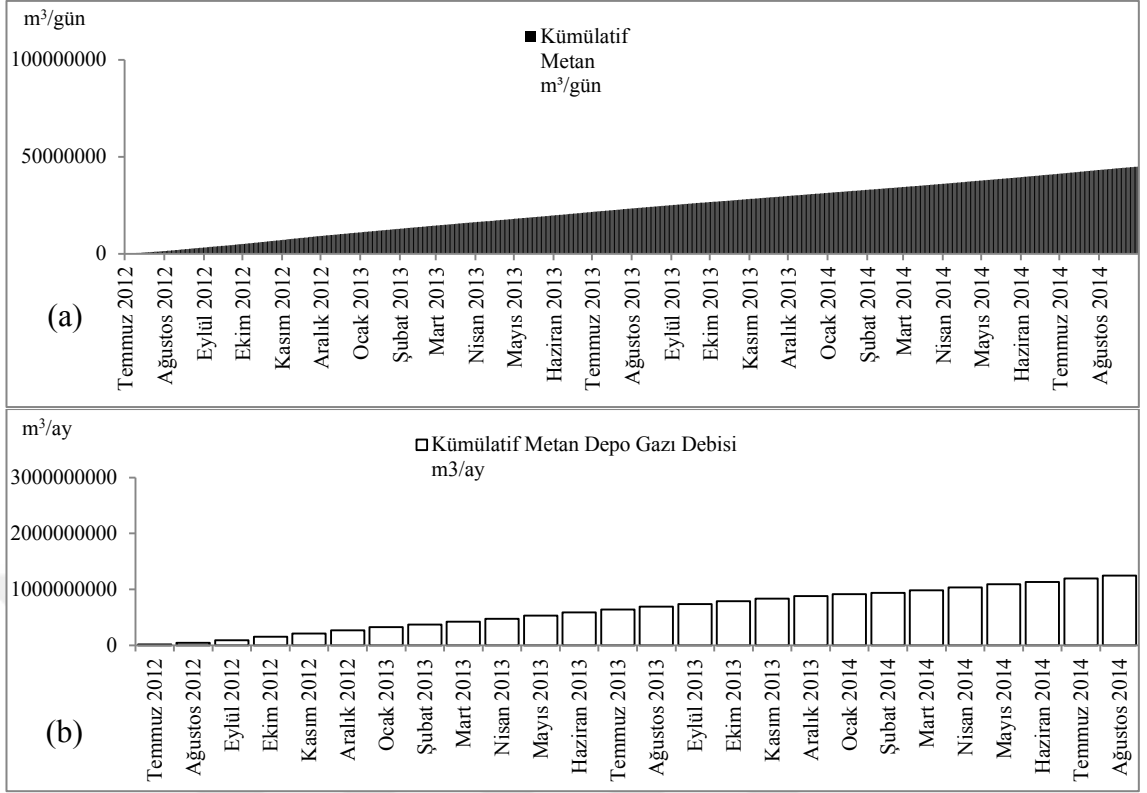
Kümülatif toplanan gaz debileri ise Şekil 4. 45., Şekil 4. 46.,

Şekil 4. 47. ve Şekil 4. 48'de verilmiştir. Buna göre Temmuz 2012 ilâ Ağustos 2014 tarihleri arasında²⁵ Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde toplam 2399869514 m³ depo gazı, 1246655551 m³ metan gazı, 12322490487 m³/gün karbondioksit gazı ve 867900832 m³ oksijen gazı depolanmıştır.

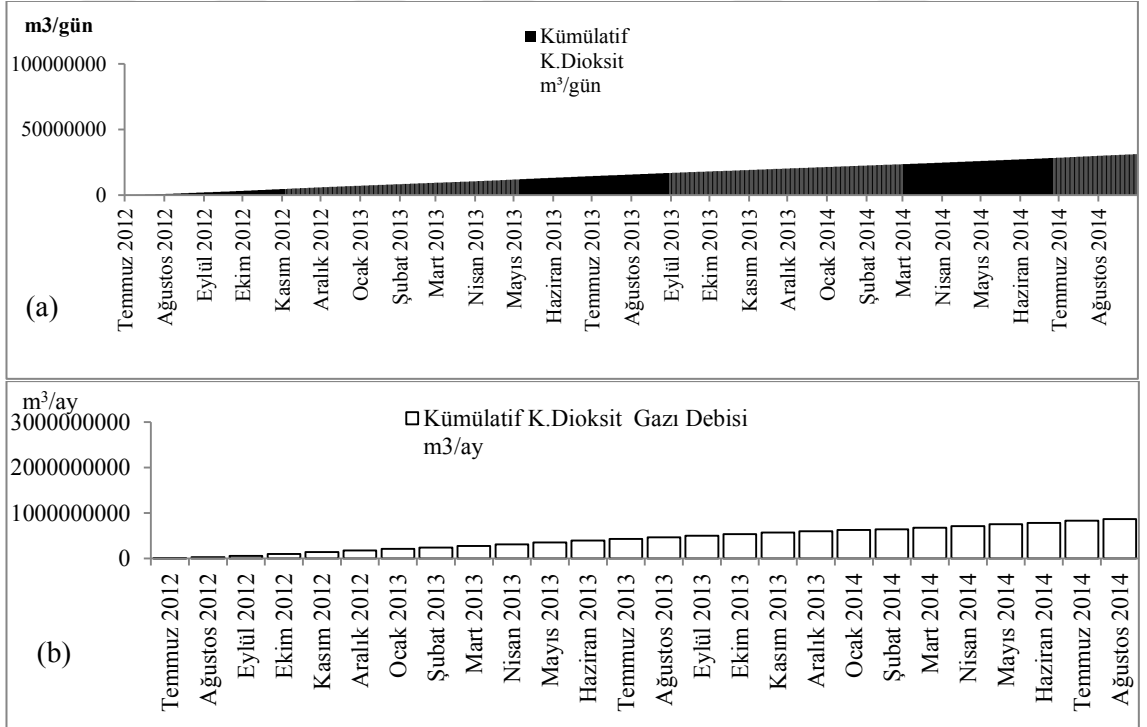


Şekil 4. 45. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012-Ağustos 2014 arası toplanan kümülatif depo gazı debisi (a) günlük (b) aylık

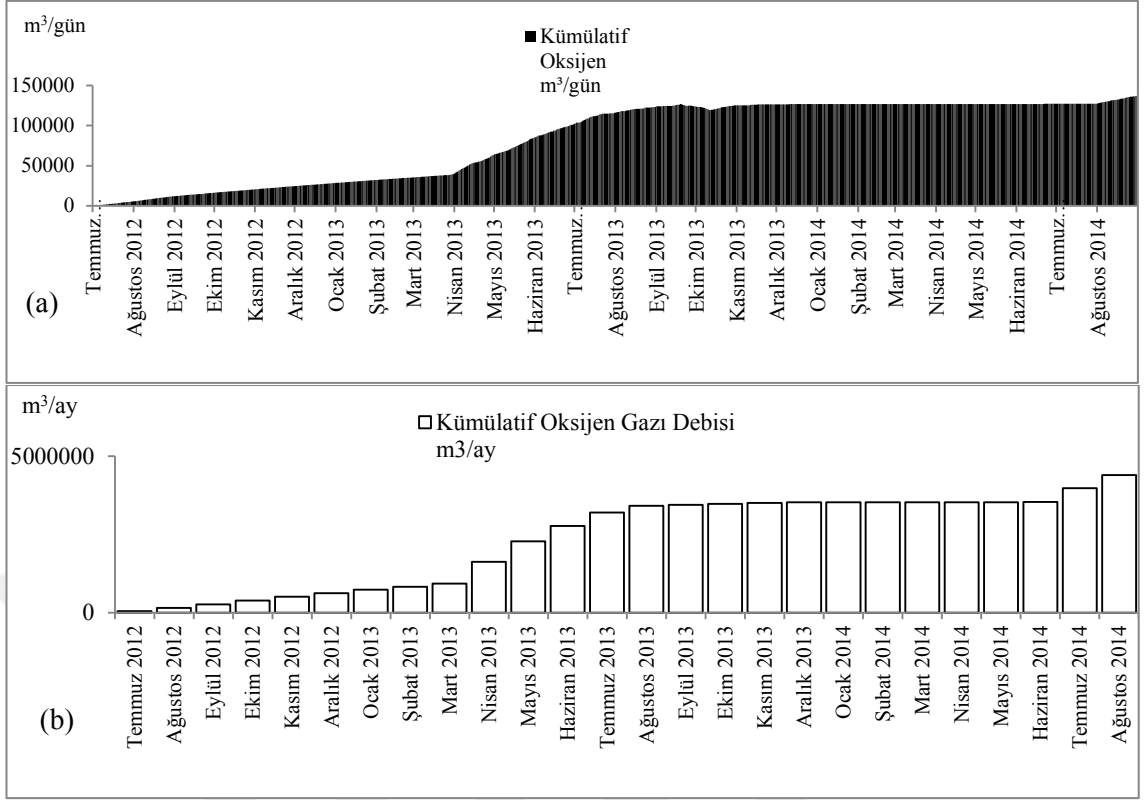
²⁵ 2012 yılında 533143394 m³ depo gazı, 267898461 m³ metan gazı, 175152006 m³ karbondioksit gazı toplanmıştır. 2013 yılında 1171692864 m³ depo gazı, 50760919 m³ metan gazı, 35329782 m³ karbondioksit gazı toplanmıştır. 2013 yılında 695033256 m³ depo gazı, 369626058 m³ metan gazı, 268791447 m³ karbondioksit gazı toplanmıştır. 1 no.lu durumda 11528221306 m³ depo gazı, 584214358 m³ metan gazı, 391096416 m³ karbondioksit gazı toplanmıştır. 2 no.lu durumda 659225448 m³ depo gazı, 349385409 m³ metan gazı, 248669815 m³ karbondioksit gazı toplanmıştır. 3 no.lu durumda 587822760 m³ depo gazı, 313055784 m³ metan gazı, 228134601 m³ karbondioksit gazı toplanmıştır.



Şekil 4. 46.Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012-Ağustos 2014 arası toplanan kümülatif metan gazı debisi (a) günlük (b) aylık



Şekil 4. 47. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012-Ağustos 2014 arası toplanan kümülatif karbondioksit gazı debisi (a) günlük (b) aylık



Şekil 4. 48. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012-Ağustos 2014 arası toplanan kümülatif oksijen gazı debisi (a) günlük (b) aylık

Grafikler incelendiğinde toplanan gaz debisinde düzenli bir artış olduğu görülmektedir. Çalışma kapsamında, toplanan gaz debisinin istatistiki genel değerlendirmesinin yanı sıra hem bu artışın istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı hem de sıcaklık değişimi ve mevsim farklılıklarından gaz oluşumunun etkilenip etkilenmediği istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

4.9.2. Gaz Debisinin Yıllara Göre Değişimi

Çalışma kapsamında, Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012 ilâ Ağustos 2014 arası toplanan gaz debisinin yıllara göre değişim gösterip göstermediği araştırılmıştır. İstatistiksel testler²⁶ Ek 5'te verilmiştir. Buna göre:

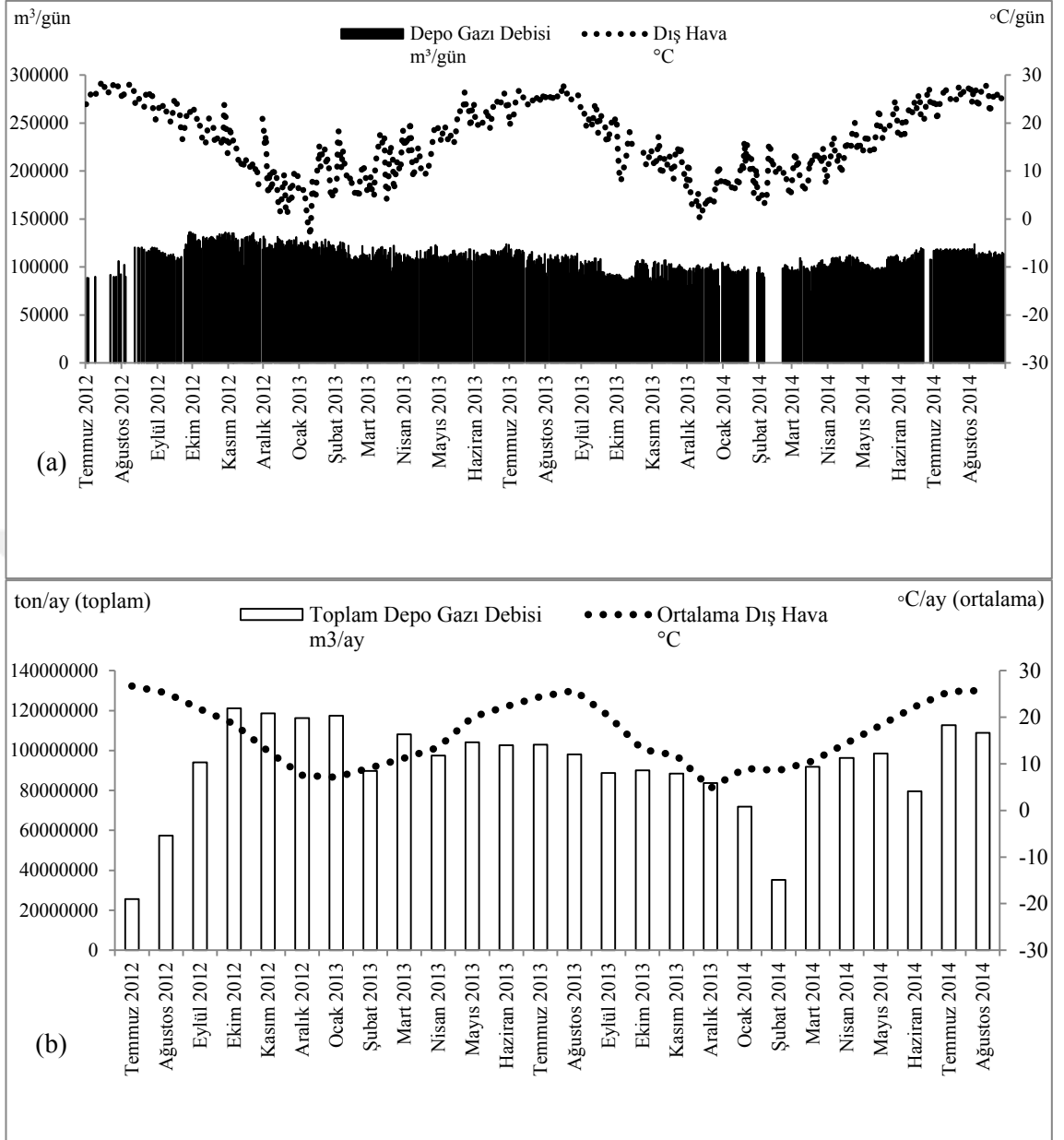
- 2013 yılı (ortalama: 4110 ± 200 m³/sa ve ortanca: 4546 m³/sa) ve 2014 yılı (ortalama: 4390 ± 328 m³/sa ve ortanca: 4449 m³/sa) için toplanan depo gazı debisinde anlamlı bir fark bulunmamıştır (Kruskal Wallis Testi $H=174,933$;

²⁶ Verilerin normal dağılım göstermemesi nedeniyle sırayla Kruskal Wallis ($\alpha=0,05$) ve Ortanca Testi ile uygulanmıştır.

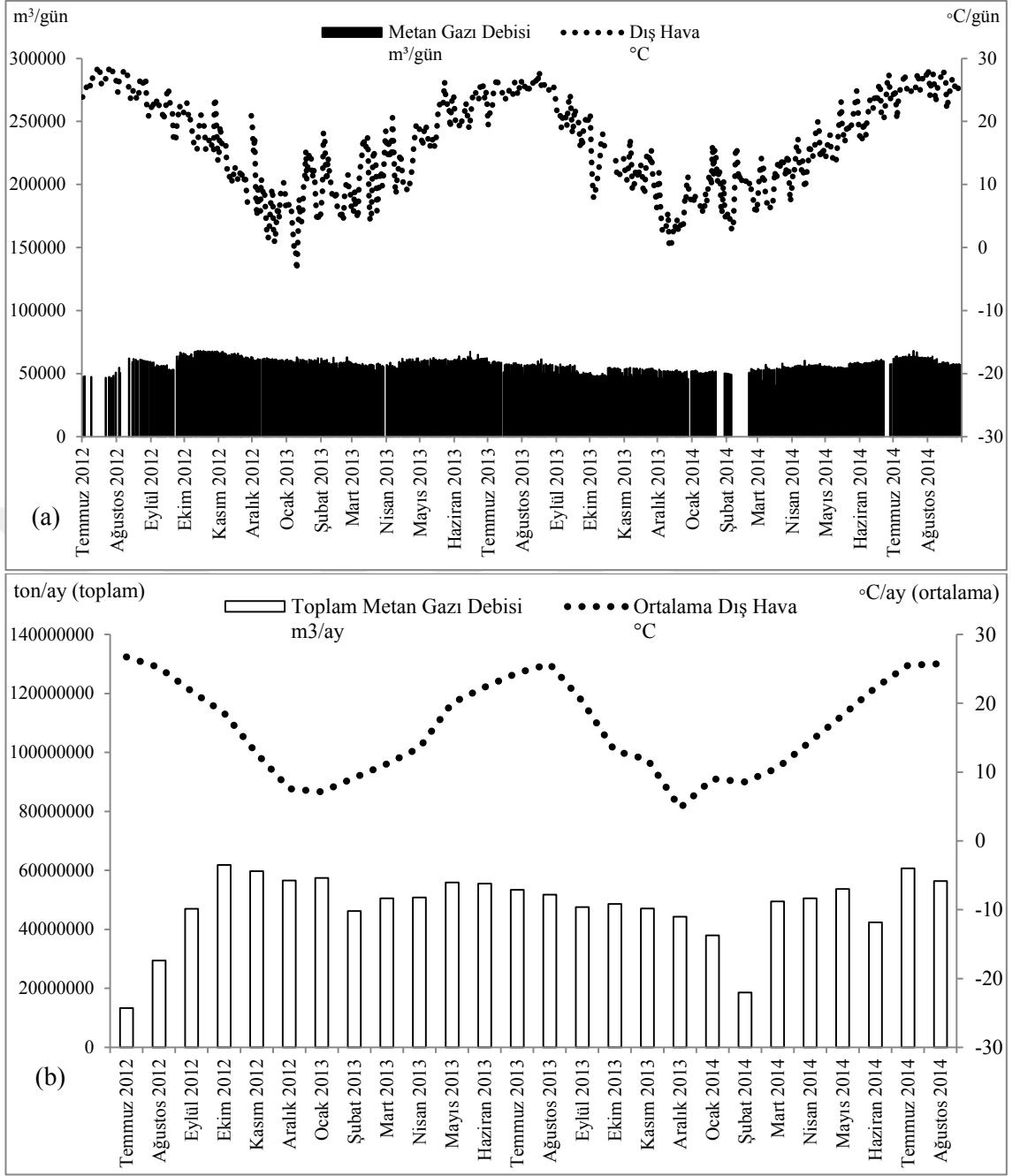
- $p=0,000$; $p<0,05$ / Mann Whitney U Testi $U=34621$; $p=0,054$; $p>0,0167$). 2012 yılında (ortalama: 4906 ± 585 m³/sa ve ortanca: 5204 m³/sa) ise toplanan depo gazı debisinin diğer yıllara göre daha yüksek olduğu görülmüştür (Kruskal Wallis Testi $H=174,933$; $p=0,000$; $p<0,05$ / Mann Whitney U Testi U_{2012} ve $2014=20165$; $p=0,056$; $p>0,0167$; U_{2012} ve $2013=8057$; $p=0,000$; $p<0,0167$)
- 2013 yılı (ortalama: 2343 ± 155 m³/sa ve ortanca: 2371 m³/sa) ve 2014 yılı (ortalama: 2333 ± 174 m³/sa ve ortanca: 2348 m³/sa) için toplanan metan gazı debisinde anlamlı bir fark bulunmamıştır (Kruskal Wallis Testi $H=130,121$; $p=0,000$; $p<0,05$ / Mann Whitney U Testi $U=23586$; $p=0,006$; $p<0,0167$). 2012 yılında (ortalama: 2476 ± 273 m³/sa ve ortanca: 2569 m³/sa) ise toplanan metan gazı debisinin diğer yıllara göre daha yüksek olduğu görülmüştür (Kruskal Wallis Testi $H=130,121$; $p=0,000$; $p<0,05$ / Mann Whitney U Testi U_{2012} ve $2014=3746,500$; $p=0,000$; $p<0,0167$; U_{2012} ve $2013=10657,500$; $p=0,000$; $p<0,0167$).
 - 2013 yılı (ortalama: 1630 ± 116 m³/sa ve ortanca: 1629 m³/sa) ve 2012 yılı (ortalama: 1614 ± 202 m³/sa ve ortanca: 1680 m³/sa) için toplanan karbondioksit gazı debisinde anlamlı bir fark bulunmamıştır (Kruskal Wallis Testi $H=17,675$; $p=0,000$; $p<0,05$ / Mann Whitney U Testi $U=19788$; $p=0,000$; $p<0,0167$). 2014 yılında (ortalama: 1692 ± 146 m³/sa ve ortanca: 1722 m³/sa) ise toplanan karbondioksit gazı debisinin diğer yıllara göre daha yüksek olduğu görülmüştür (Kruskal Wallis Testi $H=17,675$; $p=0,000$; $p<0,05$ / Mann Whitney U Testi U_{2013} ve $2014=24255$; $p=0,013$; $p>0,0167$; U_{2012} ve $2014=9993$; $p=0,084$; $p<0,0167$).

4.9.3. Gaz Debisinin Sıcaklığa Göre Değişimi

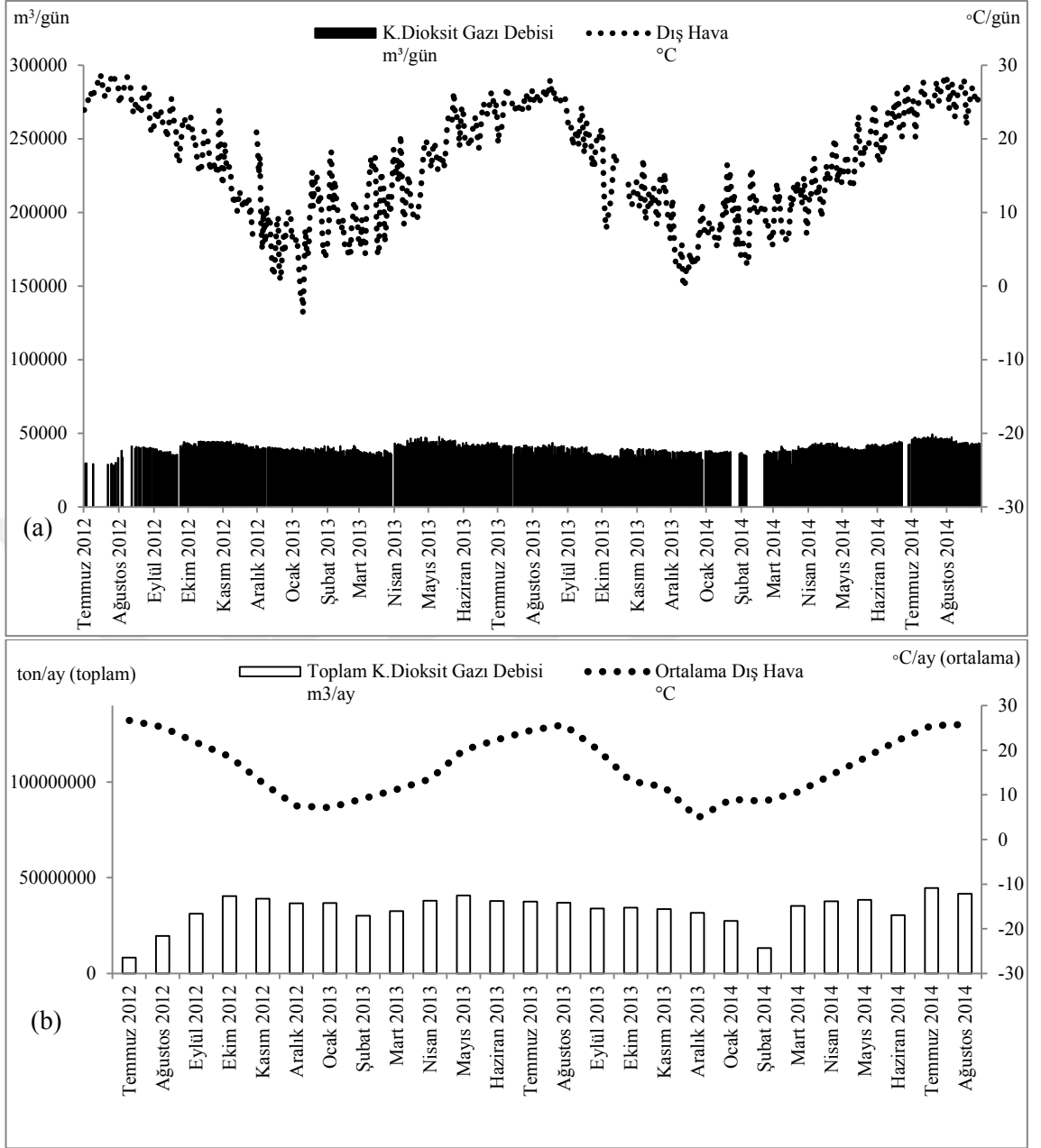
Toplanan gaz debileri ile dış ortam sıcaklığının değişimi Şekil 4. 49, Şekil 4. 50 ve Şekil 4. 51'de verilmiştir. Bu değişimin birbiri ile ilişkili olup olmadığına dair yapılan korelasyon ve regresyon analizleri de Ek 6'da verilmiştir. Temmuz 2012 ilâ Ağustos 2014 arası ortalama dış ortam sıcaklığı değerleri ise Bölüm 4.7.3.'te Çizelge 4. 5'te yer almaktadır.



Şekil 4. 49. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde (a) Günlük toplanan depo gazı debisi ile dış ortam günlük sıcaklığının değişimi (b) Aylık toplanan depo gazı debisi ile dış ortam aylık ortalama sıcaklığının değişimi



Şekil 4. 50. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde (a) Günlük toplanan metan gazı debisi ile dış ortam günlük sıcaklığının değişimi (b) Aylık toplanan metan gazı debisi ile dış ortam aylık ortalama sıcaklığının değişimi

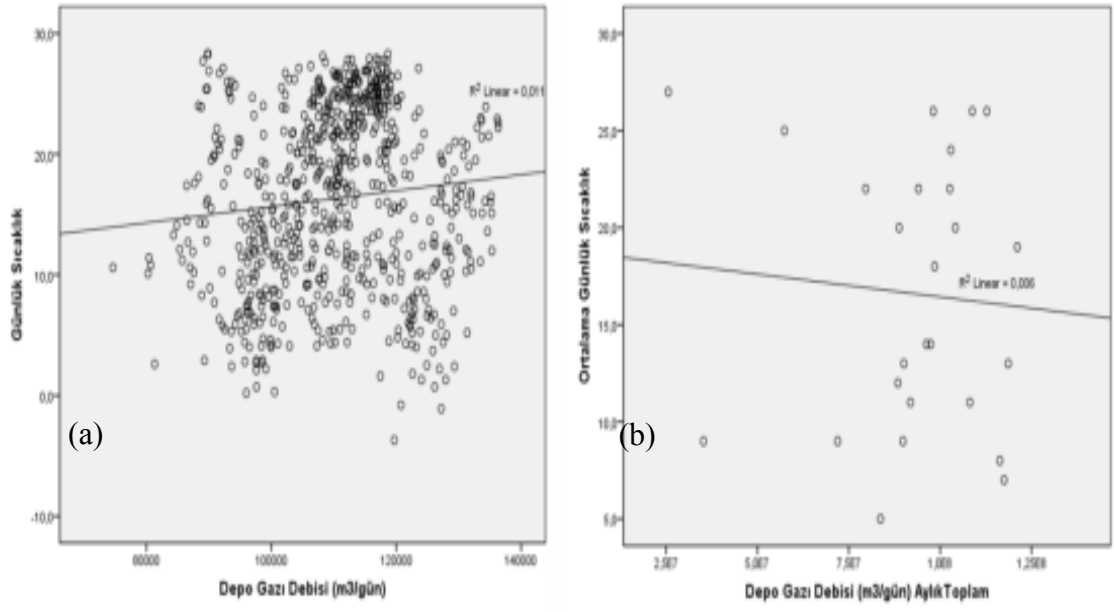


Şekil 4. 51. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde (a) Günlük toplanan karbondioksit gazı debisi ile dış ortam günlük sıcaklığının değişimi (b) Aylık toplanan karbondioksit gazı debisi ile dış ortam aylık ortalama sıcaklığının değişimi

Korelasyon analizine²⁷ ilişkin serpilme grafikleri Şekil 4. 52,

Şekil 4. 53 ve

Şekil 4. 54 'te verilmiştir.

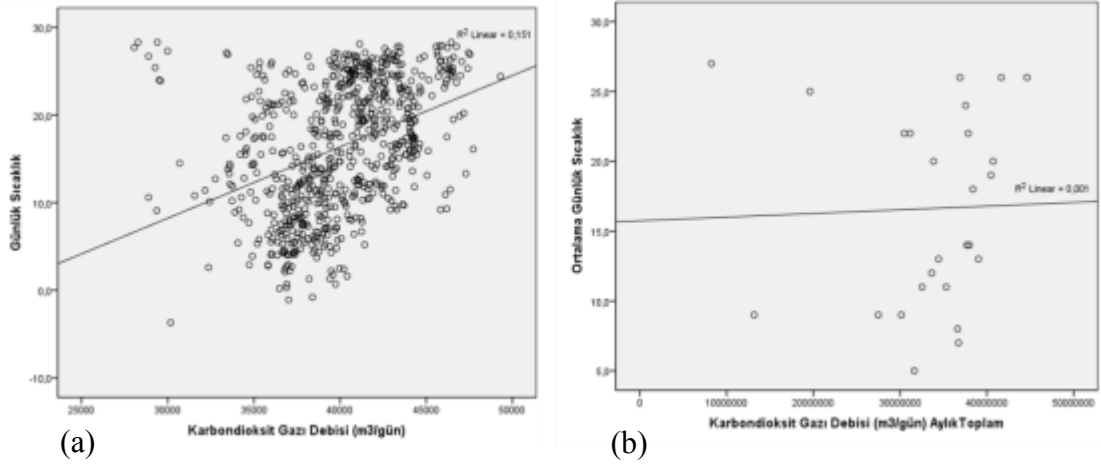


Şekil 4. 52. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012-Ağustos 2014 arası toplanan depo gazı debisi ile sıcaklık değeri serpilme grafiği (a) günlük depo gazı debisi ile günlük sıcaklık (b) aylık toplam depo gazı debisi ile aylık ortalama sıcaklık

Şekil 4. 49 ile Şekil 4. 52 birlikte incelendiğinde, toplanan depo gazı debisi ile günlük sıcaklık değeri arasında çok zayıf pozitif bir ilişki ($R=0,105$, $R^2=0,011$, $F=7,838$, $p=0,005$) bulunmuştur. Ayrıca, toplanan aylık depo gazı debisi ile aylık ortalama sıcaklık değeri arasında zayıf pozitif bir ilişki ($R=0,079$, $R^2=0,006$, $F=0,150$, $p=0,702$) bulunmuştur.

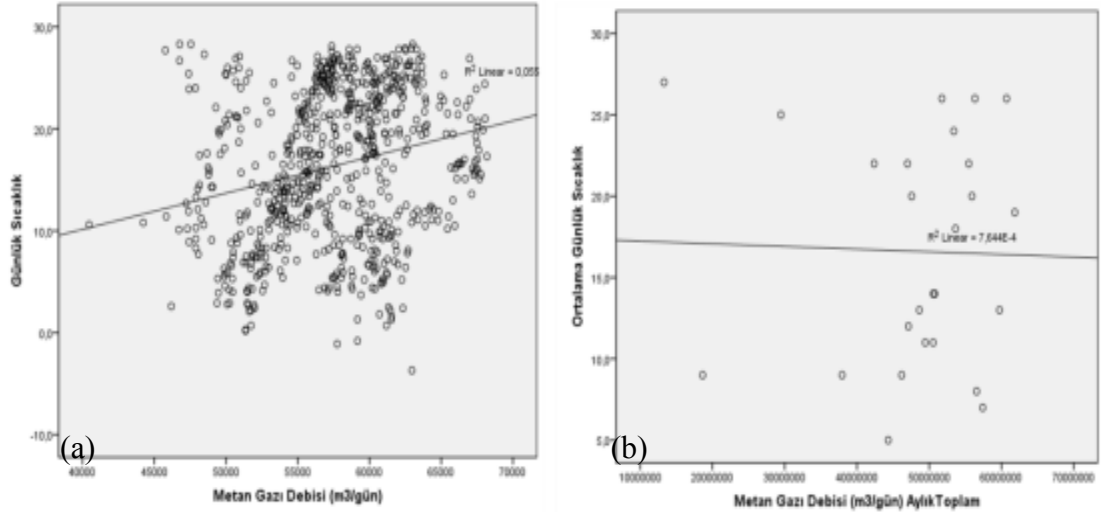
²⁷ Korelasyon katsayısının yorumu aşağıdaki şekilde yapılmaktadır:

- 0,00-0,25 İlişki: Çok Zayıf
- 0,26-0,49 İlişki: Zayıf
- 0,50-0,69 İlişki: Orta
- 0,70-0,89 İlişki: Yüksek
- 0,90-1,00 İlişki: Çok Yüksek



Şekil 4. 53. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012-Ağustos 2014 arası toplanan metan gazı debisi ile sıcaklık değeri serpilme grafiği (a) günlük metan gazı debisi ile günlük sıcaklık (b) aylık toplam metan gazı debisi ile aylık ortalama sıcaklık

Şekil 4. 50 ile Şekil 4. 53 birlikte incelendiğinde, toplanan metan gazı debisi ile günlük sıcaklık değeri arasında çok zayıf pozitif bir ilişki ($R=0,235$, $R^2=0,055$, $F=40,684$, $p=0,000$) bulunmuştur. Ayrıca, toplanan aylık metan gazı debisi ile aylık ortalama sıcaklık değeri arasında zayıf pozitif bir ilişki ($R=0,028$, $R^2=0,001$, $F=0,018$, $p=0,893$) bulunmuştur.



Şekil 4. 54. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012-Ağustos 2014 arası toplanan karbondioksit gazı debisi ile sıcaklık değeri serpilme grafiği (a) günlük karbondioksit gazı debisi ile günlük sıcaklık (b) aylık toplam karbondioksit gazı debisi ile aylık ortalama sıcaklık

Şekil 4. 51 ile Şekil 4. 54 birlikte incelendiğinde, toplanan karbondioksit gazı debisi ile günlük sıcaklık değeri arasında zayıf pozitif bir ilişki ($R=0,388$, $R^2=0,151$, $F=123,993$, $p=0,000$) bulunmuştur. Ayrıca, toplanan aylık karbondioksit gazı debisi ile aylık ortalama sıcaklık değeri arasında zayıf pozitif bir ilişki ($R=0,032$, $R^2=0,001$, $F=0,024$, $p=0,878$) bulunmuştur.

4.9.4. Mevsimler Arası Farklılık

Temmuz 2012 ilâ Ağustos 2014 tarihleri arasında toplanan gaz debilerinin mevsim farklılıklarından etkilenip etkilenmediğinin istatistiksel değerlendirmesi için mevsim grupları Bölüm 4.7.4.'te yer almaktadır.

Mevsimplere göre toplanan gaz debilerine ait değerler Çizelge 4. 11'de ve değişim ise Şekil 4. 55'te verilmiştir.

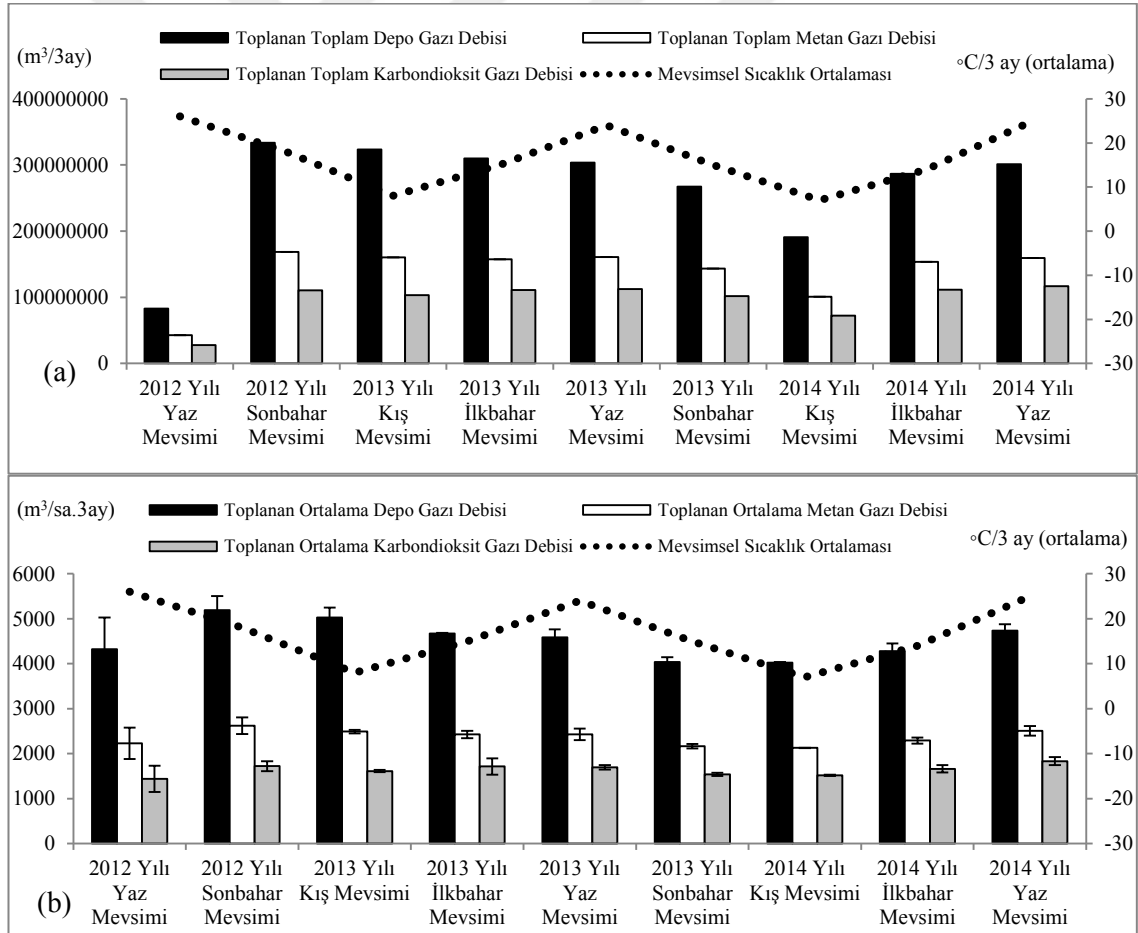
Çizelge 4. 11. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012-Ağustos 2014 arası mevsimlere göre oluşan gaz debileri

Mevsimler	Mevsimsel Sıcaklık Ortalaması (°C/3 ay)	Standart Sapma	Toplanan Toplam Depo Gazı Debisi (m ³ /3ay)	Toplanan Toplam Metan Gazı Debisi (m ³ /3ay)	Toplanan Toplam Karbondioksit Gazı Debisi (m ³ /3ay)	Toplanan Ortalama Depo Gazı Debisi (m ³ /sa.3ay)	Standart Sapma	Toplanan Ortalama Metan Gazı Debisi (m ³ /sa.3ay)	Standart Sapma	Toplanan Ortalama Karbondioksit Gazı Debisi (m ³ /sa.3ay)	Standart Sapma
2012 Yılı Yaz Mevsimi (Temmuz, Ağustos)	26*	±1	83001384*	42769260*	27877081*	4462*	±574	2299*	±260	1498*	±214
2012 Yılı Sonbahar Mevsimi (Eylül, Ekim, Kasım)	18	±5	333823562	168572604	110650461	5207	±373	2629	±189	1725	±116
2013 Yılı Kış Mevsimi (Aralık, Ocak, Şubat)	8	±1	323632464	160152617	103491594	5032	±259	2493	±72	1611	±71
2013 Yılı İlkbahar Mevsimi (Mart, Nisan, Mayıs)	15	±5	309720696	157243345	111228704	4673	±211	2427	±108	1718	±165
2013 Yılı Yaz Mevsimi (Haziran, Temmuz, Ağustos)	24	±2	303706968	160639536	112302923	4586	±290	2426	±140	1696	±81
2013 Yılı Sonbahar Mevsimi (Eylül, Ekim, Kasım)	15	±5	267286896	143324223	101927264	4035	±120	2163	±120	1538	±97

Çizelge 4. 11. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012-Ağustos 2014 arası mevsimlere göre oluşan gaz debileri (devam)

Mevsimler	Mevimsel Sıcaklık Ortalaması (°C/3 ay) Standart Sapma	Toplanan Toplam Depo Gazı Debisi (m ³ /3ay)	Toplanan Toplam Metan Gazı Debisi (m ³ /3ay)	Toplanan Toplam Karbondioksit Gazı Debisi (m ³ /3ay)	Toplanan Ortalama Depo Gazı Debisi (m ³ /sa.3ay) Standart Sapma	Toplanan Ortalama Metan Gazı Debisi (m ³ /sa.3ay) Standart Sapma	Toplanan Ortalama Karbondioksit Gazı Debisi (m ³ /sa.3ay) Standart Sapma
2014 Yılı Kış Mevsimi (Aralık, Ocak, Şubat)	7 ±2	190874784	100898182	72288204	4025 ±191	2127 ±60	1523 ±49
2014 Yılı İlkbahar Mevsimi (Mart, Nisan, Mayıs)	14 ±4	286611144	153648041	111385516	4280 ±263	2294 ±106	1663 ±97
2014 Yılı Yaz Mevsimi (Haziran, Temmuz, Ağustos)	25 ±2	301211616	159407742	116749087	4749 ±185	2513 ±116	1840 ±90

*2012 Yılı Yaz Mevsimi, 2 aylık veri içermektedir.



Şekil 4. 55. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012-Ağustos 2014 arası mevsimlere göre gaz debilerindeki değişim (a) toplam debi (b) ortalama debi

İstatistiki değerlendirme neticesinde toplanan gaz debilerinin:

- Yaz mevsimlerine ait ortalama ve ortanca değerleri sırasıyla,
 - Depo gazı→2012; 4462±574 m³/sa.2ay ve 4810 m³/sa.2ay, 2013; 4586±290 ton/sa.3ay ve 4635 m³/sa.3ay, 2014; 4749±185 ton/sa.3ay ve 4809 m³/sa.3ay,
 - Metan gazı→2012; 2299±260m³/sa.3ay ve 2470 m³/sa.2ay, 2013; 2426±140 m³/sa.3ay ve 2706 m³/sa.3ay, 2014; 2513±116 m³/sa.3ay ve 2394m³/sa.3ay,
 - Karbondioksit gazı→2012; 1498±214 m³/sa.3ay ve 1650 m³/sa.2ay, 2013; 1696±81 m³/sa.3ay ve 1821 m³/sa.3ay, 2014; 1840±90 m³/sa.3ay ve 1793 m³/sa.3ay,
- Sonbahar mevsimlerine ait ortalama ve ortanca değerleri sırasıyla,
 - Depo gazı→2012; 5107±373 m³/sa.3ay ve 4929 m³/sa.3ay, 2013; 4025±303 m³/sa.3ay ve 4053 m³/sa.3ay,
 - Metan gazı→2012; 2629±189 m³/sa.3ay ve 2651 m³/sa.3ay, 2013; 2163±120 m³/sa.3ay ve 2216m³/sa.3ay,
 - Karbondioksit gazı→2012; 1725±116 m³/sa.3ay ve 1720 m³/sa.3ay, 2013; 1538±97 m³/sa.3ay ve 1568 m³/sa.3ay,
- Kış mevsimlerine ait ortalama ve ortanca değerleri sırasıyla,
 - Depo gazı→2013; 5032±259 m³/sa.3ay ve 5093 m³/sa.3ay, 2014; 4025±191m³/sa.3ay ve 4050 m³/sa.3ay,
 - Metan gazı→2013; 2493±72 m³/sa.3ay ve 2510 m³/as.3ay, 2014; 2127±60 m³/sa.3ay ve 2158 m³/sa.3ay,
 - Karbondioksit gazı→2013; 1611±71 m³/sa.3ay ve 1629 m³/sa.3ay, 2014; 1523±49 m³/3ay ve 1563 m³/sa.3ay,
- İlkbahar mevsimlerine ait ortalama ve ortanca değerleri sırasıyla,
 - Depo gazı→2013; 4673±12211 m³/sa.3ay ve 4669 m³/sa.3ay, 2014; 4280±263 m³/sa.3ay ve 4259 m³/sa.3ay,
 - Metan gazı→2013; 2427±108 m³/sa.3ay ve 2301 m³/sa.3ay, 2014; 2294±106 m³/sa.3ay ve 2291 m³/sa.3ay,
 - Karbondioksit gazı→2013; 1718±165 m³/sa.3ay ve 1489 m³/sa.3ay, 2014; 1663±97 m³/sa.3ay ve 1639 m³/sa.3ay,

olduğu görülmüştür.

4.9.5. Gaz Debisi ile Atık Miktarı Arasındaki İlişki

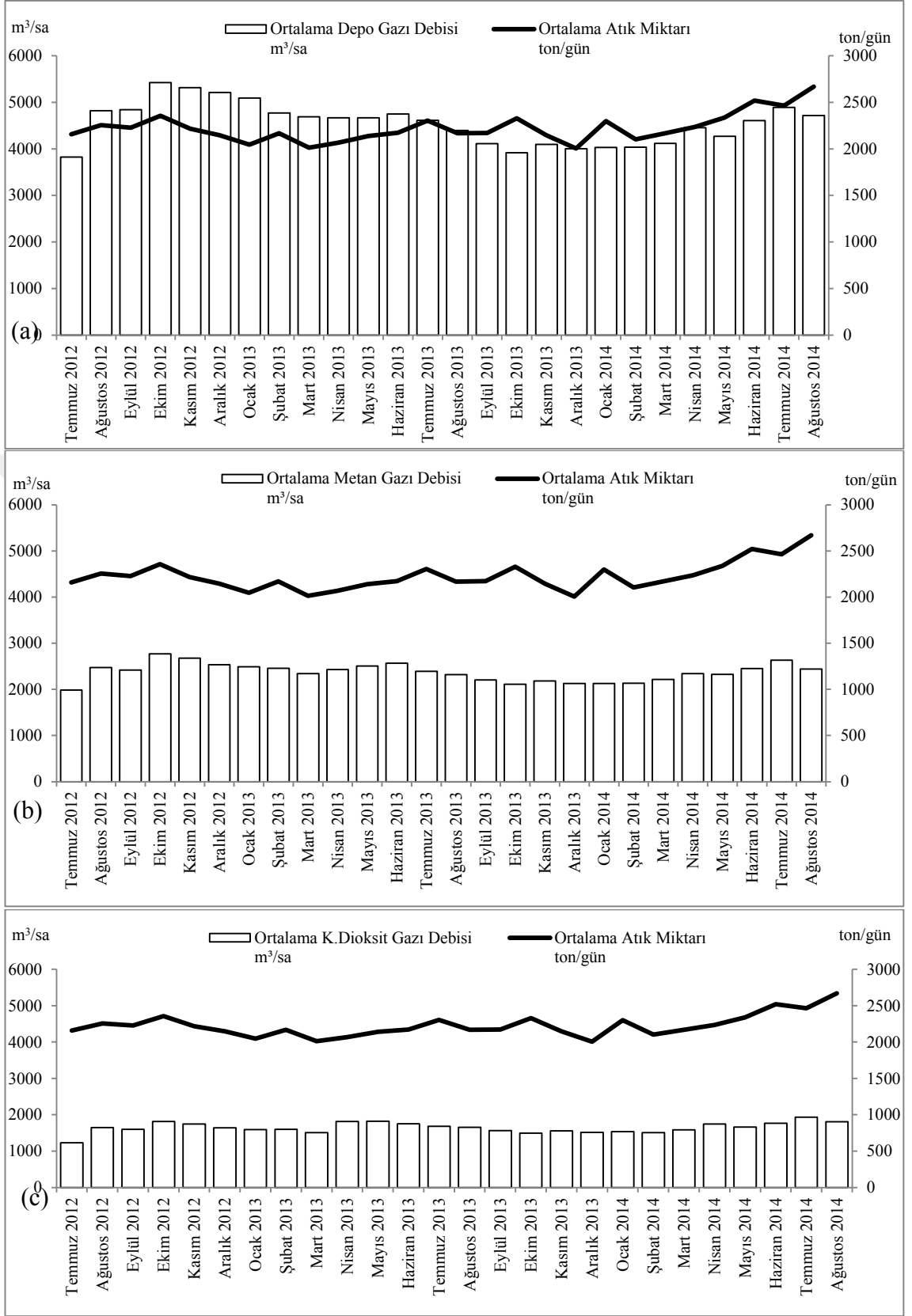
Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanında günlük depolanan katı atık miktarına karşılık oluşan günlük gaz debilerinin değişimi Şekil 4. 56, birbirleri olan ilişkileri Şekil 4. 57 ile korelasyon analizi²⁸ ise Ek 9'da verilmiştir.

Korelasyon ve regresyon analizine göre günlük katı atık miktarı ile günlük gaz debileri arasında çok zayıf bir ilişki ($R_{\text{Depo Gazı}}=0,025$, $p=0,503$, $R_{\text{metan Gazı}}=0,049$, $p=0,195$, $R_{\text{Karbon dioksit Gazı}}=0,093$, $p=0,013$) bulunmuştur.

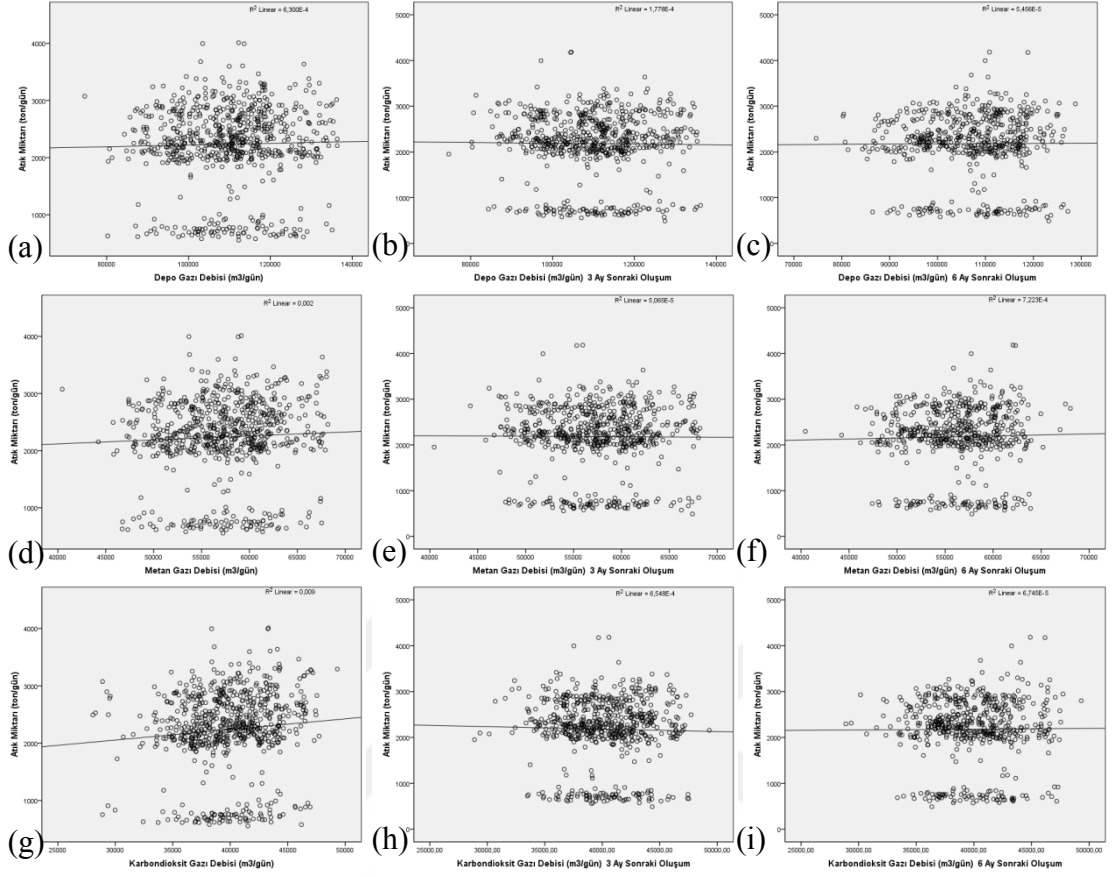
Depolamadan 3 ve 6 aylık sonra organik ayrışma neticesinde oluşan gaz debileri de incelenmiştir. Buna göre depolanan günlük atık miktarı ile 3 ve 6 ay sonra oluşan günlük gaz debileri arasında da çok zayıf pozitif bir ilişki (Sırasıyla $R_{\text{Depo Gazı}}=-0,013$, $p=0,732$, $R_{\text{metan Gazı}}=-0,007$, $p=0,855$, $R_{\text{Karbon dioksit Gazı}}=-0,026$, $p=0,512$; $R_{\text{Depo Gazı}}=-0,007$, $p=0,860$, $R_{\text{metan Gazı}}=-0,027$, $p=0,522$, $R_{\text{Karbon dioksit Gazı}}=-0,008$, $p=0,845$) bulunmuştur. Bu durum Şekil 4. 57'de de görülmektedir.

²⁸ Korelasyon katsayısının yorumu aşağıdaki şekilde yapılmaktadır:

- 0,00-0,25 İlişki: Çok Zayıf
- 0,26-0,49 İlişki: Zayıf
- 0,50-0,69 İlişki: Orta
- 0,70-0,89 İlişki: Yüksek
- 0,90-1,00 İlişki: Çok Yüksek



Şekil 4. 56. Gazı debileri ile katı atık miktarının günlük değişimi (a) depo gazı (b) metan Gazı (c) karbondioksit gazı



Şekil 4. 57. Gazı debileri ile depolanan katı atık miktarı arasındaki ilişki (a) günlük depo gazı (b) 3 ay ötelemeli depo gazı (c) 6 ay ötelemeli depo gazı (d) günlük metan gazı (e) 3 ay ötelemeli metan gazı (f) 6 ay ötelemeli metan gazı (g) günlük karbondioksit gazı (h) 3 ay ötelemeli karbondioksit gazı (i) 6 ay ötelemeli karbondioksit gazı

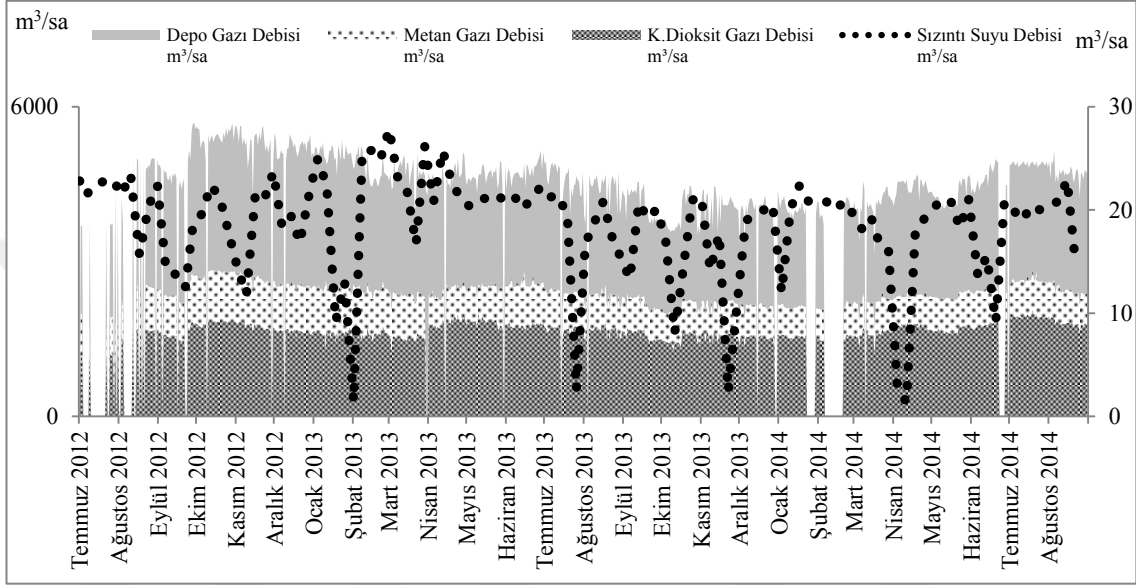
4.9.6. Gaz Debisi ile Sızıntı Suyu Arasındaki İlişki

Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde toplanan depo gazı debisi ve bileşenleri ile birlikte (metan gazı ve karbondioksit gazı) sahada oluşan sızıntı suyu debisinin değişimi Şekil 4. 58’de, BOİ ve KOİ konsantrasyonları ile değişimi Şekil 4. 59’da verilmiştir. Birbirleri ile olan ilişkileri ise Şekil 4. 60’da verilmiştir.

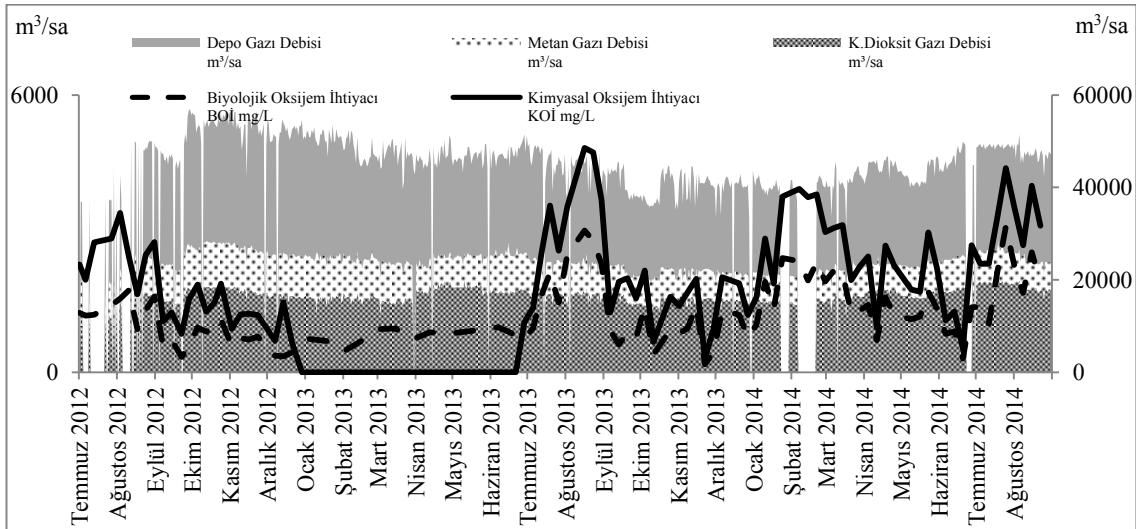
Depo gazı debisi ile sızıntı suyu debisi, BOİ, KOİ ve pH ilişkisi için yapılan korelasyon ve regresyon analizine göre;

- Depo gazı debisi ile sızıntı suyu debisi arasında çok zayıf negatif bir ilişki ($R=-0,241$, $R^2=0,058$, $F=3,325$, $p=0,074$) bulunmuştur.

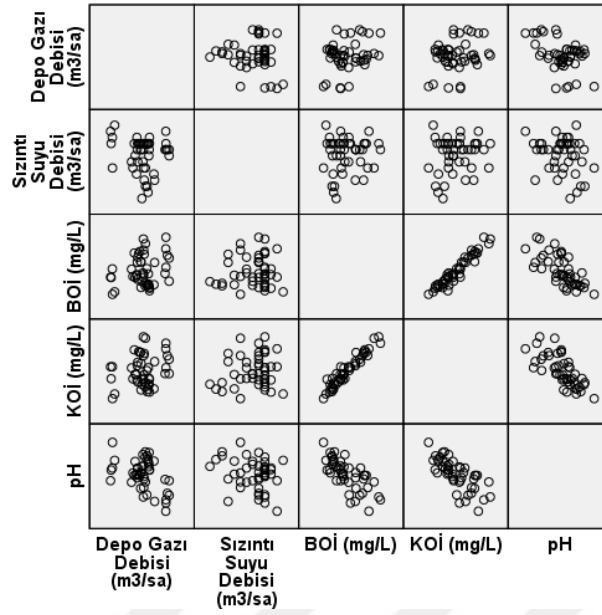
- Depo gazı debisi ile BOİ konsantrasyonu arasında çok zayıf pozitif bir ilişki ($R=0,290$, $R^2=0,084$, $F=4,418$, $p=0,041$) bulunmuştur.
- Depo gazı debisi ile KOİ konsantrasyonu arasında çok zayıf pozitif bir ilişki ($R=0,236$, $R^2=0,056$, $F=2,658$, $p=0,110$) bulunmuştur.
- Depo gazı debisi ile pH arasında ortaya yakın zayıf negatif bir ilişki ($R=-0,485$, $R^2=0,236$, $F=16,649$, $p=0$) bulunmuştur.



Şekil 4. 58. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012 ile Ağustos 2014 döneminde toplanan depo gazı debisi ve bileşenleri ile sızıntı suyu debisi ile değişimi



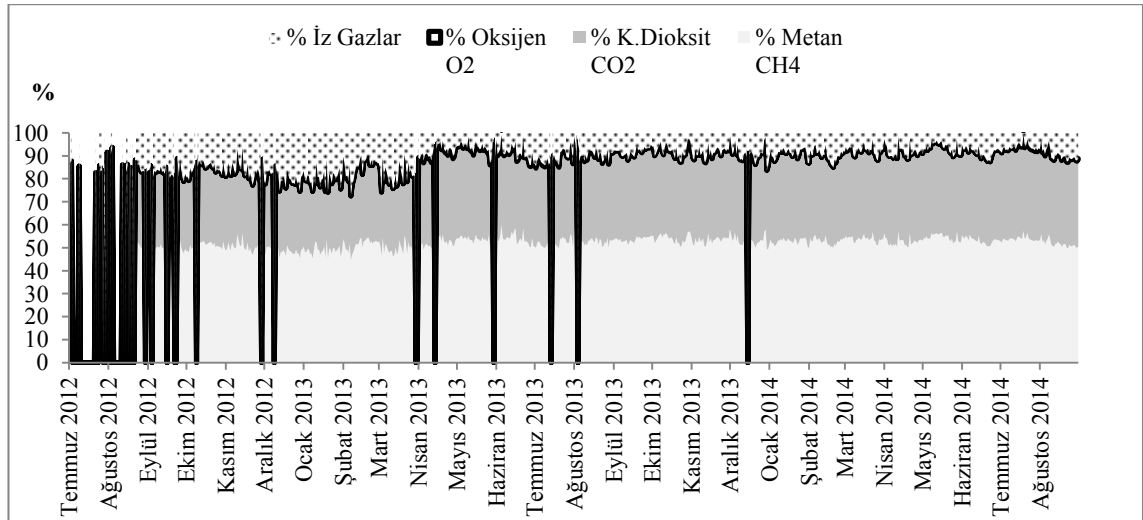
Şekil 4. 59. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012 ile Ağustos 2014 döneminde toplanan depo gazı debisi ve bileşenleri ile BOİ-KOİ ile değişimi



Şekil 4. 60. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012 ile Ağustos 2014 döneminde toplanan depo gazı debisi ile sızıntı suyu debisi, BOİ, KOİ ve pH arasındaki ilişki

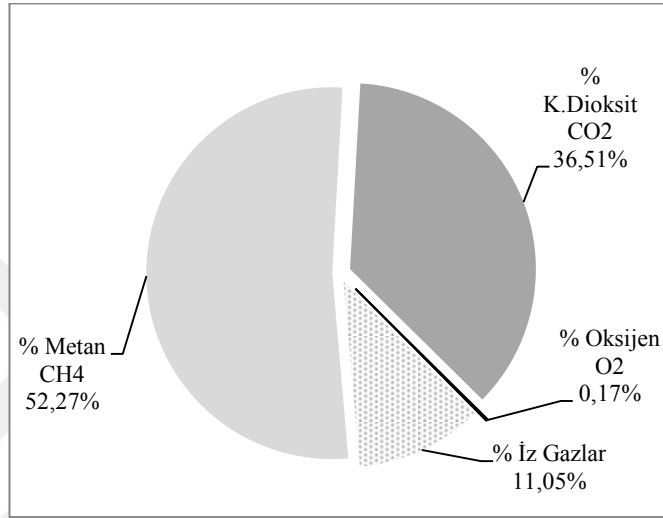
4.9.7. Gaz Bileşenlerinin Birbiri ile İlişkisi

Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012 ile Ağustos 2014 döneminde toplanan depo gazı ve bileşenlerinin yüzde dağılımları ve oranları Şekil 4. 61 ve Şekil 4. 62’ de verilmiştir. Metan ve karbondioksit gazlarının aylık değişim yüzdeleri ise Şekil 4. 63’te verilmiştir.

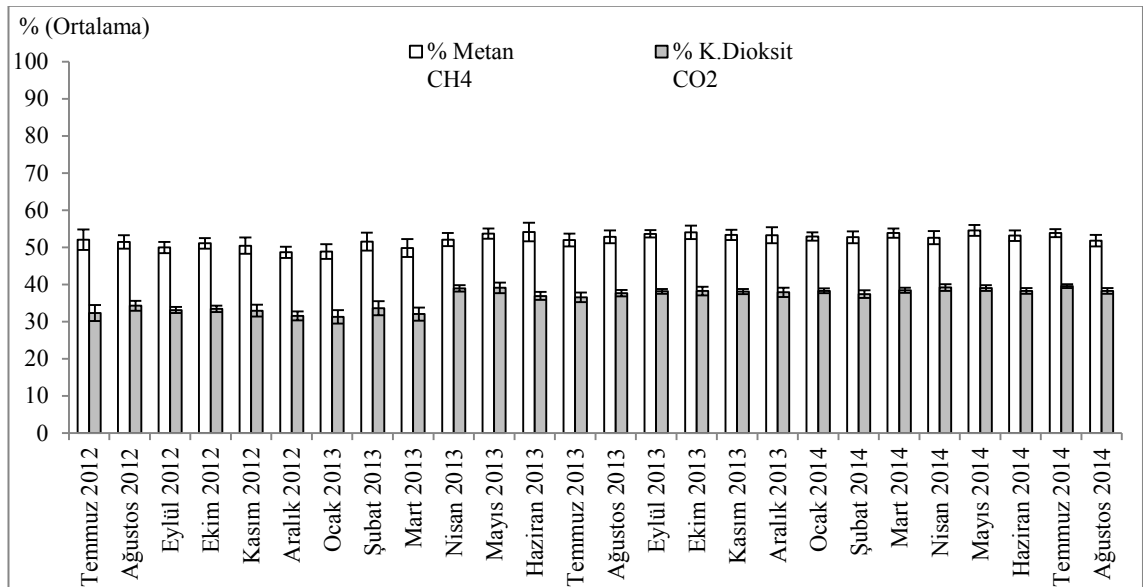


Şekil 4. 61. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012 ile Ağustos 2014 döneminde toplanan depo gazı ve bileşenlerinin dağılımları

Şekil 4. 61 ve Şekil 4. 62’de depo gazının yaklaşık %90’lık bir kısmını metan ve karbondioksit gazlarının oluşturduğu görülmektedir. Metan gazı, depo gazı içerisinde yarı yarıya bir orana sahiptir. Şekil 4. 63’ten anlaşılacağı üzere metan gazı oranı %50ler seviyelerinde olurken karbondioksit gazının oranı ise %30lar seviyelerinde olmaktadır. Bu değerler literatür bilgileri ile kıyaslandığında depo gazında metan gazı içeriğinin yüksek olduğu görülmektedir. Böylelikle depo gazının kaloriferik değeri de daha yüksek olmaktadır.

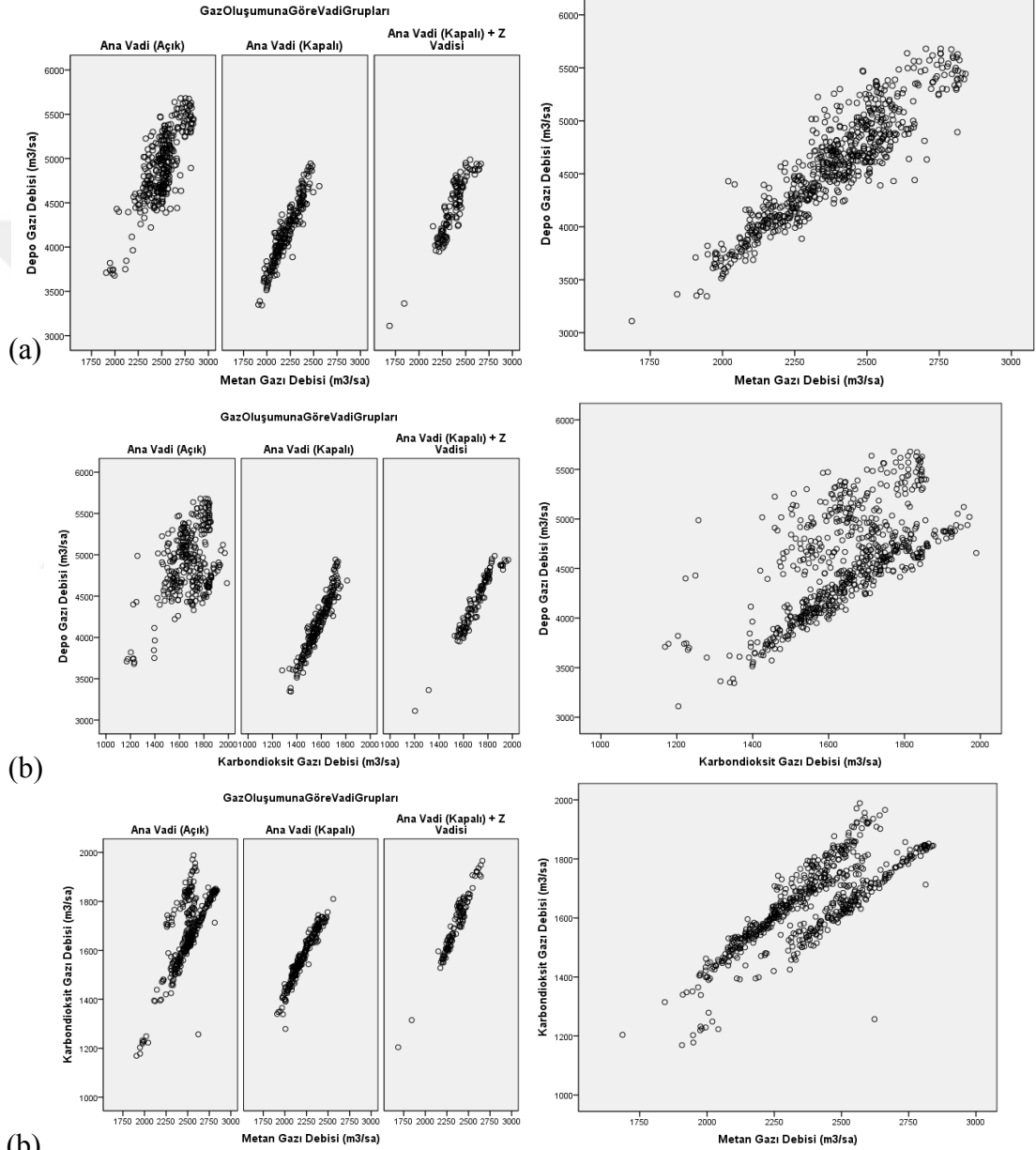


Şekil 4. 62. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012 ile Ağustos 2014 döneminde toplanan depo gazı ve bileşenlerinin pasta grafiği



Şekil 4. 63. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012 ile Ağustos 2014 döneminde toplanan metan ve karbondioksit gazlarının aylık değişim yüzdeleri

Şekil 4. 64'te verilen serpilme grafiklerine göre (a)'da depo gazı ile metan gazı arasında çok yüksek pozitif bir ilişki ($R=0,90$, $R^2=0,83$, $F=3144$, $p=0$) bulunmuştur. (b)'de depo gazı ile karbondioksit gazı arasında orta pozitif bir ilişki ($R=0,63$, $R^2=0,40$, $F=446$, $p=0$) bulunmuştur. (c)'de metan gazı ile karbondioksit gazı arasında yüksek bir ilişki ($R=0,80$, $R^2=0,64$, $F=1168$, $p=0$) bulunmuştur.



Şekil 4. 64. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012 ile Ağustos 2014 döneminde toplanan depo gazı ve bileşenlerinin korelasyonları (a) depo gazı-metan gazı (b) depo gazı-karbondioksit gazı (c)metan gazı-karbondioksit gazı

4.10. Üretilen Elektrik Enerjisinin Değerlendirilmesi

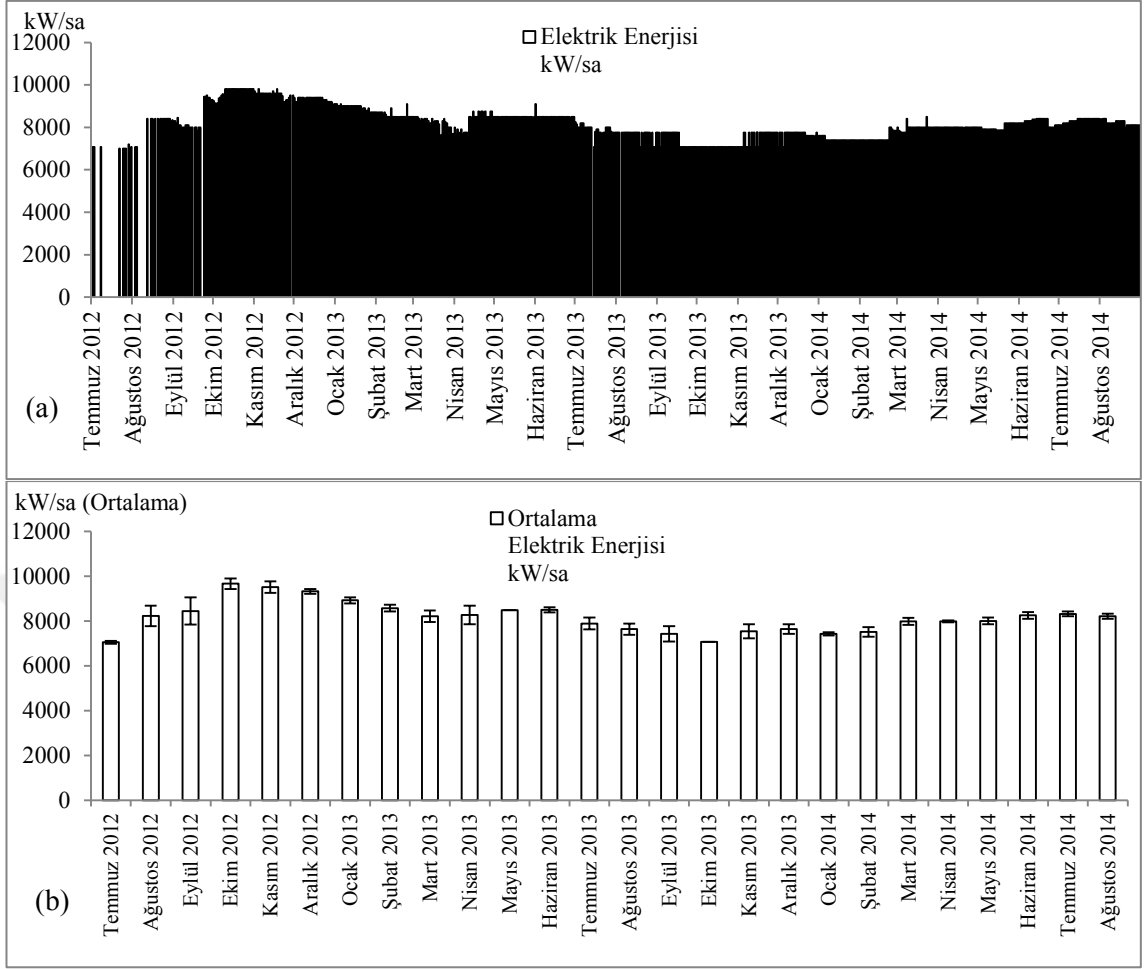
4.10.1. Genel Değerlendirme

Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisi'nin işleme açıldığı Temmuz 2012'den Ağustos 2014 sonuna kadar toplamda 147038820 kW elektrik enerjisi üretilmiştir. Çalışma kapsamında incelenen Temmuz 2012 ile Ağustos 2014 dönemine ait üretilen elektrik enerjisinin aylık ortalaması Çizelge 4. 12'de verilmiştir. Üretilen elektrik enerjisindeki günlük ve aylık değişimler de Şekil 4. 65'te verilmiştir.

Çizelge 4. 12. Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanında Temmuz 2012 ile Ağustos 2014 döneminde depolanan aylık ortalama katı atık miktarları

Gaz Oluşumuna Göre Vadi Grupları	Tarih	Aylık Miktar	Ortalama Enerji Miktarı	
		kW/ay	kW/sa	Standart Sapma
1 No.lu Durum Ana Vadi (Açık)	01.07.2012-31.07.2012	47244000*	7076	±66
	01.08.2012-31.08.2012	97984800*	8231	±452
	01.09.2012-30.09.2012	170352000*	8450	±609
	01.10.2012-31.10.2012	215832540*	9670	±235
	01.11.2012-30.11.2012	212454000*	9519	±252
	01.12.2012-31.12.2012	208171200*	9327	±111
	2012 Yılı	Toplam: 215832540 kW (Aylık Ortalama: 8709±288 kW/sa)		
	01.01.2013-31.01.2013	205902000*	8927	±138
	01.02.2013-28.02.2013	161427840*	8579	±150
	01.03.2013-31.03.2013	189541440*	8218	±256
01.04.2013-30.04.2013	172972800*	8277	±417	
01.05.2013-31.05.2013	189496800*	8490	±0	
01.06.2013-30.06.2013	183758400*	8507	±113	
1 No.lu Durum Toplamı	2055137820 kW			
2 No.lu Durum Ana Vadi (Kapalı)	01.07.2013-31.07.2013	176179200**	7893	±270
	01.08.2013-31.08.2013	170469000**	7638	±256
	01.09.2013-30.09.2013	160596000**	7435	±343
	01.10.2013-31.10.2013	163177800**	7075	±315
	01.11.2013-30.11.2013	163044000**	7548	±213
	01.12.2013-31.12.2013	1762611040**	7644	±75
	2013 Yılı	Toplam: 1009727040 kW (Aylık Ortalama: 7893±233 kW/sa)		
	01.01.2014-31.01.2014	171417600**	7432	±75
	01.02.2014-28.02.2014	141288000**	7509	±215
	2 No.lu Durum Toplamı	1322432640 kW		
3 No.lu Durum Ana Vadi (Kapalı) + Z Vadisi	01.03.2014-31.03.2014	184177200**	7985	±154
	01.04.2014-30.04.2014	172620000**	7992	±46
	01.05.2014-31.05.2014	184705440**	8008	±149
	01.06.2014-30.06.2014	178279200**	8254	±150
	01.07.2014-31.07.2014	191877600**	8319	±105
	01.08.2014-31.08.2014	189403800**	8212	±116
	2014 Yılı	Toplam: 1413768840 kW (Aylık Ortalama: 7964±126 kW/sa)		
3 No.lu Durum Toplamı	1101063240 kW			
GENEL TOPLAM		4478633700 kW		

* Ana vadide depolama ** Z vadisinde depolama



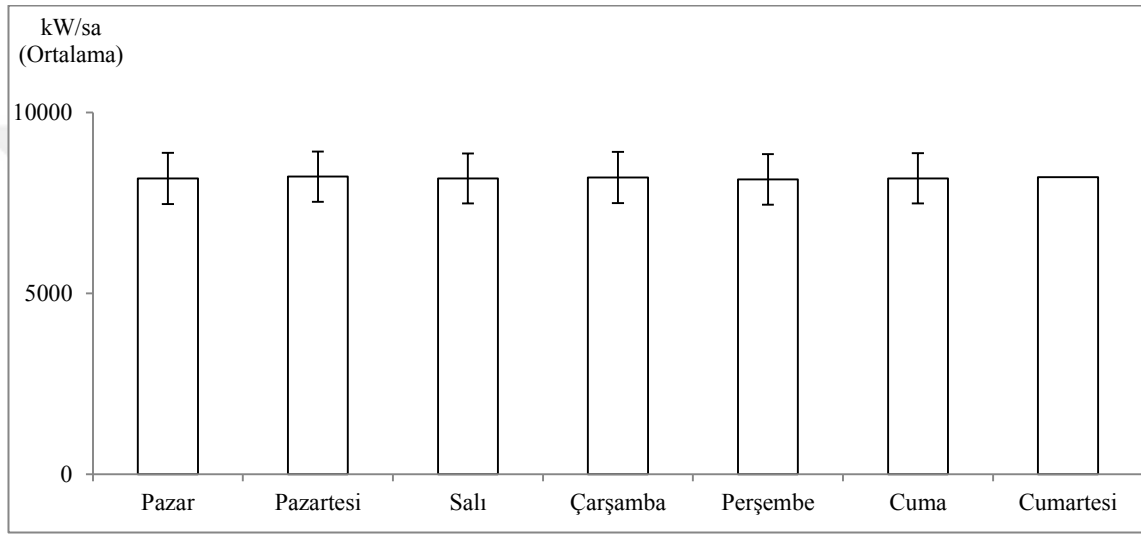
Şekil 4. 65. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012- Ağustos 2014 arası üretilen elektrik enerjisindeki (a) günlük ve (b) aylık değişim

Temmuz 2012 ile Ağustos 2014 dönemi için üretilen günlük elektrik enerjisi miktarı 6960 kW/sa (28.12.2013, Cumartesi) ilâ 9800 kW/sa (10.10.2012 Çarşamba, 11.10.2012 Perşembe, 12.10.2012 Cuma, 13.10.2012 Cumartesi, 14.10.2012 Pazar, 15.10.2012 Pazartesi, 16.10.2012 Salı, 17.10.2012 Çarşamba, 18.10.2012 Perşembe, 19.10.2012 Cuma, 20.10.2012 Cumartesi, 21.10.2012 Pazar, 22.10.2012 Pazartesi, 23.10.2012 Salı, 24.10.2012 Çarşamba, 25.10.2012 Perşembe, 26.10.2012 Cuma, 27.10.2012 Cumartesi, 28.10.2012 Pazar, 29.10.2012 Pazartesi, 30.10.2012 Salı, 31.10.2012 Çarşamba, 04.11.2012 Pazar, 18.11.2012 Pazar) arasında değişmekte olup Şekil 4. 65(a)'da gösterilmiştir. Üretilen aylık elektrik enerjisi ise 63500 kW/sa (Temmuz 2012, günlük ortalaması 7076 kW/sa) ilâ 295075 kW/sa (Kasım 2012, günlük ortalaması 9519 kW/sa) arasında değişmekte olup Şekil 4. 65 (b)'de gösterilmiştir.

Çizelge 4. 13 ve Şekil 4. 66'da üretilen elektrik enerjisi miktarının haftalık dağılımı verilmiştir.

Çizelge 4. 13. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012-Ağustos 2014 arası üretilen elektrik enerjisi miktarının haftalık dağılımı (Özet)

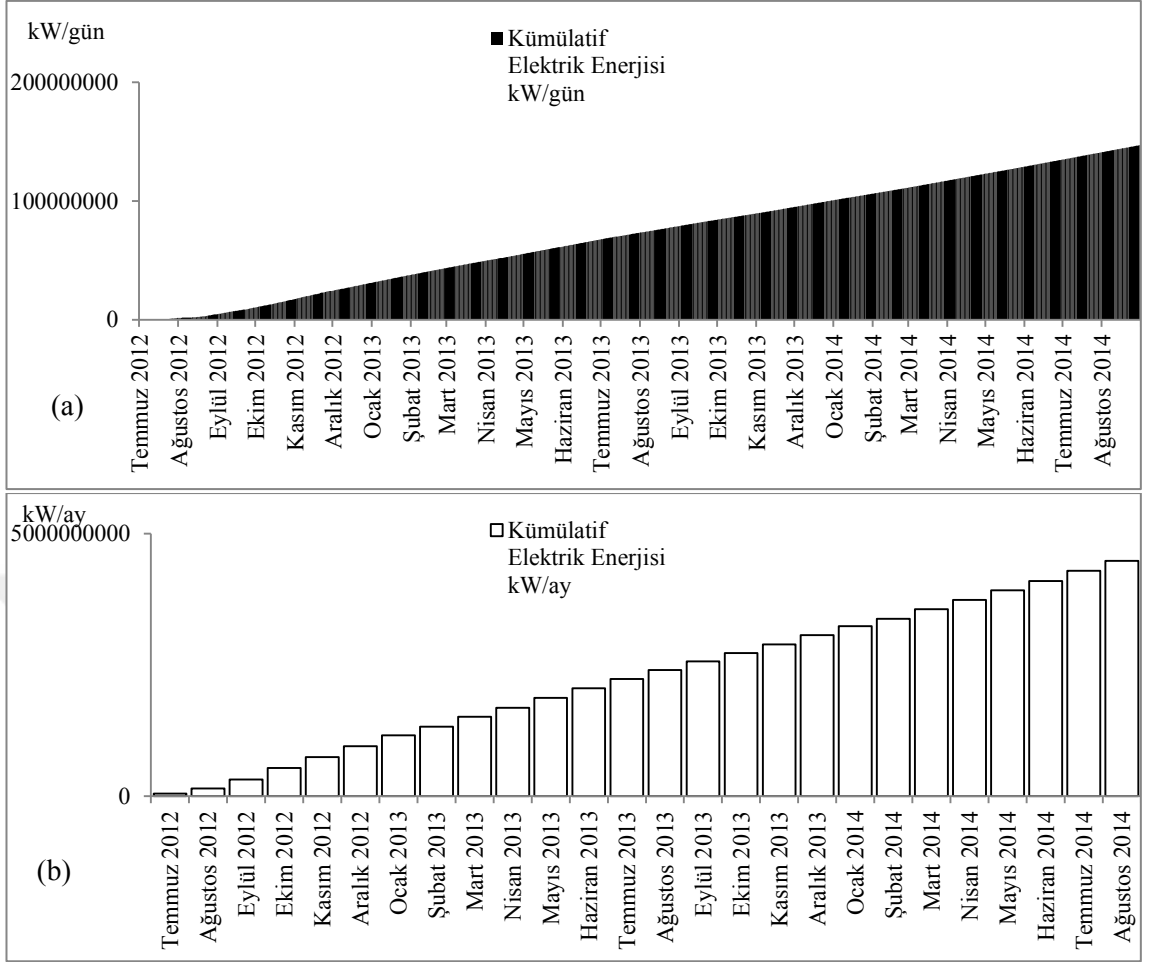
Günler	Pazar	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi
Gün Sayısı	114	115	113	114	113	113	113
Toplam (kw/gün)	20413560	21522000	20809920	21458160	20544240	21204600	21086340
Ortalama (kW/sa)	8179	8227	8180	8203	8152	8181	8211
Standart Sapma	±720	±709	±693	±690	±706	±700	±694



Şekil 4. 66. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012-Ağustos 2014 üretilen elektrik enerjisi miktarının haftalık dağılımı

Kümülatif üretilen elektrik enerjisi ise Şekil 4. 67'de verilmiştir. Buna göre Temmuz 2012 ilâ Ağustos 2014 tarihleri arasında²⁹ Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde toplam 4478633700 kW elektrik enerjisi üretilmiştir.

²⁹ 2012 yılında 215832540 kW, 2013 yılında 1009727040 kW ve 2014 yılında 1413768840 kW elektrik enerjisi üretilmiştir. 1 no.lu durumda 2055137820 kW, 2 no.lu durumda 1322432640 kW ve 3 no.lu durumda 1101063240 kW elektrik enerjisi üretilmiştir.



Şekil 4. 67. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012- Ağustos 2014 arası üretilen kümülatif elektrik enerjisi miktarı (a) günlük (b) aylık

Şekil 4. 65 ile Şekil 4. 67 birlikte incelendiğinde üretilen elektrik enerjisinde düzenli bir artış olduğu görülmektedir. Çalışma kapsamında, üretilen elektrik enerjisinin istatistiki genel değerlendirmesinin yanı sıra hem bu artışın istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı hem de sıcaklık değişimi ve mevsim farklılıklarından elektrik üretiminin etkilenip etkilenmediği istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

4.10.2. Elektrik Enerjisinin Yıllara Göre Değişimi

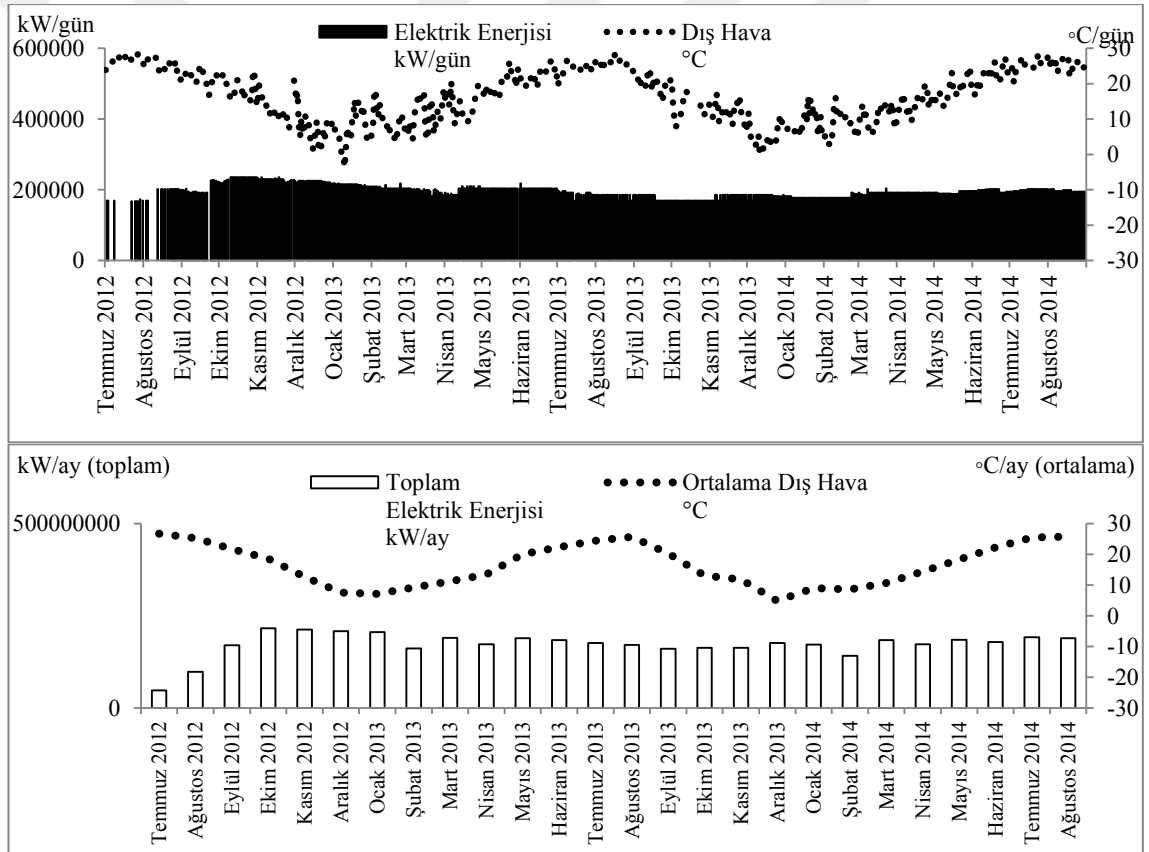
Çalışma kapsamında, Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012 ilâ Ağustos 2014 arası üretilen elektrik enerjisi miktarının yıllara göre değişim gösterip göstermediği araştırılmıştır. İstatistiksel testler³⁰ Ek 7’de verilmiştir.

³⁰ Verilerin normal dağılım göstermemesi nedeniyle sırayla Kruskal Wallis ($\alpha=0,05$) ve Ortanca Testi ile uygulanmıştır.

Buna göre, yıllara göre üretilen elektrik enerjisi miktarında anlamlı bir fark görülmüştür (Kruskal Wallis Testi $H=160,790$; $p=0,000$; $p<0,05$; Mann Whitney U Testi 2012-2013 için $U=9250,500$ $p<0,0167$; 2013-2014 için $U=40456$ $p<0,0167$; 2012-2014 için $U=5033$ $p<0,0167$).

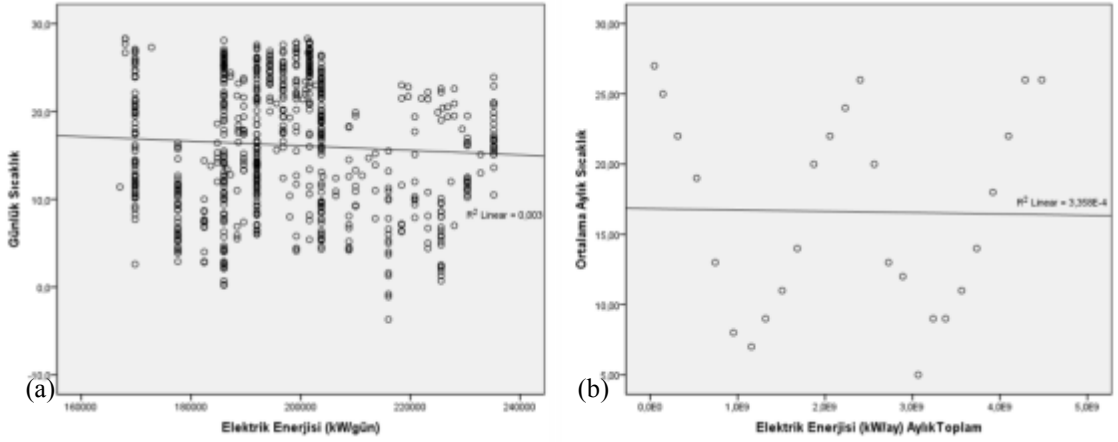
4.10.3. Elektrik Enerjisinin Sıcaklığa Göre Değişimi

Üretilen elektrik enerjisi ile dış ortam sıcaklığının değişimi Şekil 4. 68’de verilmiştir. Bu değişimin birbiri ile ilişkili olup olmadığına dair yapılan korelasyon ve regresyon analizleri de Ek 8’de verilmiştir. Temmuz 2012 ilâ Ağustos 2014 arası ortalama dış ortam sıcaklığı değerleri ise Bölüm 4.7.3.’te Çizelge 4. 5’te yer almaktadır.



Şekil 4. 68. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde (a) Günlük üretilen toplam elektrik enerjisi miktarı ile dış ortam günlük sıcaklığının değişimi (b) Aylık toplam üretilen ortalama elektrik enerjisi miktarı ile dış ortam aylık ortalama sıcaklığının değişimi

Korelasyon analizine³¹ ilişkin serpilme grafiği Şekil 4. 69'da verilmiştir.



Şekil 4. 69. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012-Ağustos 2014 arası üretilen elektrik enerjisi miktarı ile sıcaklık değeri serpilme grafiği (a) günlük elektrik enerjisi ile günlük sıcaklık (b) aylık toplam elektrik enerjisi ile aylık ortalama sıcaklık

Buna göre üretilen günlük elektrik enerjisi miktarı ile günlük sıcaklık değeri arasında çok zayıf pozitif bir ilişki ($R=0,059$, $R^2=0,003$, $F=2,546$, $p=0,111$) bulunmuştur. Ayrıca, üretilen aylık toplam elektrik enerjisi miktarı ile aylık ortalama sıcaklık değeri arasında zayıf pozitif bir ilişki ($R=0,018$, $R^2=0$, $F=0,008$, $p=0,929$) bulunmuştur.

4.10.4. Mevsimler Arası Farklılık

Temmuz 2012 ilâ Ağustos 2014 tarihleri arasında üretilen elektrik enerjisinin mevsim farklılıklarından etkilenip etkilenmediğinin istatistiksel değerlendirmesi için oluşturulan mevsim grupları ise Bölüm 4.7.4'te yer almaktadır.

Mevsimplere göre üretilen elektrik enerjisi miktarları Çizelge 4. 14.'de ve değişim ise Şekil 4. 70'te verilmiştir.

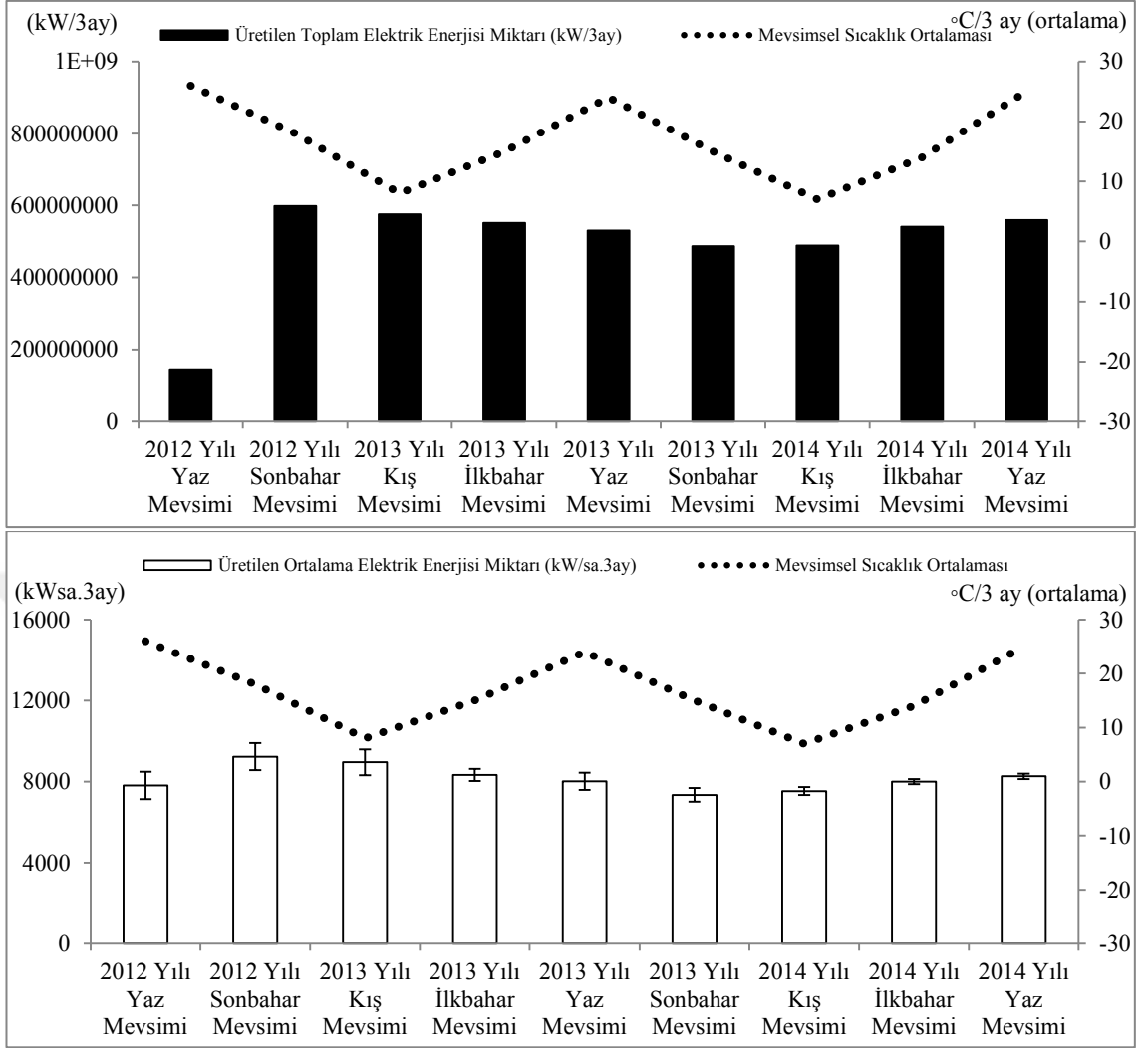
³¹ Korelasyon katsayısının yorumu aşağıdaki şekilde yapılmaktadır:

- 0,00-0,25 İlişki: Çok Zayıf
- 0,26-0,49 İlişki: Zayıf
- 0,50-0,69 İlişki: Orta
- 0,70-0,89 İlişki: Yüksek
- 0,90-1,00 İlişki: Çok Yüksek

Çizelge 4. 14. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012-Ağustos 2014 arası mevsimlere göre üretilen elektrik enerjisi

Mevsimler	Mevsimsel Sıcaklık Ortalaması (°C/3 ay)	Standart Sapma	Üretilen Toplam Elektrik Enerjisi Miktarı (kW3ay)	Üretilen Ortalama Elektrik Enerjisi Miktarı (kW/sa.3ay)	Standart Sapma
2012 Yılı Yaz Mevsimi (Temmuz, Ağustos)	26	±1	145228800*	7808*	±678*
2012 Yılı Sonbahar Mevsimi (Eylül, Ekim, Kasım)	18	±5	598638540	9233	±665
2013 Yılı Kış Mevsimi (Aralık, Ocak, Şubat)	8	±1	575501040	8952	±631
2013 Yılı İlkbahar Mevsimi (Mart, Nisan, Mayıs)	15	±5	552011040	8330	±300
2013 Yılı Yaz Mevsimi (Haziran, Temmuz, Ağustos)	24	±2	530406600	8012	±428
2013 Yılı Sonbahar Mevsimi (Eylül, Ekim, Kasım)	15	±5	486817800	7345	±332
2014 Yılı Kış Mevsimi (Aralık, Ocak, Şubat)	7	±2	488966640	7528	±197
2014 Yılı İlkbahar Mevsimi (Mart, Nisan, Mayıs)	14	±4	541502640	7995	±126
2014 Yılı Yaz Mevsimi (Haziran, Temmuz, Ağustos)	25	±2	559560600	8261	±131

*2012 Yılı Yaz Mevsimi, 2 aylık veri içermektedir.



Şekil 4. 70. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012-Ağustos 2014 arası mevsimlere göre üretilen elektrik enerjisi miktarındaki değişim (a) toplam enerji (b) ortalama enerji

İstatistiki değerlendirme neticesinde üretilen elektrik enerjisi miktarının:

- Yaz mevsimlerine ait ortalama ve ortanca değerleri sırasıyla,
 - 2012; 7808±678 kW/sa.2ay ve 8400 kW/sa.2ay, 2013; 8012±428 kW/sa.3ay ve 8490 kW/sa.3ay, 2014; 8261±131 kW/sa.3ay ve 8100 kW/sa.3ay,
- Sonbahar mevsimlerine ait ortalama ve ortanca değerleri sırasıyla,
 - 2012; 9233±665 kW/sa.3ay ve 9450 kW/sa.3ay, 2013; 7375±332 kW/sa.3ay ve 7075 kW/sa.3ay,

- Kış mevsimlerine ait ortalama ve ortanca değerleri sırasıyla,
 - 2013; 8952±631 kW/sa.3ay ve 8700 kW/sa.3ay, 2014; 7528±197 kW/sa.3ay ve 7750 kW/sa.3ay,
- İlkbahar mevsimlerine ait ortalama ve ortanca değerleri sırasıyla,
 - 2013; 8330±300 kW/sa.3ay ve 8000 kW/sa.3ay, 2014; 7995±126 kW/sa.3ay ve 8000 kW/sa.3ay,

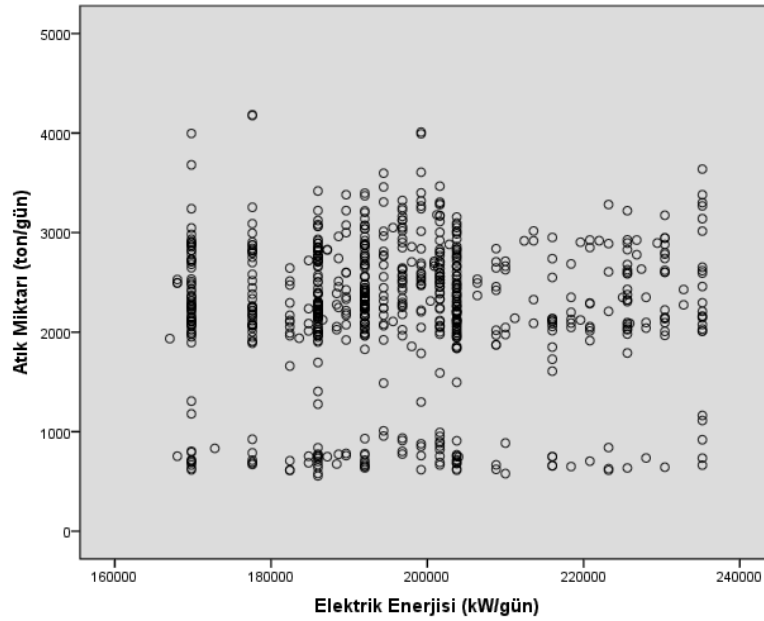
olduğu görülmüştür.

4.10.5. Elektrik Enerjisi ile Atık Miktarı Arasındaki İlişki

Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde üretilen elektrik enerjisinin atık miktarı ile olan ilişkisi ise Şekil 4. 71’de verilmiştir.

Yapılan korelasyon ve regresyon analizine göre;

- Elektrik enerjisi ile atık miktarı arasında çok zayıf pozitif bir ilişki ($R=0,148$, $R^2=0,022$, $F=0,496$, $p=0,4891$) bulunmuştur.



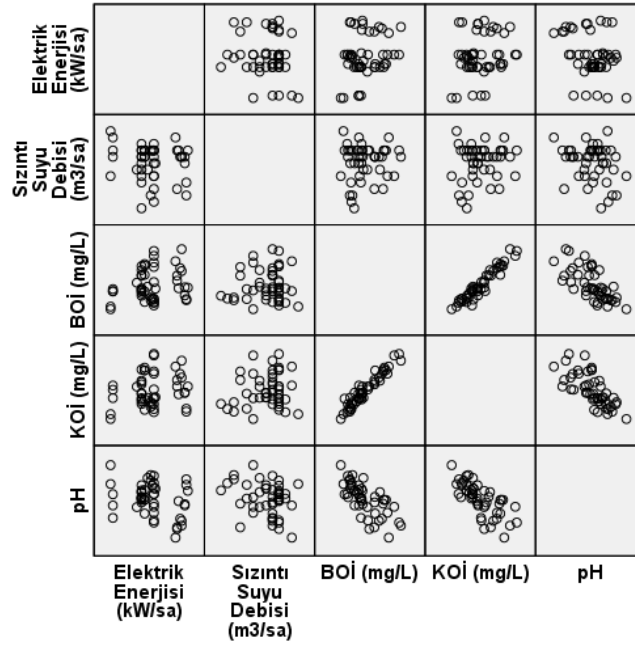
Şekil 4. 71. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012 ile Ağustos 2014 döneminde üretilen elektrik enerjisi ile atık miktarı ilişkisi

4.10.6. Elektrik Enerjisi ile Sızıntı Suyu Arasındaki İlişki

Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde üretilen elektrik enerjisinin sahada oluşan sızıntı suyu debisi, BOİ ve KOİ konsantrasyonları ve pH ile olan ilişkisi ise Şekil 4. 72’de verilmiştir.

Yapılan korelasyon ve regresyon analizine göre;

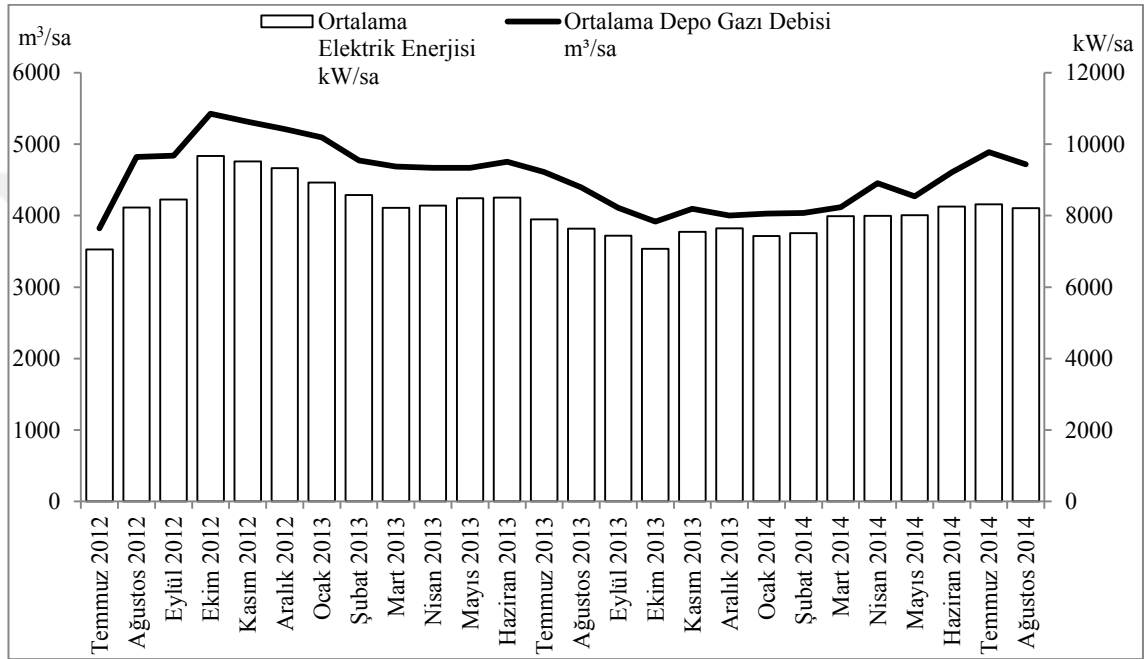
- Elektrik enerjisi ile sızıntı suyu debisi arasında zayıf negatif bir ilişki ($R=-0,305$, $R^2=0,0093$, $F=5,634$, $p=0,021$) bulunmuştur.
- Elektrik enerjisi ile BOİ konsantrasyonu arasında çok zayıf pozitif bir ilişki ($R=0,277$, ($R^2=0,077$, $F=4,070$, $p=0,049$) bulunmuştur.
- Elektrik enerjisi ile KOİ konsantrasyonu arasında çok zayıf pozitif bir ilişki ($R=0,205$, $R^2=0,042$, $F=2,014$, $p=0,163$) bulunmuştur.
- Elektrik enerjisi ile pH arasında ortaya yakın zayıf negatif bir ilişki ($R=-0,412$, $R^2=0,170$, $F=11,256$ $p=0,001$) bulunmuştur.



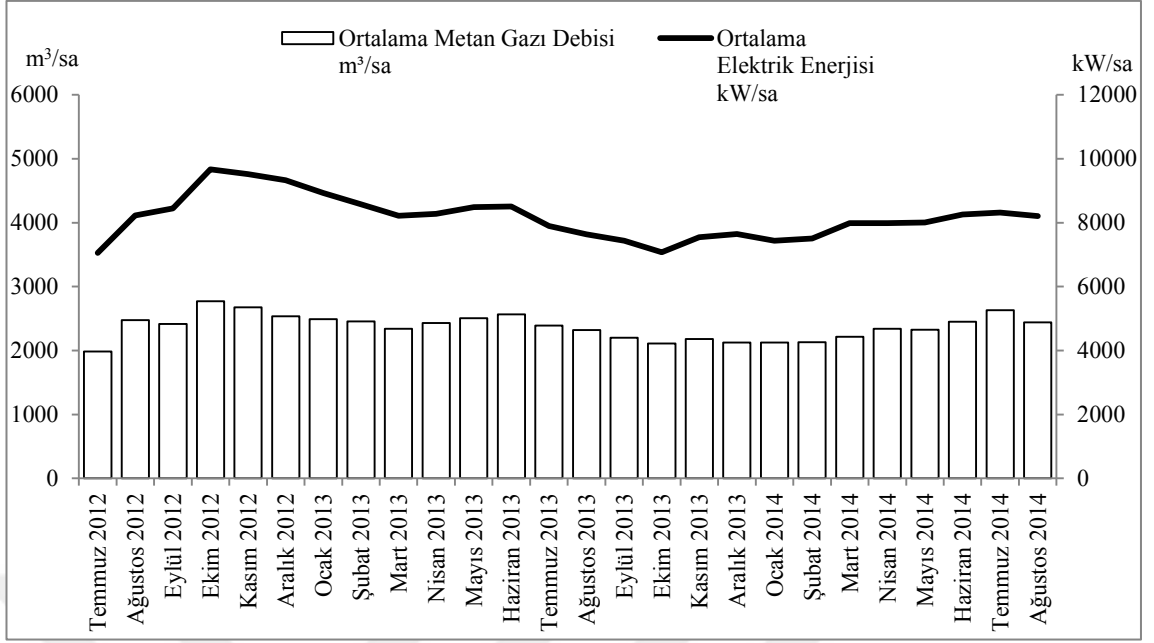
Şekil 4. 72. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012 ile Ağustos 2014 döneminde üretilen elektrik enerjisi ile sızıntı suyu debisi, BOİ, KOİ ve pH arasındaki ilişki

4.10.7. Elektrik Enerjisi ile Gaz Arasındaki İlişki

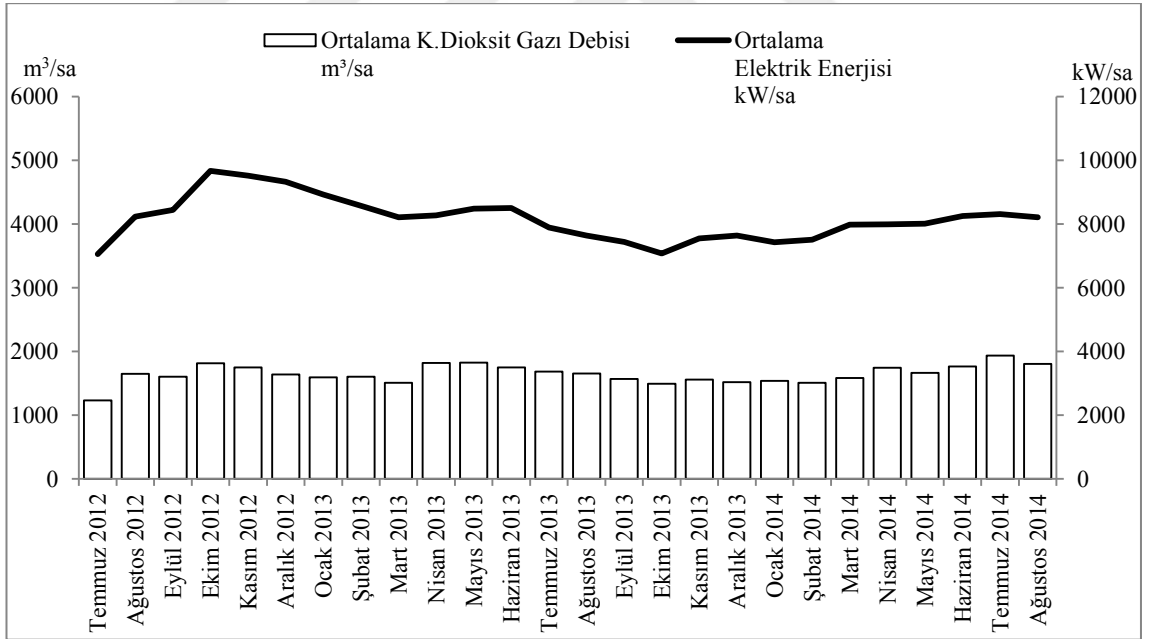
Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012 ile Ağustos 2014 döneminde üretilen elektrik enerjisi miktarının sahadan toplanan depo gazı ve bileşenlerinin debileri ile olan değişimi Şekil 4. 73, Şekil 4. 74 ve Şekil 4. 75'te verilmiştir. Grafiklerden incelenmesi ile birlikte değişimlerin literatürde de belirtildiği gibi uyum içinde olduğu görülmektedir.



Şekil 4. 73. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012 ile Ağustos 2014 döneminde üretilen elektrik enerjisi miktarı ile depo gazı debisinin günlük değişimi

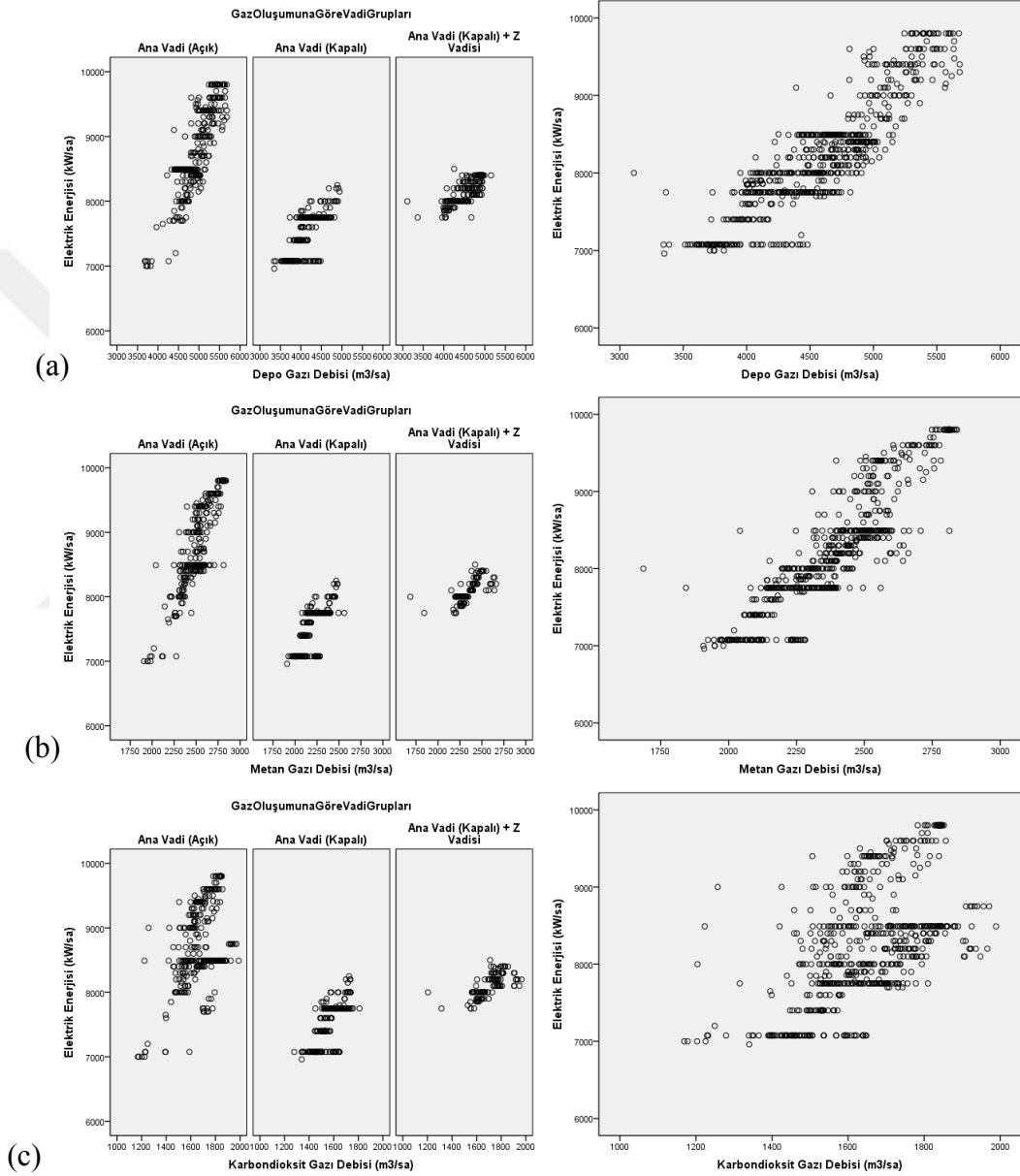


Şekil 4. 74. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012 ile Ağustos 2014 döneminde üretilen elektrik enerjisi miktarı ile metan gazı debisinin günlük değişimi



Şekil 4. 75. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012 ile Ağustos 2014 döneminde üretilen elektrik enerjisi miktarı ile metan gazı debisinin günlük değişimi

Şekil 4. 76'da verilen serpilme grafiklerine göre (a)'da elektrik enerjisi ile depo gazı arasında yüksek pozitif bir ilişki ($R=0,88$, $R^2=0,77$, $F=2434$, $p=0$) bulunmuştur. (b)'de elektrik enerjisi ile metan gazı arasında yüksek pozitif bir ilişki ($R=0,88$, $R^2=0,77$, $F=2263$, $p=0$) bulunmuştur. (c)'de elektrik enerjisi ile karbondioksit gazı arasında orta pozitif bir ilişki ($R=0,56$, $R^2=0,31$, $F=298$, $p=0$) bulunmuştur.



Şekil 4. 76. Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde Temmuz 2012 ile Ağustos 2014 döneminde üretilen elektrik enerjisi ile depo gazı ve bileşenlerinin korelasyonları (a) elektrik enerjisi-depo gazı (b) elektrik enerjisi-metan gazı (c) elektrik enerjisi- karbondioksit gazı

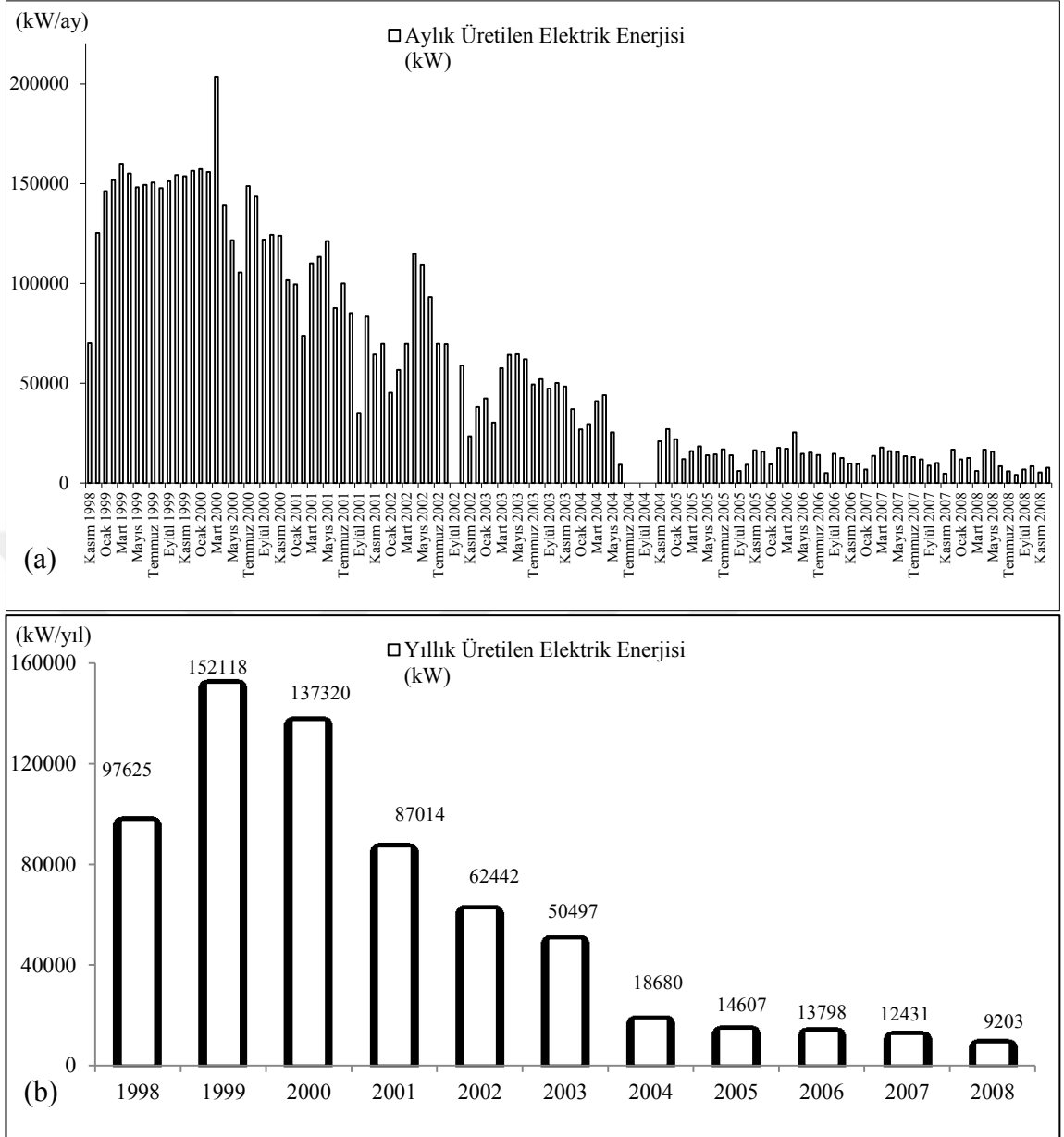
4.15. Demirtaş Rehabilitasyon Edilmiş Vahşi Depolama Alanı Metan Gazından Enerji Üretim Tesisleri

Demirtaş Rehabilitasyon Edilmiş Vahşi Depolama Alanı'na ait istatistiksel analizde kullanılabilir özellikte veri, geçmişe ait kayıtlar tutulmadığından elde edilememiş olup değerlendirme yapılamamıştır. Elde edilen veriler ile yapılan değerlendirmeler aşağıda verilmiştir.

Tesiste, 10 yıl süre ile 6.892.557 kW elektrik enerjisi üretilmiştir. Tesisin ekonomik ömrü boyunca üretilen elektrik enerjisi yıllık olarak Çizelge 4. 15 ve Şekil 4. 77'de verilmiştir.

Çizelge 4. 15. Demirtaş Enerji Üretim Tesisinde Üretilen Elektrik Enerjisi Miktarı

Yıllar	Yıllık Üretilen Elektrik Enerjisi (kW)
1998	97625
1999	152118
2000	137320
2001	87014
2002	62442
2003	50497
2004	18680
2005	14607
2006	13798
2007	12431
2008	9203



Şekil 4. 77. Demirtaş Enerji Üretim Tesisinde elektrik enerjisi üretimi (a) aylık ortalama (b) yıllık ortalama

Şekil 4. 77’de, Demirtaş Vahşi Depolama Alanı’nın atık alımına kapatılıp yıllarca süren organik bozunmanın önemli bir kısmının tamamlanmasının ardından, rehabilitasyonu sonrasında elde edilen elektrik enerjisinin her geçen yıl giderek azaldığı görülmektedir.

5. SONUÇ

Bu çalışma kapsamında Temmuz 2012 ile Ağustos 2014 dönemini kapsayan;

- Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanına ait günlük depolanan katı atık miktarı,
- Hamitler Sızıntı Suyu Arıtma Tesisleri girişi haftalık sızıntı suyu debisi, BOİ, KOİ, pH ve ağır metal laboratuvar ölçümlerine ilişkin değerler,
- Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisine ait günlük toplanan depo gazı ve bileşenlerinin debisi, yüzdesi ve dış hava sıcaklığı, günlük üretilen elektrik enerjisi miktarı

ile 1998-2008 yıllarını kapsayan

- Demirtaş Metan Gazından Enerji Üretim Tesisine ait aylık üretilen elektrik enerjisi miktarı

üzerinde istatistik bilimi aracılığı ile yapılan teknik analizlerin sonuçlarına dair yorumlar aşağıda sıralanmıştır.

Atık miktarına ilişkin sonuçlar:

- Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanında, alanın işleme açıldığı Ağustos 1995'ten günümüz Ağustos 2014 sonuna kadar Bursa Büyükşehir Belediyesi sınırlarında oluşan yaklaşık %95'i evsel atık ve %5'i tehlikeli olmayan sanayi atığı olmak üzere toplamda 10.307.491 ton katı atık depolanmıştır. Çalışma kapsamındaki Temmuz 2012 ilâ Ağustos 2014 tarihleri arasında ise toplam 1.773.122 ton katı atık depolanmıştır.
- Depolanan günlük atık miktarı 489 ton (14.07.2012, Cumartesi) ilâ 4184 ton (27.01.2014, Pazartesi) arasında değişmekte olup ortalaması 2228 ± 781 ton/gün'dür. Depolanan aylık atık miktarı ise 62598 ton (Aralık 2013, günlük ortalaması 2004 ton) ilâ 82755 ton (Ağustos 2014, günlük ortalaması 2670 ton) arasında değişmektedir.
- Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanında, atık transferi yapmayan ilçeler nedeniyle depolama alanında Pazar günü daha az atık depolanmaktadır. Pazartesi günü ise önceki günle beraber iki günlük atık depolanmaktadır. Bu nedenle haftalık atık depolanmasında en yoğun gün pazartesidir.

Atık miktarının yıllara göre değişimine ilişkin sonuçlar:

- Depolanan katı atık miktarında düzenli bir artış olduğu görülmektedir. 2014 yılında depolanan günlük atık miktarının 2013 yılında depolanan günlük atık miktarından daha yüksek olduğu görülmüştür (Kruskal Wallis Testi $H=21,201$; $p=0,000$; $p<0,05$ / Mann Whitney U Testi $U=34824$; $p=0,00$; $p<0,0167$). Bunun temel nedeninin 6360 sayılı kanunla mülki sınırların Büyükşehir Belediyesi sınırları olarak belirlenmesi ve nüfusun 1.983.880 kişiden 2.740.970 kişiye artması ve dolayısıyla daha fazla katı atığın Hamitler Kent Katı Atık Düzenli Depolama Alanına kabul edilmesi olduğu düşünülmektedir.

Atık miktarının sıcaklıkla değişimine ilişkin sonuçlar:

- Depolanan günlük atık miktarındaki değişimin sadece %1'i günlük sıcaklık değeriyle ilişkilidir ($R=0,120$, $R^2=0,014$, $F=11,345$, $p=0,001$). Depolanan aylık toplam atık miktarındaki değişimin ise %25'i aylık ortalama sıcaklık değeriyle ilişkilidir ($R=0,509$, $R^2=0,259$, $F=8,399$, $p=0,008$).

Atık miktarının mevsimsel değişimine ilişkin sonuçlar:

- Yaz mevsimlerinde kış mevsimlerine göre daha fazla miktarda atık depolandığı anlaşılmaktadır. Sonbahar mevsimlerinde ilkbahar mevsimlerine göre daha fazla miktarda atık depolandığı düşünülmektedir.

Sızıntı suyuna ilişkin sonuçlar:

- Sızıntı suyu debisi 11,79 ilâ 27,83 m³/sa arasında değişmekte olup ortalaması 19,91±3,21 m³/sa'tir. En düşük aylık ortalama sızıntı suyu debisi 16±5 m³/sa olarak Eylül 2012'de, en yüksek aylık ortalama sızıntı suyu debisi 25±10 m³/sa olarak Şubat 2013'te görülmüştür.
- Sızıntı suyunda BOİ konsantrasyonu 33,40 ilâ 31517,00 mg/L arasında değişmekte olup ortalaması 13170,51±6657,29 mg/L'dir. En düşük aylık BOİ konsantrasyonu 4205±900 mg/L olarak Aralık 2012'de, en yüksek aylık ortalama konsantrasyon 28183±2260 mg/L olarak Ağustos 2013'te görülmüştür.

- Sızıntı suyunda KOİ konsantrasyonu 6450,00 ilâ 48550,00 mg/L arasında değişmekte olup ortalaması $23000,07 \pm 10161,54$ mg/L'dir. En düşük aylık KOİ konsantrasyonu 9500 ± 4022 mg/L olarak Aralık 2012'de, en yüksek aylık ortalama konsantrasyon 43988 ± 7094 mg/L olarak Ağustos 2013'te görülmüştür.
- Sızıntı suyu pH değeri 6,34 ilâ 8,42 mg/L arasında değişmekte olup ortalaması $7,39 \pm 0,4$ mg/L'dir.

Sızıntı suyu içeriğinin birbiri ile ilişkisine ilişkin sonuçlar:

- Sızıntı suyunda BOİ konsantrasyonundaki değişimin %91'i KOİ konsantrasyonu ile ilişkilidir ($R=0,956$, $R^2=0,914$, $F=763$ $p=0$).
- Sızıntı suyunda BOİ konsantrasyonundaki değişimin %42'si pH değeriyle ilişkilidir ($R=-0,651$, $R^2=0,424$, $F=59$ $p=0$).
- Sızıntı suyunda KOİ konsantrasyonundaki değişimin %45'si pH değeriyle ilişkilidir ($R=0,678$, $R^2=0,459$, $F=61$ $p=0$).

Sızıntı suyunun mevsimsel değişimine ilişkin sonuçlar:

- Hamitler Sızıntı Suyu Arıtma Tesisinde kış mevsimlerinde yaz mevsimlerine göre daha yüksek sızıntı suyu debisi ile karşılaşıldığı görülmektedir. Kış mevsimlerinde BOİ ve KOİ değerleri yaz mevsimine göre daha düşük olurken pH'ın kıştan yaz doğru asitleşme eğilimi gösterdiği anlaşılmaktadır.

Depo gazına ilişkin sonuçlar:

- Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisi'nin işleme açıldığı Temmuz 2012'den Ağustos 2014 sonuna kadar katı atık gövdesi içinden toplamda $86.894.549$ m³ depo gazı olmak üzere $45.021.570$ m³ metan gazı ve $31.346.573$ m³ karbondioksit gazı toplanmıştır.
- Günlük toplanan depo gazı debisi 3110 m³/sa (17.03.2014 Pazartesi) ilâ 5680 m³/sa (28-29.09.2012 Cuma-Cumartesi) arasında değişmekte olup 4585 ± 486 m³/sa'tir. Aylık toplanan depo gazı debisi 34410 m³/sa (Temmuz 2012, günlük ortalaması 3823 m³/sa) ilâ 164765 m³/sa (Kasım 2012, günlük ortalaması 5315 m³/sa) arasında değişmektedir.

- Günlük toplanan metan gazı debisi 1686 m³/sa (17.03.2014 Pazartesi) ilâ 2841 m³/sa (13.10.2012 Cumartesi) arasında değişmekte olup ortalaması 2388±203 m³/sa'tir. Aylık toplanan metan gazı debisi 17872 m³/sa (Temmuz 2012, günlük ortalaması 1986 m³/sa) ilâ 83128 m³/sa (Ekim 2012, günlük ortalaması 2871 m³/sa) arasında değişmektedir.
- Günlük toplanan karbondioksit gazı debisi 1169 m³/sa (26.07.2012 Perşembe) ilâ 2055 m³/sa (19.07.2014 Cumartesi) arasında değişmekte olup ortalaması 1663±146 m³/sa'tir. Aylık toplanan karbondioksit gazı debisi 11096 m³/sa (Temmuz 2012, günlük ortalaması 1233 m³/sa) ilâ 59983 m³/sa (Temmuz 2014, günlük ortalaması 1935 m³/sa) arasında değişmektedir.

Depo gazının yıllara göre değişimine ilişkin sonuçlar:

- Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisinde toplanan gaz debisinde düzenli bir artış olduğu görülmektedir. Depo gazı için 2014<2013<2012, metan gazı için 2014<2013<2012, karbondioksit gazı için 2013<2012<2014 sıralaması bulunmuştur. Bu sıralama atık miktarının değişimi ile (2013<2012<2014) ile uyumludur. Ancak, 2014 yılında depolanan günlük katı atık miktarının yüksek olmasına rağmen bu çalışma süresince organik atığın yeterince ayrışmamasından dolayı 2014 yılında toplanan gaz debisi istatistiksel olarak nispeten az görünmektedir.

Depo gazının sıcaklıkla değişimine ilişkin sonuçlar:

- Toplanan depo gazı debisindeki değişimin sadece %1'i günlük sıcaklık değeriyle ilişkilidir (R=0,105, R²=0,011, F=7,838, p=0,005). Toplanan aylık toplam depo gazı debisindeki değişimin sadece %0,6'sı aylık ortalama sıcaklık değeriyle ilişkilidir (R=0,079, R²=0,006, F=0,150, p=0,702).
- Toplanan metan gazı debisindeki değişimin sadece %5'i günlük sıcaklık değeriyle ilişkilidir (R=0,235, R²=0,055, F=40,684, p=0,000). Toplanan aylık toplam metan gazı debisindeki değişimin sadece %0,1'i aylık ortalama sıcaklık değeriyle ilişkilidir (R=0,028, R²=0,001, F=0,018, p=0,893).

- Toplanan karbondioksit gazı debisindeki değişimin sadece %15'i günlük sıcaklık değeriyle ilişkilidir ($R=0,388$, $R^2=0,151$, $F=123,993$, $p=0,000$). Toplanan aylık toplam karbondioksit gazı debisindeki değişimin sadece %0,1'u aylık ortalama sıcaklık değeriyle ilişkilidir ($R=0,032$, $R^2=0,001$, $F=0,024$, $p=0,878$).

Depo gazının mevsimsel değişimine ilişkin sonuçlar:

- Sonbahar ve kış mevsimlerinde yaz ve ilkbahar mevsimlerine göre daha fazla miktarda gaz oluştuğu anlaşılmaktadır. Yaz mevsiminde kış mevsimine göre daha yüksek miktarda atık depolanmasından dolayı atığın zamanla organik ayrışmaya uğrayarak sonbahar ve kış mevsimlerinde gövdede daha yüksek gaz oluşumunun görülmesi beklenen bir durumdur.

Depo gazı ile katı atık miktarı arasındaki ilişkiye ilişkin sonuçlar:

- Günlük katı atık miktarı ile günlük gaz debileri arasında çok zayıf bir ilişki ($R_{\text{Depo Gazı}}=0,025$, $p=0,503$, $R_{\text{metan Gazı}}=0,049$, $p=0,195$, $R_{\text{Karbon dioksit Gazı}}=0,093$, $p=0,013$) bulunmuştur. Bu beklenen bir sonuçtur. Çünkü atığın organik ayrışmasıyla gaz oluşumu görülmektedir.
- Depolamadan 3 ve 6 ay sonra oluşan günlük gaz debileri arasında da çok zayıf pozitif bir ilişki (Sırasıyla $R_{\text{Depo Gazı}}=-0,013$, $p=0,732$, $R_{\text{metan Gazı}}=-0,007$, $p=0,855$, $R_{\text{Karbon dioksit Gazı}}=-0,026$, $p=0,512$; $R_{\text{Depo Gazı}}=-0,007$, $p=0,860$, $R_{\text{metan Gazı}}=-0,027$, $p=0,522$, $R_{\text{Karbon dioksit Gazı}}=-0,008$, $p=0,845$) bulunmuştur. Ortaya çıkan sonucun hem atık miktarının evsel atık miktarının yanı sıra sanayiden kaynaklanan tehlikeli olmayan katı atık miktarlarını da içermesinden kaynaklandığı hem de atıkların farklı zaman dilimleri içinde vadinin farklı yerlerine depolanmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu bağlamda da literatür bilgilerine karşılık istatistiksel olarak anlamlı sonuç elde edilememektedir.

Depo gazı ile sızıntı suyu arasındaki ilişkiye ilişkin sonuçlar:

- Depo gazı debisinin sadece %5'i sızıntı suyu debisi ile ilişkilidir ($R=-0,241$, $R^2=0,058$, $F=3,325$, $p=0,074$).
- Depo gazı debisinin sadece %8'i BOİ konsantrasyonu ile ilişkilidir ($R=0,290$, $R^2=0,084$, $F=4,418$, $p=0,041$).

- Depo gazı debisinin sadece %5'i KOİ konsantrasyonu ile ilişkilidir ($R=0,236$, $R^2=0,056$, $F=2,658$, $p=0,110$).
- Depo gazı debisinin sadece %23'ü pH ile ilişkilidir ($R=-0,485$, $R^2=0,236$, $F=16,649$ $p=0$).

Depo gazı bileşenlerinin birbiri arasındaki ilişkiye ilişkin sonuçlar:

- Depo gazının %83'ü metan gazı değeriyle ilişkilidir ($R=0,90$, $R^2=0,83$, $F=3144$, $p=0$).
- Depo gazının %40'ı karbondioksit gazı değeriyle ilişkilidir ($R=0,63$, $R^2=0,40$, $F=446$, $p=0$).
- Metan gazının %64'ü karbondioksit gazı değeriyle ilişkilidir ($R=0,80$, $R^2=0,64$, $F=1168$, $p=0$).

Elektrik enerjisi üretimine ilişkin sonuçlar:

- Hamitler Metan Gazından Enerji Üretim Tesisi'nin işleme açıldığı Temmuz 2012'den Ağustos 2014 sonuna kadar toplamda 147.038.820 kW elektrik enerjisi üretilmiştir. Günlük elektrik enerjisi miktarı 6960 kW/sa ilâ 9800 kW/sa değişmekte olup 8191 ± 699 m³/sa'dır.. Üretilen aylık elektrik enerjisi ise 63500 kW/sa ilâ 295075 kW/sa arasında değişmektedir.

Elektrik enerjisinin yıllara göre değişimine ilişkin sonuçlar:

- Üretilen elektrik enerjisinde düzenli bir artış olduğu görülmektedir. Üretilen elektrik enerjisinin yıllara göre değişiminin (2014<2013<2012) gaz debilerinin yıllara göre değişimi ile (depo gazı 2014<2013<2012, metan gazı 2014<2013<2012) uyumlu olduğu görülmüştür.

Elektrik enerjisinin sıcaklıkla değişimine ilişkin sonuçlar:

- Üretilen günlük elektrik enerjisi miktarındaki değişimin sadece %0,3'ü günlük sıcaklık değeriyle ilişkilidir ($R=0,059$, $R^2=0,003$, $F=2,546$, $p=0,111$). Üretilen aylık toplam elektrik enerjisi miktarındaki değişimin aylık ortalama sıcaklık değeri ilişkisi yoktur ($R=0,018$, $R^2=0$, $F=0,008$, $p=0,929$).

Elektrik enerjisinin mevsimsel değişimine ilişkin sonuçlar:

- Elektrik enerjisinin üretiminin, depo gazı oluşumu ve toplanmasından bağımsız bir süreç olmasından dolayı mevsimsel değişimde belirli bir düzen bulunamamıştır. Bunun nedeninin yönetsel kararlardan ötürü zaman zaman çalıştırılan jeneratör sayısının düşürülmesine bağlanmıştır.

Elektrik enerjisi ile katı atık miktarı arasındaki ilişkiye ilişkin sonuçlar:

- Elektrik enerjisinin sadece %2'si atık miktarı ile ilişkilidir ($R=0,148$, $R^2=0,022$, $F=0,496$, $p=0,4891$).

Elektrik enerjisi ile sızıntı suyu arasındaki ilişkiye ilişkin sonuçlar:

- Elektrik enerjisinin sadece %9'u sızıntı suyu debisi ile ilişkilidir ($R=-0,305$, $R^2=0,0093$, $F=5,634$, $p=0,021$).
- Elektrik enerjisinin sadece %7'si BOİ konsantrasyonu ile ilişkilidir ($R=0,277$, $R^2=0,077$, $F=4,070$, $p=0,049$).
- Elektrik enerjisinin sadece %4'ü KOİ konsantrasyonu ile ilişkilidir ($R=0,205$, $R^2=0,042$, $F=2,014$, $p=0,163$).
- Elektrik enerjisinin sadece %17'si pH ile ilişkilidir ($R=-0,412$, $R^2=0,170$, $F=11,256$, $p=0,001$).

Elektrik enerjisi ile depo gazı arasındaki ilişkiye ilişkin sonuçlar:

- Elektrik enerjisinin %77'si depo gazı değeriyle ilişkilidir ($R=0,88$, $R^2=0,77$, $F=2434$, $p=0$).
- Elektrik enerjisinin %77'si metan gazı değeriyle ilişkilidir ($R=0,88$, $R^2=0,77$, $F=2263$, $p=0$).
- Elektrik enerjisinin %31'i karbondioksit gazı değeriyle ilişkilidir ($R=0,56$, $R^2=0,31$, $F=298$, $p=0$).

Demirtaş Rehabilitasyon Edilmiş Vahşi Depolama Alanı'na ilişkin sonuçlar:

- Alana ait de geçmişe ait detaylı kayıt tutulmadığından dolayı istatistiksel analiz yapılamamıştır.
- Sahada gaz oluşumu ve elektrik üretimi literatürde belirtildiği üzere azalan bir seyir göstererek 10 yılın sonunda tamamlanmıştır.

Kontrol edilmediğinde çevre ve insan sağlığına zararlı olan depo gazının, enerji elde etmek amacıyla değerlendirilmesiyle hem çevresel hem de ekonomik fayda sağlanarak çözümler üretmek mümkündür. Bu çalışmada aşığıda belirtilen genel sonuçlara ulaşılmıştır:

- Deponi gazının hem atık gövdesi içinden toplanması hem de yakılarak enerji elde edilmesi, toplama sistemleri ile enerji üretim tesisinin tasarım ve verimliliğine bağlıdır. Hamitler’de uygulanan gaz toplama sistemiyle elde edilen enerji düzeyi tesis kurulumundan önceki beklentileri karşılamaktadır ve verimli bir enerji temini mümkün olmaktadır.
- Ömrünü tamamlamış ve rehabilite edilmiş vahşi bir depolama alanından enerji temin etmek mümkündür. Ancak elde edilen enerjinin ekonomik olup olmaması alanın yaşıyla ilgilidir. Demirtaş’taki enerji teminin yıllara göre azalma durumu depolama alanının yaşının gaz temini açısından önemli olduğunu bir kez daha vurgulamaktadır.
- Demirtaş’ta ve Hamitler’de alan işletimi, uygulanan gaz toplama sistemi, alanın kapanmış veya faal olması açısından çeşitli farklılıklar bulunmasına rağmen iki alandan da gaz toplamanın ve enerji üretiminin mümkün olduğu açıktır.
- Depolama alanlarını planlama aşamasında gaz toplama ve enerji temin hususlarının göz önünde bulundurulması, hem tesis tasarımında hem de tesis işletilmesinde enerji üretimine uygun yöntemler seçilmelidir. Aksi takdirde ekonomik bir faydaya dönüşebilecek deponi gazı zamanında toplanmadığı için hem ekonomik ömrünü kaybedecek hem de bir çevre kirliliği haline gelecektir.

KAYNAKLAR

- Akpınar, N. 2006.** Kentsel katı atıklardan enerji üretimi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü. İstanbul.
- Amini, H. R., Reinhart, D. R. 2011.** Regional prediction of long-term landfill gas to energy potential. Waste Management, 31: 2020:2026.
- Amini, H. R., Reinhart, D. R., Mackie, K. R. 2012.** Determination of first-order landfill gas modelling parameters and uncertainties. Waste Management, 32: 305:316.
- Anonim, 2010a.** Düzenli depolama ve tıbbi atık bertaraf tesisleri işletme ve kontrol kılavuzu. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü Yayını. 2010, Ankara.
- Anonim, 2010b.** Bursa Büyükşehir Belediyesi 2010-2014 Stratejik Planı. 2010, Bursa.
- Anonim, 2010c.** TÜİK, 2010, Web: http://rapor.tuik.gov.tr/reports/rwservlet?adnksdb2&ENVID=adnksdb2Env&report=wa_turkiye_il_koy_sehir.RDF&p_il1=16&p_kod=2&p_yil=2012&p_dil=1&desformat=sp_readsheet (Erişim Tarihi: 01.12.2013).
- Anonim, 2014a.** 2007-2008 Türkiye Enerji Raporu. Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi. Ankara.
- Anonim, 2014b.** İçten yanmalı motorlar. <http://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/icten-yanmali-motorlar1-bolum/9017#ad-image-0> - (Erişim Tarihi: 25.10.2014).
- Anonim, 2014c.** Motorlar. <http://www.dsi.gov.tr/docs/sond%C3%B6r-yeterlilik/makina-motor-bilgisi-e%C4%9Fitim-program%C4%B1.pdf?sfvrsn=4> - (Erişim Tarihi: 25.10.2014).
- Anonim, 2014d.** Yenilenebilir enerji. Enerji ve Tabii kaynaklar Bakanlığı Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü. http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/biyokutle_enerjisi.aspx - (Erişim Tarihi: 26.10.2014).
- Anonim, 2014e.** Gaz motorları ile bileşik elektrik ısı üretimi. <http://www.termodinamik.info/?pid=1038> - (Erişim Tarihi: 26.10.2014).
- Anonim, 2014f.** Buhar ve gaz türbinleri nasıl çalışır?. <http://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/buhar-ve-gaz-turbinleri-nasil-calisir-/8700#ad-image-0> - (Erişim Tarihi: 28.10.2014).
- Anonim, 2014g.** Biyolojik gaz uygulamaları. http://www.topkapigroup.com.tr/sayfalar.asp?LanguageID=1&cid=15&id=32&id2=51#.VE_83_msXkU - (Erişim Tarihi: 28.10.2014).
- Anonim 2014h.** Milliyet Gazetesi, 2014, Web: <http://www.milliyet.com.tr/2000/11/01/haber/hab26.html> (Erişim Tarihi: 16.11.2014).
- Anonim, 2014i.** AKSA Enerji, 2014, Web: <http://www.aksaenerji.com.tr/tr/bursa.aspx> (Erişim Tarihi: 16.11.2014).
- Akün, E. 2012.** Kuzey Kıbrıs'ta biyoenerji ve biyoürün üretim olanakları. 18. Uluslararası Enerji ve Çevre Fuarı ICCI 2012, 25-27.04.2012, İstanbul.
- Ardıç, İ., Tamer, T. 2005.** Biyokütleden biyogaz üretimi I: anaerobik arıtımın temelleri. III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu 2005, 19-21.10.2005, Mersin.
- Bayram, B., Bilgili, M. S., Demir, A., Varank, G. 2008.** Aerobik ve anaerobik depo sahalarında oluşan sızıntı suyunda azot bileşiklerinin kontrolü. III. Çevre Sorunları Kongresi. İstanbul.

- Cankurt Yiğit, İ, Albayrak, T, Kuşoğlu, B. 2011a.** Kent katı atık depolama alanında metan gazından enerji elde edilmesi. Uluslararası % 100 Yenilenebilir Enerji Kongresi IRENEC 2011, 6-8.10.2011, İstanbul.
- Cankurt Yiğit, İ, Albayrak, T, Kuşoğlu, B. 2011b.** Kent katı atık depolama alanında metan gazından enerji elde edilmesi. Yenilenebilir Enerji Kaynağı-Biyokütle Çalıştayı, 7-8.10.2011, Bursa.
- 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.
- Crabtree, R. H. 1995.** Aspect of methane chemistry. Chemical Reviews. 95: 987-1007.
- Çallı, B. 1999.** Anaerobic and aerobic treatment of sanitary landfill leachate. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Çeliktaş, F. 2001.** Demirtaş eski çöp döküm alanından enerji üretimi. II. Çevre ve Enerji Kongresi, 15-17.11.2001, İstanbul.
- Damgaard, A, Manfredi, S, Merrild, H, Stensoe, S, Christensen, T. H. 2011.** LCA and economic evaluation of landfill leachate and gas technologies. Waste Management, 31: 1532:1541.
- Demir, Ş. 2012.** Biyokütle enerjisine ilişkin yasal mevzuat ve lisanslama süreci. Uluslararası Biyogaz Üretim Çalıştayı. Bursa.
- Di Bella, G, Di Trapani, D, Viviani, G. 2011.** Emission assessment at the Burj Hammoud inactive municipal landfill: Viability of landfill gas recovery under the clean development mechanism. Waste Management, 31: 1820:1826.
- El Fadel, M, Abi Esber, L, Salhab, S. 2012.** Evaluation of methane emissions from Palermo municipal landfill: comparison between field measurements and models. Waste Management, 32: 2106:2114.
- Erdem, A. M, Çubukçu, E. E, Erdoğan, D. 2010.** Belediye atıkları yönetiminde biyometanizasyon teknolojisi. II. Atık Teknolojileri Sempozyumu IWES 2010, 4-5.11.2010, İstanbul.
- Erdoğan, D. 2012.** Belediye atıkları yönetiminde enerji geri kazanımı. 18. Uluslararası Enerji ve Çevre Fuar ve Konferansı ICCI 2012, 25-27.04.2012, İstanbul.
- Ergenç, A. T. 2011.** Yakıtlar yanma. Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Ders Notları 8. hafta, İstanbul.
- Hao, X, Cai, Z, Fu, K, Zhao, D. 2012.** Distinguishing activity decay and cell death from bacterial decay for two types of metanogenes. Water Research, 46: 1251:1259.
- Horasan 2009.** Eysel atıksuların mezofilik altı sıcaklıklarda laboratuvar ve pilot ölçekli reaktörlerde havasız arıtımı. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Jacobs, J, Scharff, H. 2006.** Comparison of methane emission models and methane emission measurements. http://www.afvalzorg.nl/Libraries/Publications_Methane_emissions/Comparison_of_Methane_emission_models_to_Methane_emission_measurements.sflb.ashx - (Erişim Tarihi: 25.10.2014).
- Johari, A, Ahmed, S. A, Hashim, H, Alkali, Ramli, M. 2012.** Economic and environmental benefits of landfill gas from municipal solid waste in Malaysia. Science Direct Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16: 2907:2912.
- Kalat, D. 2011.** Bitkisel yağ sanayi rafinasyon atıksularının anaerobik mezofilik ve termofilik şartlarda arıtılabilirliği. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Adana.

- Kiriş, A, Saltabaş, F. 2011.** The landfill gas management at sanitary landfill site and Istanbul case study. Journal of Engineering and Natural Sciences Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 3: 209:218.
- Lombardi, L, Corti, A, Carnavale, E, Bicioochi, R, Zingaretti, D. 2011.** Carbon diokside removal and capturefor landfill gas up-grading. Science Direct Energy Procedia, 4: 465:472.
- Niskanen, A, Varri, H, Havukainen, J, Uusitalo, V, Horttanamen, M. 2013.** Enhancing landfill gas recovery. Journal of Cleaner Production, 55: 67:71.
- Nwachukwu ve Diya 2013.** Estamination of emission of nonmethane organic compunds from a closed landfilll site using a landfill gas emission model. International Journal of Energy and Environment, 4: 85:92.
- Oyman, G, Tüzman, T, Irmak, A, Özçelik, B. 2010.** Çevre yönetiminde yeni bir dönem. II. Atık Teknolojileri Sempozyumu IWES 2010, 4-5.11.2010, İstanbul.
- Özcan, H. K, Borat, M. Bayat, C. 2005.** Katı atık depolama sahası gazları ve çevresel etkileri. II. Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacılar Kongresi MBGAK 2005, 17-19.11.2005, İstanbul.
- Öztürk, B, Durmuş, A, Okumuş, E. 2010.** Biyogaz üretiminde ve kullanımındaki güçlükleri. II. Atık Teknolojileri Sempozyumu IWES 2010, 4-5.11.2010, İstanbul.
- Salihoglu, N. K. 2000.** Katı atık depolama sahalarında oluşan metan gazının belirlenmesi ve metandan elektrik enerjisi elde edilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Bursa.
- Salomon, K R, Lora, E. E. S. 2009.** Estimate of the electric energy generating potential for different sources of biogas in Brazil. Biomass and Bioenergy. 33: 1101-1107.
- Saltabaş, F, Soysal, Y, Yıldız, Ş, Balahorli, V. 2011.** Municipal solid waste thermal disposal methods and its applicability in Istanbul. Journal of Engineering and Natural Sciences Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 3: 109:116.
- Scharff, J. 2006a.** Applying guidance for methane emission estimation for landfills. Science Direct Waste Management, 26: 417:429.
- Scharff ve Oonk, H, Hensen, A. 2006b.** Methods to ascertain methane emission of landfill.
http://www.afvalzorg.nl/Libraries/Publications_Methane_emissions/Paper_methods_to_ascertain_methane_emission.sflb.ashx - (Erişim Tarihi: 26.08.2013).
- Sezgin , N, Özcan, H. K, Varınca, K. B. 2003.** Katı Atık Depo Gazından Elektrik Üretiminin Türkiye’de Uygulanabilirliğine İki Örnek: İstanbul ve Bursa Tesisleri. Yıldız Teknik Üniversitesi Dergisi, 3: 89:96.
- Şengüler, İ, Yılmaz, B. 1994.** Çöp depolama alanlarında oluşan gazın (deponi gazı) çevresel etkileri ve ekonomik potansiyeli. Jeoloji Mühendisliği Dergisi, Mayıs-Kasım: 44:45.
- Tchobanoglous, G, Kreith, F. 2002.** Handbook of solid waste management second edition. The McGraw-Hill Companies Inc, New York Chicago San Francisco Lisbon London Madrid Mexico City Milan New Delhi San Juan Seoul Singapore Sydney Toronto, 950 s.
- Top, S, Sekman, E, Yazıcı, R, Demir, A, Bilgili, M.S. 2011.** Investigation of anaerobic and aerobic degradation processes in sanitary landfill. Journal of Engineering and Natural Sciences Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 3: 99:108.
- Tsai, W. T. 2007.** Bioenergy from landfill gas (LFG). in Taiwan. Science Direct Renewable and Sustainable Energy Rewievs, 11: 311:344.

- Tuğrul, A. B. 2012.** Enerji santralleri ve farklı yönlerden mukayeseli değerlendirmesi. 18. Uluslararası Enerji ve Çevre Fuarı ICCI 2012, 25-27.04.2012, İstanbul.
- Yelmen, B, Öztekin, S, Üstüner, M. 2010.** Türkiye'nin biyokütle potansiyeli ve enerji üretimi. II. Atık Teknolojileri Sempozyumu IWES 2010, 4-5.11.2010, İstanbul.
- Yolcu, İ. D. 1999.** Bursa katı atık yönetimi. Kent Sorunları İnsan ve Çevre Sempozyumu 1999, 17-19.02.1999, İstanbul.
- Zeikus, J. G. 1977.** The biology of methanogenic bacteria. Bacteriological Reviews, 41: 514:541.
- Zhao, R, HUANG, T, McGuire, M. 2012.** From a literature review to an alternative treatment system for landfill gas and leachate. Challenges, 3: 278:289.



EKLER

- EK 1** Atık Miktarı İçin Temel Tanımlayıcı İstatistikler Ve Normalite Testi
- EK 2** Atık Miktarı İle Sıcaklık Arasında Korelasyon Ve Regresyon
- EK 3** Sızıntı Suyu İçin Temel Tanımlayıcı İstatistikler Ve Normalite Testi
- EK 4** Sızıntı Suyunun Mevsimlere Göre Değişiminin İstatistiksel Analizi
- EK 5** Gaz Debileri İçin Temel Tanımlayıcı İstatistikler Ve Normalite Testi
- EK 6** Gaz Debisi İle Sıcaklık Arasında Korelasyon Ve Regresyon
- EK 7** Elektrik Enerjisi İçin Temel Tanımlayıcı İstatistikler Ve Normalite Testi
- EK 8** Elektrik Enerjisi İle Sıcaklık Arasında Korelasyon Ve Regresyon
- EK 9** Gaz Oluşumunu Etkileyen Faktörler Arasındaki Korelasyon

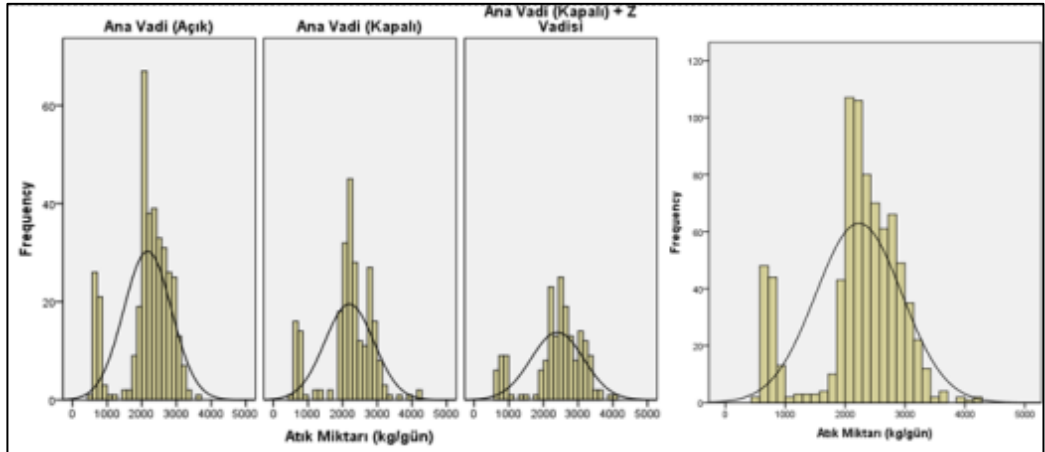
EK 1 Atık Miktarı İçin Temel Tanımlayıcı İstatistikler ve Normalite Testi

H_0 : %95 güvenle veriler normal dağılımlıdır.

H_1 : %95 güvenle veriler normal dağılımlı değildir.

Sonuç : H_0 hipotezi reddedilerek ve H_1 hipotezi kabul edilmiştir.

Temel Tanımlayıcı İstatistikler				Shapiro-Wilk Normalite Testi		
Gaz Oluşumuna Göre Vadi Grupları	Atık Miktarı (ton/gün)	İstatistik	Standart Hata	İstatistik	df	Anlamlılık (W)
Gaz Oluşumuna Göre Vadi Grupları	Ortalama	2166,25	36,061	,884	367	,000
	Medyan	2256,00				
	Varyans	477256,597				
	Standart Sapma	690,838				
	Minimum	489				
Ana Vadi (Açık)	Maksimum	3638				
	Çarpıklık	-,969	,127			
	Basıklık	,348	,254			
	Ortalama	2192,86	45,579	,896	243	,000
	Medyan	2255,00				
Ana Vadi (Kapalı)	Varyans	504819,487				
	Standart Sapma	710,507				
	Minimum	556				
	Maksimum	4184				
	Çarpıklık	-,692	,156			
Ana Vadi (Kapalı) + Z Vadisi	Basıklık	,701	,311			
	Ortalama	2399,64	56,197	,905	184	,000
	Medyan	2523,50				
	Varyans	581081,335				
	Standart Sapma	762,287				
Genel	Minimum	635				
	Maksimum	4010				
	Çarpıklık	-,872	,179			
	Basıklık	,321	,356			
	Ortalama	2399,65	25,527	,906	794	,000
Genel	Medyan	2295,50				
	Varyans	517402,681				
	Standart Sapma	719,307				
	Minimum	489				
	Maksimum	4184				
Genel	Çarpıklık	-,801	,087			
	Basıklık	,389	,173			



EK 2 Atık Miktarı İle Sıcaklık Arasında Korelasyon ve Regresyon

Günlük Atık Miktarı İle Günlük Sıcaklık Değeri Arasında Korelasyon							
		Günlük Sıcaklık	Atık Miktarı (ton/gün)				
Spearman's rho	Korelasyon Katsayısı	1,000	0,120**				
	Anlamlılık (Çift Yönlü)		,000				
	N	780	779				
	Korelasyon Katsayısı	0,120**	1,000				
	Anlamlılık (Çift Yönlü)	,000					
	N	779	794				
**0,01 anlam seviyesinde korelasyon istatistiksel açıdan anlamlıdır (Çift Yönlü).							
Günlük Atık Miktarı İle Günlük Sıcaklık Değeri Arasında Regresyon							
	β	t	p	R	R ²	F	p
Regresyon Katsayısı	2032,48	32,63	0,000	0,120	0,014	11,345	0,001
Günlük Sıcaklık	11,46	3,36	0,001				
Regresyon Formülü	Atık Miktarı (ton/gün)=2032,48 + 11,46*Günlük Sıcaklık						
Aylık Toplam Atık Miktarı İle Aylık Ortalama Sıcaklık Değeri Arasında Korelasyon							
		Günlük Sıcaklık	Atık Miktarı (ton/gün)				
Spearman's rho	Korelasyon Katsayısı	1,000	0,509**				
	Anlamlılık (Çift Yönlü)		,022				
	N	26	26				
	Korelasyon Katsayısı	0,509**	1,000				
	Anlamlılık (Çift Yönlü)	,022					
	N	26	26				
** 0,01 anlam seviyesinde korelasyon istatistiksel açıdan anlamlıdır (Çift Yönlü).							
Aylık Toplam Atık Miktarı İle Aylık Ortalama Sıcaklık Değeri Arasında Regresyon							
	β	t	p	R	R ²	F	p
Regresyon Katsayısı	6222,79	26,83	0,000	0,509	0,259	8,399	0,008
Ortalama Aylık Sıcaklık	0,509	2,89	0,008				
Regresyon Formülü	Aylık Toplam Atık Miktarı (ton/gün)=6222,79 + 0,509*Ortalama Aylık Sıcaklık						

EK 3 Sızıntı Suyu İçin Temel Tanımlayıcı İstatistikler ve Normalite Testi

H₀ : %95 güvenle veriler normal dağılımlıdır.

H₁ : %95 güvenle veriler normal dağılımlı değildir.

Sonuç : H₀ hipotezi reddedilerek ve H₁ hipotezi kabul edilmiştir.

Temel Tanımlayıcı İstatistikler				Shapiro-Wilk Normalite Testi		
		İstatistik	Standart Hata	İstatistik	df	Anlamlılık (W)
Sızıntı Suyu Debisi_Aylık Ortalama (m3/sa)	Ortalama	19,0811	,34353	,918	74	0
	Medyan	20,0000				
	Varyans	8,733				
	Standart Sapma	2,95518				
	Minimum	12,00				
	Maksimum	24,00				
	Çarpıklık	-,805	,279			
	Basıklık	-,025	,552			
BOİ_Aylık Ortalama (mg/L)	Ortalama	13746,6486	792,97265	,949	74	,005
	Medyan	12650,0000				
	Varyans	46531615,683				
	Standart Sapma	6821,40863				
	Minimum	3340,00				
	Maksimum	31517,00				
	Çarpıklık	,676	,279			
	Basıklık	-,217	,552			
KOİ_Aylık Ortalama (mg/L)	Ortalama	23000,0676	1181,25551	,959	74	,018
	Medyan	20450,0000				
	Varyans	103256979,105				
	Standart Sapma	10161,54413				
	Minimum	6450,00				
	Maksimum	48550,00				
	Çarpıklık	,558	,279			
	Basıklık	-,418	,552			
pH_Aylık Ortalama	Ortalama	7,2995	,04394	,981	74	,323
	Medyan	7,2950				
	Varyans	,143				
	Standart Sapma	,37797				
	Minimum	6,34				
	Maksimum	8,11				
	Çarpıklık	-,288	,279			
	Basıklık	,002	,552			

EK 4 Sızıntı Suyunun Mevsimlere Göre Değişiminin İstatistiksel Analizi

H_0 :2012, 2013 ve 2014 yıllarında depolanan katı atık miktarında mevsimsel anlamlı bir farklılık yoktur.

H_1 :2012, 2013 ve 2014 yıllarında depolanan katı atık miktarında mevsimsel anlamlı bir farklılık vardır.

Sonuç : H_0 hipotezi reddedilerek ve H_1 hipotezi kabul edilmiştir.

Kruskal Wallis Test İstatistiği			
	Sızıntı Suyu Debisi (m ³ /sa)	BOİ (mg/L)	KOİ (mg/L)
Ki Kare (H)	9,070	18,160	17,395
df	3	3	3
Anlamlılık (p)	,028	,000	,001

Kruskal Wallis Sıralama			
Mevsimlere Göre		N	Sıra Ortalaması
Sızıntı Suyu Debisi (m ³ /sa)	Sonbahar	23	34,59
	Kış	20	58,15
	İlkbahar	23	53,70
	Yaz	31	50,31
BOİ (mg/L)	Sonbahar	23	26,87
	Kış	16	38,06
	İlkbahar	16	44,44
	Yaz	28	55,29
KOİ (mg/L)	Sonbahar	23	23,57
	Kış	14	34,93
	İlkbahar	10	45,20
	Yaz	27	47,85

Ortanca Testi Test İstatistiği			
	Sızıntı Suyu Debisi (m ³ /sa)	BOİ (mg/L)	KOİ (mg/L)
N	97	83	74
Medyan	21	12080	20450
Ki Kare	5,074	16,773	22,784
df	3	3	3
Anlamlılık	,166	,001	,000

		Ortanca Testi Frekans			
		Mevsimlere Göre			
		Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz
Sızıntı Suyu Debisi (m ³ /sa)	> Medyan	3	8	7	6
	<= Medyan	20	12	16	25
BOİ (mg/L)	> Medyan	4	8	8	21
	<= Medyan	19	8	8	7
KOİ (mg/L)	> Medyan	3	6	7	21
	<= Medyan	20	8	3	6

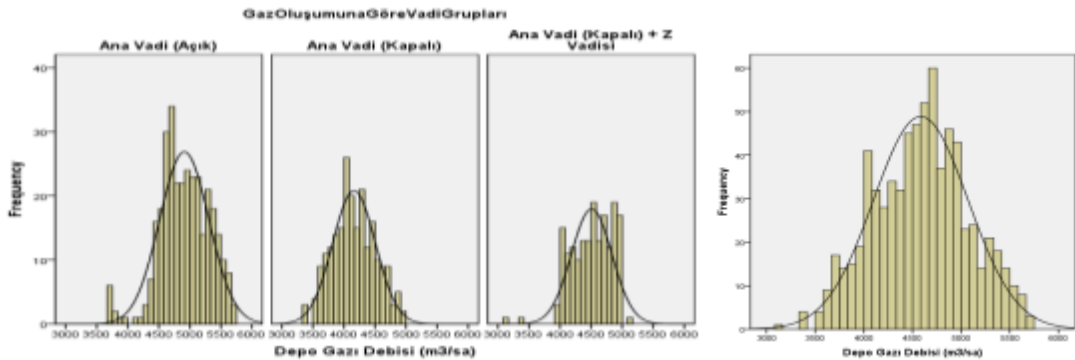
EK 5 Gaz Debileri İçin Temel Tanımlayıcı İstatistikler ve Normalite Testi

H_0 : %95 güvenle veriler normal dağılımlıdır.

H_1 : %95 güvenle veriler normal dağılımlı değildir.

Sonuç : H_0 hipotezi reddedilerek ve H_1 hipotezi kabul edilmiştir.

Gaz Oluşumuna Göre Vadi Grupları	Temel Tanımlayıcı İstatistikler			Shapiro-Wilk Normalite Testi		
	Depo Gazı Debisi (m ³ /sa)	İstatistik	Standart Hata	İstatistik	df	Anlamlılık (W)
Ana Vadi (Açık)	Ortalama	4909,71	22,182	,971	322	,000
	Medyan	4908,50				
	Varyans	158441,371				
	Standart Sapma	398,047				
	Minimum	3680				
	Maksimum	5680				
	Aralık	2000				
	Çarpıklık	-,414	,136			
	Basıklık	,474	,271	,991	216	,190
	Ortalama	4162,38	23,465			
Ana Vadi (Kapalı)	Medyan	4128,50				
	Varyans	118934,701				
	Standart Sapma	344,869				
	Minimum	3344				
	Maksimum	4943				
	Aralık	1599				
	Çarpıklık	,117	,166			
	Basıklık	-,500	,330			
	Ortalama	4508,27	24,622	,943	177	,000
	Medyan	4550,00				
Ana Vadi (Kapalı) + Z Vadisi	Varyans	107308,631				
	Standart Sapma	327,580				
	Minimum	3110				
	Maksimum	5149				
	Aralık	2039				
	Çarpıklık	-,717	,183			
	Basıklık	1,081	,363			
	Ortalama	4584,57	18,189	,994	715	,004
	Medyan	4606,00				
	Varyans	236540,439				
Genel	Standart Sapma	486,354				
	Minimum	3110				
	Maksimum	5680				
	Aralık	2570				
	Çarpıklık	-,049	,091			
	Basıklık	-,417	,183			

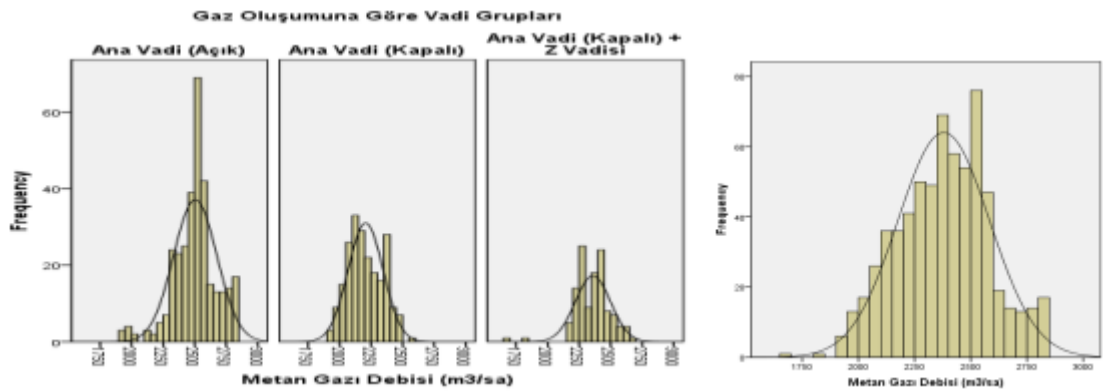


H₀ : %95 güvenle veriler normal dağılımlıdır.

H₁ : %95 güvenle veriler normal dağılımlı değildir.

Sonuç : H₀ hipotezi reddedilerek ve H₁ hipotezi kabul edilmiştir.

Gaz Oluşumuna Göre Vadi Grupları	Temel Tanımlayıcı İstatistikler			Shapiro-Wilk Normalite Testi		
	Metan Gazı Debisi (m ³ /sa)	İstatistik	Standart Hata	İstatistik	df	Anlamlılık (W)
Ana Vadi (Açık)	Ortalama	2504,49	9,615	,957	320	,000
	Medyan	2514,50				
	Varyans	29584,664				
	Standart Sapma	172,002				
	Minimum	1907				
	Maksimum	2841				
	Aralık	934				
	Çarpıklık	-,590	,136			
	Basıklık	1,260	,272			
Ana Vadi (Kapalı)	Ortalama	2206,16	9,449	,977	216	,001
	Medyan	2183,00				
	Varyans	19283,234				
	Standart Sapma	138,864				
	Minimum	1910				
	Maksimum	2560				
	Aralık	650				
	Çarpıklık	,202	,166			
	Basıklık	-,819	,330			
Ana Vadi (Kapalı) + Z Vadisi	Ortalama	2359,02	12,730	,919	121	,000
	Medyan	2382,00				
	Varyans	19608,600				
	Standart Sapma	140,031				
	Minimum	1686				
	Maksimum	2662				
	Aralık	976				
	Çarpıklık	-,969	,220			
	Basıklık	4,628	,437			
Genel	Ortalama	2379,62	7,984	,992	657	,001
	Medyan	2391,00				
	Varyans	41884,362				
	Standart Sapma	204,657				
	Minimum	1686				
	Maksimum	2841				
	Aralık	1155				
	Çarpıklık	-,076	,095			
	Basıklık	-,324	,190			

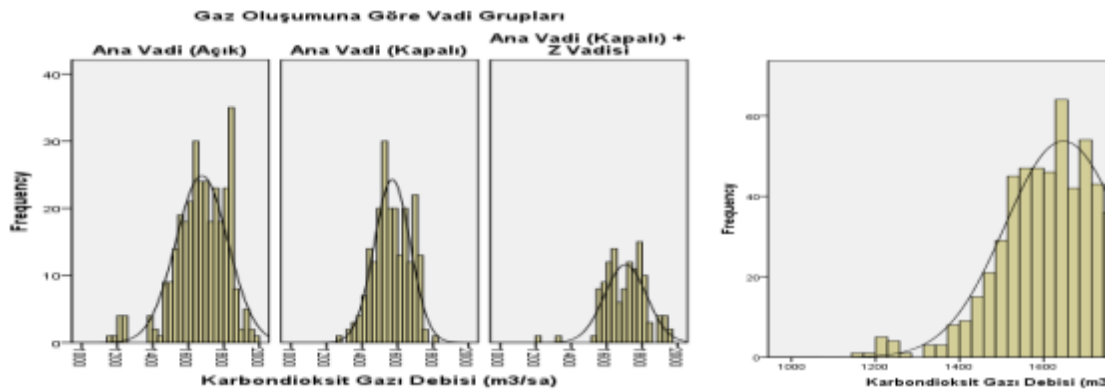


H₀ : %95 güvenle veriler normal dağılımlıdır.

H₁ : %95 güvenle veriler normal dağılımlı değildir.

Sonuç : H₀ hipotezi reddedilerek ve H₁ hipotezi kabul edilmiştir.

Gaz Oluşumuna Göre Vadi Grupları	Temel Tanımlayıcı İstatistikler			Shapiro-Wilk Normalite Testi		
	Karbondioksit Gazı Debisi (m ³ /sa)	İstatistik	Standart Hata	İstatistik	df	Anlamlılık (W)
Ana Vadi (Açık)	Ortalama	1676,72	8,207	,953	320	,000
	Medyan	1684,50				
	Varyans	21551,894				
	Standart Sapma	146,806				
	Minimum	1169				
	Maksimum	1989				
	Çarpıklık	-,841	,136			
Ana Vadi (Kapalı)	Basıklık	1,237	,272			
	Ortalama	1570,14	6,897	,984	216	,018
	Medyan	1562,00				
	Varyans	10273,686				
	Standart Sapma	101,359				
	Minimum	1279				
	Maksimum	1810				
Ana Vadi (Kapalı) + Z Vadisi	Çarpıklık	-,135	,166			
	Basıklık	-,563	,330			
	Ortalama	1705,77	10,780	,950	121	,000
	Medyan	1717,00				
	Varyans	14061,063				
	Standart Sapma	118,579				
	Minimum	1204				
Genel	Maksimum	1966				
	Çarpıklık	-,568	,220			
	Basıklık	2,292	,437			
	Ortalama	1647,03	5,439	,987	657	,000
	Medyan	1647,00				
	Varyans	19432,479				
	Standart Sapma	139,400				
Genel	Minimum	1169				
	Maksimum	1989				
	Çarpıklık	-,367	,095			
	Basıklık	,399	,190			

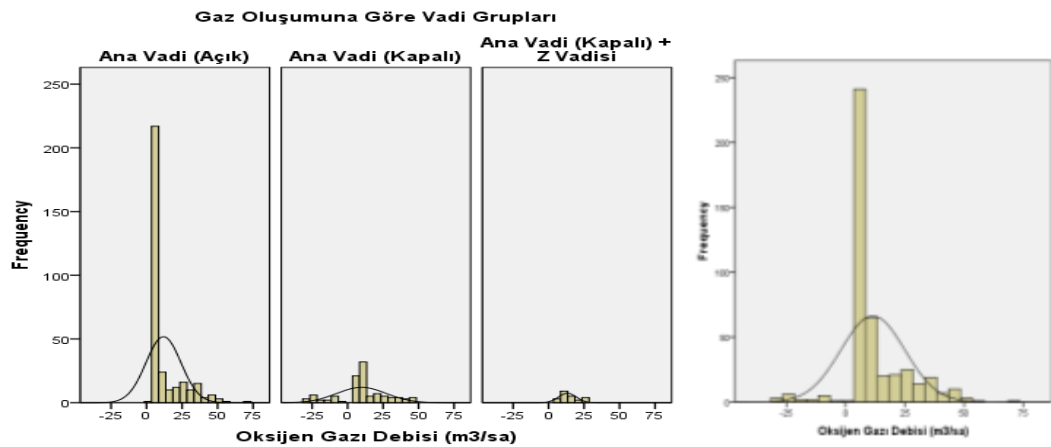


H₀ : %95 güvenle veriler normal dağılımlıdır.

H₁ : %95 güvenle veriler normal dağılımlı değildir.

Sonuç : H₀ hipotezi reddedilerek ve H₁ hipotezi kabul edilmiştir.

Temel Tanımlayıcı İstatistikler				Shapiro-Wilk Normalite Testi		
Gaz Oluşumuna Göre Vadi Grupları	Oksijen Gazı Debisi (m ³ /sa)	İstatistik	Standart Hata	İstatistik	df	Anlamlılık (W)
Ana Vadi (Açık)	Ortalama	11,88	,689	,646	320	,000
	Medyan	5,00				
	Varyans	152,042				
	Standart Sapma	12,331				
	Minimum	2				
	Maksimum	69				
	Çarpıklık	1,859	,136			
Ana Vadi (Kapalı)	Basıklık	2,723	,272			
	Ortalama	9,77	1,696	,941	104	,000
	Medyan	9,00				
	Varyans	299,092				
	Standart Sapma	17,294				
	Minimum	-29				
	Maksimum	44				
Ana Vadi (Kapalı) + Z Vadisi	Çarpıklık	-,253	,237			
	Basıklık	,167	,469			
	Ortalama	13,26	1,298	,857	23	,004
	Medyan	10,00				
	Varyans	38,747				
	Standart Sapma	6,225				
	Minimum	5				
Genel	Maksimum	24				
	Çarpıklık	,704	,481			
	Basıklık	-,743	,935			
	Ortalama	11,46	,636	,816	447	,000
	Medyan	6,00				
	Varyans	180,693				
	Standart Sapma	13,442				
Genel	Minimum	-29				
	Maksimum	69				
	Çarpıklık	,821	,115			
	Basıklık	2,087	,230			



EK 6 Gaz Debisi İle Sıcaklık Arasında Korelasyon ve Regresyon

Günlük Depo Gazı Debisi İle Günlük Sıcaklık Değeri Arasında Korelasyon								
				Günlük Sıcaklık		Depo Gazı Debisi (m ³ /gün)		
Pearson	Günlük Sıcaklık	Korelasyon Katsayısı		1,000		0,105**		
		Anlamlılık (Çift Yönlü)				,005		
		N		780		703		
	Depo Gazı Debisi (m ³ /gün)	Korelasyon Katsayısı		0,105**			1,000	
		Anlamlılık (Çift Yönlü)			,005			
		N		703		715		
**0,01 anlam seviyesinde korelasyon istatistiksel açıdan anlamlıdır (Çift Yönlü).								
Günlük Depo Gazı Debisi İle Günlük Sıcaklık Değeri Arasında Regresyon								
		β	t	p	R	R^2	F	p
Regresyon Katsayısı		107489,99	100,948	0,000	0,105	0,011	7,838	0,005
Günlük Sıcaklık		166,586	2,800	0,005				
Regresyon Formülü	Toplanan Depo Gazı Debisi (m ³ /gün)= 107489,99+ 166,586*Günlük Sıcaklık							
Aylık Toplam Depo Gazı Debisi İle Aylık Ortalama Sıcaklık Değeri Arasında Korelasyon								
				Günlük Sıcaklık		Depo Gazı Debisi (m ³ /gün)		
Pearson	Ortalama Aylık Sıcaklık	Korelasyon Katsayısı		1,000		-0,079**		
		Anlamlılık (Çift Yönlü)				,702		
		N		26		26		
	Aylık Toplam Depo Gazı Debisi (m ³ /gün)	Korelasyon Katsayısı		-0,079**			1,000	
		Anlamlılık (Çift Yönlü)			,702			
		N		26		26		
** 0,01 anlam seviyesinde korelasyon istatistiksel açıdan anlamlıdır (Çift Yönlü).								
Aylık Toplam Depo Gazı Debisi İle Aylık Ortalama Sıcaklık Değeri Arasında Regresyon								
		β	t	p	R	R^2	F	p
Regresyon Katsayısı		96716905,28	7,858	0,000	0,079	0,006	0,150	0,702
Ortalama Günlük Sıcaklık		-265671,35	-0,388	0,702				
Regresyon Formülü	Toplanan Aylık Depo Gazı Debisi (m ³ /gün)= 96716905,28-265671,35*Ortalama Günlük Sıcaklık							

Günlük Metan Gazı Debisi İle Günlük Sıcaklık Değeri Arasında Korelasyon								
			Günlük Sıcaklık	Metan Gazı Debisi (m ³ /gün)				
Pearson	Günlük Sıcaklık	Korelasyon Katsayısı	1,000	0,235**				
		Anlamlılık (Çift Yönlü)	.	,000				
		N	780	701				
	Metan Gazı Debisi (m ³ /gün)	Korelasyon Katsayısı	0,235**	,000	1,000			
		Anlamlılık (Çift Yönlü)	.	,000				
		N	701	713				
**0,01 anlam seviyesinde korelasyon istatistiksel açıdan anlamlıdır (Çift Yönlü).								
Günlük Metan Gazı Debisi İle Günlük Sıcaklık Değeri Arasında Regresyon								
		β	t	p	R	R^2	F	p
Regresyon Katsayısı		54868,29	126,139	0,000	0,235	0,055	40,684	0,000
Günlük Sıcaklık		155,019	6,378	0,000				
Regresyon Formülü	Toplanan Metan Gazı Debisi (m ³ /gün)= 54868,28+ 155,019*Günlük Sıcaklık							
Aylık Toplam Metan Gazı Debisi İle Aylık Ortalama Sıcaklık Değeri Arasında Korelasyon								
			Günlük Sıcaklık	Metan Gazı Debisi (m ³ /gün)				
Pearson	Ortalama Aylık Sıcaklık	Korelasyon Katsayısı	1,000	-0,028**				
		Anlamlılık (Çift Yönlü)	.	,893				
		N	26	26				
	Aylık Toplam Metan Gazı Debisi (m ³ /gün)	Korelasyon Katsayısı	-0,028**	,893	1,000			
		Anlamlılık (Çift Yönlü)	.	,893				
		N	26	26				
** 0,01 anlam seviyesinde korelasyon istatistiksel açıdan anlamlıdır (Çift Yönlü).								
Aylık Toplam Metan Gazı Debisi İle Aylık Ortalama Sıcaklık Değeri Arasında Regresyon								
		β	t	p	R	R^2	F	p
Regresyon Katsayısı		48728295,99	7,828	0,000	0,028	0,001	0,018	0,893
Ortalama Günlük Sıcaklık		-46944,78	-0,135	0,893				
Regresyon Formülü	Toplanan Aylık Metan Gazı Debisi (m ³ /gün)= 48728295,99-46944,78*Ortalama Günlük Sıcaklık							
Günlük Karbondioksit Gazı Debisi İle Günlük Sıcaklık Değeri Arasında Korelasyon								
			Günlük Sıcaklık	Karbondioksit Gazı Debisi (m ³ /gün)				
Pearson	Günlük Sıcaklık	Korelasyon Katsayısı	1,000	0,388**				
		Anlamlılık (Çift Yönlü)	.	,000				
		N	780	701				
	Karbondioksit Gazı Debisi (m ³ /gün)	Korelasyon Katsayısı	0,388**	,000	1,000			
		Anlamlılık (Çift Yönlü)	.	,000				
		N	701	713				
**0,01 anlam seviyesinde korelasyon istatistiksel açıdan anlamlıdır (Çift Yönlü).								
Günlük Karbondioksit Gazı Debisi İle Günlük Sıcaklık Değeri Arasında Regresyon								
		β	t	p	R	R^2	F	p
Regresyon Katsayısı		36919,07	124,042	0,000	0,388	0,151	123,993	0,000
Günlük Sıcaklık		185,175	11,135	0,000				
Regresyon Formülü	Toplanan Karbondioksit Gazı Debisi (m ³ /gün)= 36919,07+ 185,175*Günlük Sıcaklık							
Aylık Toplam Metan Gazı Debisi İle Aylık Ortalama Sıcaklık Değeri Arasında Korelasyon								
			Günlük Sıcaklık	Karbondioksit Gazı Debisi (m ³ /gün)				
Pearson	Ortalama Aylık Sıcaklık	Korelasyon Katsayısı	1,000	-0,032**				
		Anlamlılık (Çift Yönlü)	.	,878				
		N	26	26				
	Aylık Toplam Karbondioksit Gazı Debisi (m ³ /gün)	Korelasyon Katsayısı	-0,032**	,878	1,000			
		Anlamlılık (Çift Yönlü)	.	,878				
		N	26	26				
** 0,01 anlam seviyesinde korelasyon istatistiksel açıdan anlamlıdır (Çift Yönlü).								
Aylık Toplam Karbondioksit Gazı Debisi İle Aylık Ortalama Sıcaklık Değeri Arasında Regresyon								
		β	t	p	R	R^2	F	p
Regresyon Katsayısı		32746745,54	7,413	0,000	0,032	0,001	0,024	0,878
Ortalama Günlük Sıcaklık		38160,76	0,155	0,878				
Regresyon Formülü	Toplanan Aylık Karbondioksit Gazı Debisi (m ³ /gün)= 32746745,54+38160,76*Ortalama Günlük Sıcaklık							

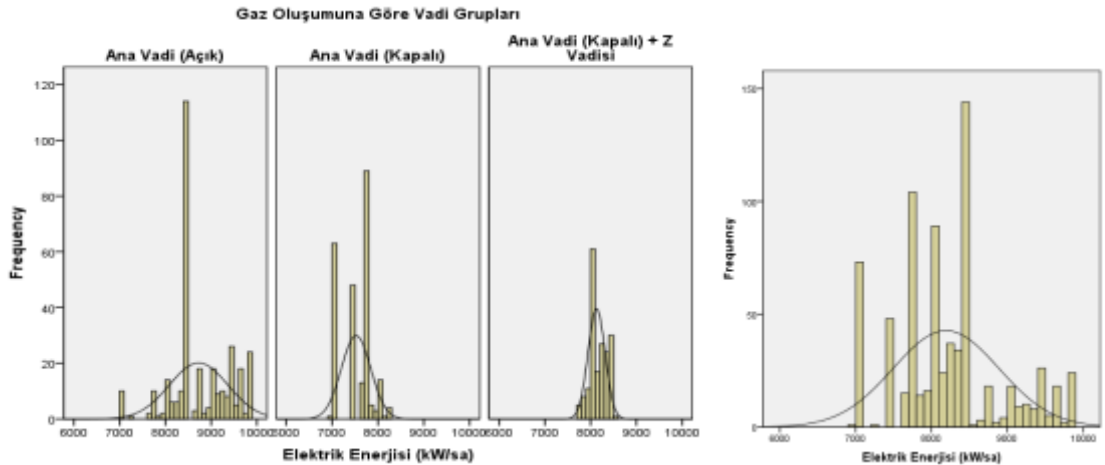
EK 7 Elektrik Enerjisi İçin Temel Tanımlayıcı İstatistikler ve Normalite Testi

H_0 : %95 güvenle veriler normal dağılımlıdır.

H_1 : %95 güvenle veriler normal dağılımlı değildir.

Sonuç : H_0 hipotezi reddedilerek ve H_1 hipotezi kabul edilmiştir.

Temel Tanımlayıcı İstatistikler				Shapiro-Wilk Normalite Testi		
Gaz Oluşumuna Göre Vadi Grupları	Elektrik Enerjisi (kW/sa)	İstatistik	Standart Hata	İstatistik	df	Anlamlılık (W)
Ana Vadi (Açık)	Ortalama	8726,51	35,650	,940	323	,000
	Medyan	8490,00				
	Varyans	410509,493				
	Standart Sapma	640,710				
	Minimum	7000				
Ana Vadi (Kapalı)	Maksimum	9800				
	Çarpıklık	-,219	,136			
	Basıklık	-,026	,271			
	Ortalama	7519,96	20,683	,871	241	,000
	Medyan	7600,00				
Ana Vadi (Kapalı) + Z Vadisi	Varyans	103096,248				
	Standart Sapma	321,086				
	Minimum	6960				
	Maksimum	8250				
	Çarpıklık	-,161	,157			
Genel	Basıklık	-1,122	,312			
	Ortalama	8128,51	13,662	,915	184	,000
	Medyan	8100,00				
	Varyans	34344,885				
	Standart Sapma	185,324				
Ana Vadi (Kapalı) + Z Vadisi	Minimum	7750				
	Maksimum	8500				
	Çarpıklık	,112	,179			
	Basıklık	-1,056	,356			
	Ortalama	8190,67	25,561	,953	748	,000
Genel	Medyan	8100,00				
	Varyans	488727,741				
	Standart Sapma	699,091				
	Minimum	6960				
	Maksimum	9800				
Genel	Çarpıklık	,467	,089			
	Basıklık	-,193	,179			



EK 8 Elektrik Enerjisi İle Sıcaklık Arasında Korelasyon ve Regresyon

Günlük Elektrik Enerjisi İle Günlük Sıcaklık Değeri Arasında Korelasyon								
			Günlük Sıcaklık	Elektrik Enerjisi (kW/sa)				
Pearson	Günlük Sıcaklık	Korelasyon Katsayısı	1,000	-0,059				
		Anlamlılık (Çift Yönlü)		,111				
		N	780	734				
	Elektrik Enerjisi (kW/sa)	Korelasyon Katsayısı	-0,059	1,000				
		Anlamlılık (Çift Yönlü)		,111				
		N	734	748				
Günlük Elektrik Enerjisi İle Günlük Sıcaklık Değeri Arasında Regresyon								
		β	t	p	R	R^2	F	p
Regresyon Katsayısı		199163,077	134,835	0,000	0,059	0,003	2,546	0,111
Günlük Sıcaklık		-132,620	-1,596	0,111				
Regresyon Formülü	Toplanan Elektrik Enerjisi (kW/gün)= 199163,077-132,620*Günlük Sıcaklık							
Aylık Toplam Elektrik Enerjisi İle Aylık Ortalama Sıcaklık Değeri Arasında Korelasyon								
			Günlük Sıcaklık	Depo Gazı Debisi (m ³ /gün)				
Pearson	Ortalama Aylık Sıcaklık	Korelasyon Katsayısı	1,000	-0,018				
		Anlamlılık (Çift Yönlü)		,929				
		N	26	26				
	Aylık Toplam Elektrik Enerjisi (kW/gün)	Korelasyon Katsayısı	-0,018	1,000				
		Anlamlılık (Çift Yönlü)		,929				
		N	26	26				
Aylık Toplam Elektrik Enerjisi İle Aylık Ortalama Sıcaklık Değeri Arasında Regresyon								
		β	t	p	R	R^2	F	p
Regresyon Katsayısı		16,829	6,107	0,000				
Ortalama Günlük Sıcaklık		-9,42E-11	-0,090	0,929	0,018	0,000	0,008	0,929
Regresyon Formülü	Toplanan Aylık Elektrik Enerjisi (kW/gün)= 16,829-9,42E-11*Ortalama Günlük Sıcaklık							

EK 9 Gaz Oluşumunu Etkileyen Faktörler Arasındaki Korelasyon

		Korelasyon			
		Atık Miktarı (ton/gün)	Depo Gazı Debisi (m ³ /gün)	Depo Gazı Debisi (m ³ /gün) 3 Ay Sonraki Oluşum	Depo Gazı Debisi (m ³ /gün) 6 Ay Sonraki Oluşum
Atık Miktarı (ton/gün)	Pearson	1	,025	-,013	,007
	Anlamlılık (Çift Yönlü)		,503	,732	,860
	N	794	715	662	571
Atık Miktarı (ton/gün)	Pearson	1	,049	-,007	,027
	Anlamlılık (Çift Yönlü)		,195	,855	,522
	N	794	713	660	569
Atık Miktarı (ton/gün)	Pearson	1	0,093*	-,026	,008
	Anlamlılık (Çift Yönlü)		,013	,512	,845
	N	794	713	660	569

*0,05 anlam seviyesinde korelasyon istatistiksel açıdan anlamlıdır (Çift Yönlü).

**0,01 anlam seviyesinde korelasyon istatistiksel açıdan anlamlıdır (Çift Yönlü).

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Sevil İnci CANKURT YİĞİT
Doğum Yeri ve Yılı : Bursa 12.03.1980
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Bursa Kız Lisesi
Lisans : Uludağ Üniversitesi Çevre Mühendisliği
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi Çevre Mühendisliği

Çalıştığı Kurum ve Yıl : Bursa Büyükşehir Belediyesi 2006-Devam
İletişim : inci_cankurt@hotmail.com

Yayınları

Salihoğlu, G, Salihoğlu, N.K, Cankurt Yiğit, İ. 2015. Investigation of the factors affecting the gas generation and energy production at a landfill in Turkey. Uluslararası Atık Yönetimi ve Depolama Alanı Sempozyumu, 5-9.09.2015, İtalya (sempozyum bitiminde kitap basılacaktır.).

Cankurt Yiğit, İ, Salihoğlu, G. 2013. Kent katı atık depolama alanında metan gazından enerji elde edilmesi. Ulusal Katı Atık Yönetimi Kongresi, 29.05-01.06.2013, Kocaeli.

Cankurt Yiğit, İ, Albayrak, T, Kuşoğlu, B. 2011a. Kent katı atık depolama alanında metan gazından enerji elde edilmesi. Uluslararası % 100 Yenilenebilir Enerji Kongresi IRENEC 2011, 6-8.10.2011, İstanbul.

Cankurt Yiğit, İ, Albayrak, T, Kuşoğlu, B. 2011b. Kent katı atık depolama alanında metan gazından enerji elde edilmesi. Yenilenebilir Enerji Kaynağı-Biyokütle Çalıştayı, 7-8.10.2011,Bursa.

