

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



BALIKESİR BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ
EVSEL ATIKLARININ PROJEKSİYONU VE
BİYOGAZ POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ

UMUT GÜLTEKİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Ahmet GÜNAY (Tez Danışmanı)**
 Dr. Öğr. Üyesi Atilla MUTLU
 Prof. Dr. İsmail TOSUN

BALIKESİR, TEMMUZ - 2021

ETİK BEYAN

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak tarafımda hazırlanan “**Balıkesir Büyükşehir Belediyesi Evsel Atıklarının Projeksiyonu Ve Biyogaz Potansiyelinin Belirlenmesi**” başlıklı tezde;

- Tüm bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Kullanılan veriler ve sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tüm bilgi ve sonuçları bilimsel araştırma ve etik ilkelere uygun şekilde sunduğumu,
- Yararlandığım eserlere atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,

beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Umut GÜLTEKİN

ÖZET

**BALIKESİR BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ EVSEL ATIKLARININ
PROJEKSİYONU VE BİYOGAZ POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
UMUT GÜLTEKİN
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. AHMET GÜNAY)
BALIKESİR, TEMMUZ - 2021**

Bu çalışmada Balıkesir Büyükşehir Belediyesi evsel katı atıklarının enerji potansiyelinin belirlenmesi ve düzenli depolama sahasında depo gazından elektrik enerjisi üretimine yönelik kurulması planlanan tesisin ekonomik ve finansal analizinin modellenmesi amaçlanmıştır. Balıkesir ilinin nüfus projeksiyon değerleri belirlenmiş, kişi başı atık üretim miktarları tespit edilmiş ve gelecekte üretilecek tahmini atık miktarları hesaplanmıştır. Atıkların bileşiminin belirlenmesi amacı ile atık karakterizasyonu çıkartılmıştır. Evsel katı atık düzenli depolama sahasına gelecek atıkların enerji potansiyelleri Tabasaran ve Rettenberger, Multi-Phase ve School Canyon deponi gazı tahmin modelleri ile hesaplanmış ve elde edilecek gaz üretim miktarı verilerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Balıkesir ilinin mevcut ve gelecek nüfusu ve ürettiği organik içeriği yüksek atık miktarı ile depo gazından enerji temini konusunda iyi bir potansiyele sahip olduğu belirlenmiştir. Enerji üretim tesisi için depo gazının sabit motorlarda yakıt olarak kullanıldığı ve içten yanmalı motorlarda yakılarak enerjiye çevrildiği sistem tercih edilmiştir. Tesisin 25 yıllık işletme süresi için ilk yatırım ve işletme maliyetleri hesaplanmış, iki farklı senaryo için gelir modelleri üzerine çalışılmıştır. Bu modellerden YEKDEM'den faydalanılan senaryonun karlı olduğu belirlenmiş ve destek mekanizmasının önemi ortaya konulmuştur. Atık yönetimi ile ilgili çeşitli öneriler geliştirilmiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: Atık depolama, destekleme fiyatı, entegre katı atık, evsel atıklar, matematiksel modelleme, yenilenebilir enerji.

ABSTRACT

PROJECTION OF BALIKESIR METROPOLITAN MUNICIPALITY DOMESTIC WASTE AND DETERMINATION OF BIOGAS POTENTIAL

MSC THESIS

UMUT GULTEKIN

BALIKESIR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

ENVIRONMENTAL ENGINEERING

(SUPERVISOR: PROF. DR. AHMET GUNAY)

BALIKESİR, JULY - 2021

In this study, it was aimed to determine the energy potential of the domestic solid waste of Balıkesir Metropolitan Municipality and to model the economic and financial analysis of the plant planned to be established for the production of electric energy from storage gas at the landfill site. Population projection values of Balıkesir province were determined, waste production amounts per person were determined and estimated waste amounts to be produced in the future were calculated. In order to determine the composition of waste, waste characterization was removed. The energy potentials of the wastes coming to the domestic Solid Waste Landfill were calculated using Tabasaran and Rettenberger, Multi-Phase and School Canyon deponi gas prediction models and the data on the amount of gas production to be obtained were compared. It has been determined that Balıkesir province has a good potential for energy supply from storage gas with its current and future population and the high amount of waste produced by its organic content. A system in which storage gas is used as fuel in stationary engines and converted to energy by burning in internal combustion engines was preferred for the power generation plant. Initial investment and operating costs were calculated for the 25-year operating period of the facility, and revenue models were studied for two different scenarios. From these models, the scenario used by Yekdem was determined to be profitable and the importance of the support mechanism was revealed. Various recommendations on waste management have been developed.

KEYWORDS: Domestic wastes, integrated solid waste, mathematical modelling, renewable energy, support price, waste disposal.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	vi
TABLO LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	ix
KISALTMA LİSTESİ	x
ÖNSÖZ	xi
1. GİRİŞ	1
1.1 Genel Bakış	1
1.2 Çalışmanın Amaç ve Kapsamı	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	3
2.1 Katı Atıklar	3
2.1.1 Katı Atık Olgusu.....	3
2.1.2 Katı Atıkların Sınıflandırılması	3
2.1.2.1 Kentsel Katı Atıklar.....	3
2.1.2.2 Evsel ve Ticari Katı Atıklar	4
2.1.2.3 Kül ve Cüruf Katı Atıkları.....	4
2.1.2.4 İnşaat ve Yıkım Katı Atıkları.....	4
2.1.2.5 Tarımsal Katı Atıklar.....	4
2.1.2.6 Arıtma Tesisi Katı Atıkları	5
2.1.2.7 Endüstriyel Katı Atıklar.....	5
2.1.2.8 Tehlikeli Katı Atıklar	5
2.1.2.9 Tıbbi Katı Atıklar	5
2.1.2.10 Özel Katı Atıklar	6
2.1.3 Katı Atıkların Fiziksel Özellikleri	6
2.1.3.1 Katı Atık Miktarı.....	6
2.1.3.2 Katı Atık Kompozisyonu	6
2.1.3.3 Katı Atıkların Tane Boyutu ve Dağılımı	7
2.1.3.4 Katı Atıkların Birim Hacim Ağırlığı	7
2.1.3.5 Katı Atıkların Nem İçeriği.....	7
2.1.4 Katı Atık Yönetimi	8
2.2 Katı Atık Bertaraf Yöntemleri	9
2.2.1 Kaynakta Azaltma ve Geri Kazanım	9
2.2.2 Yakma	9
2.2.3 Piroliz	10
2.2.4 Gazifikasyon.....	11
2.2.5 Kompostlaştırma.....	11
2.2.6 Düzenli Depolama	12
2.2.7 Atık Yönetim Hiyerarşisi	14

2.3 Deponi Gazı	17
2.3.1 Deponi Gazı Kavramına Genel Bakış	17
2.3.2 Deponi Gazı Oluşum Mekanizması	18
2.3.3 Deponi Gazının Enerji Potansiyeli	21
2.3.4 Deponi Gazının Elektrik Enerjisi Üretimi Amacı İle Kullanımı	21
2.3.4.1 Depo Gazının Sabit Motorlarda Yakıt Olarak Kullanımı	22
2.3.4.2 Depo Gazının Gaz Türbinlerinde Yakıt Olarak Kullanımı	22
2.3.4.3 Depo Gazının Buhar Türbinlerinde Yakıt Olarak Kullanımı	22
2.3.4.4 Kojenerasyon	23
2.3.4.5 Yakıt Hücresi	23
2.3.5 Deponi Gazından Elektrik Enerjisi Üretim Süreci	23
2.3.6 Deponi Gazından Elektrik Enerjisi Üretimi Finansal ve Ekonomik Analizi	24
2.3.6.1 İlk Yatırım Maliyetleri	25
2.3.6.2 İşletme Maliyetleri	25
2.3.6.3 Gelirler	26
2.3.7 Deponi Gazı Oluşumunu Etkileyen Çevresel Faktörler	26
2.3.7.1 Nem İçeriği	26
2.3.7.2 Nütrient İçeriği	27
2.3.7.3 pH ve Alkalinite	27
2.3.7.4 Atık Bileşimi	28
2.3.7.5 Partikül Boyutu	28
2.3.7.6 Sıcaklık	29
2.3.7.7 Oksijen	29
2.3.7.8 Hidrojen	29
2.3.7.9 Sülfat	29
2.3.8 Deponi Gazı Üretiminin Zamanla Değişimi	30
2.3.9 Deponi Gazı Kullanımının Faydaları	31
2.4 Deponi Gazı Modellemesi	33
2.4.1 Deponi Gazı Modellemesi Nedir?	33
2.4.2 Deponi Gazı Modellemesinin Faydaları	34
2.4.3 Deponi Gazı Matematiksel Modelleme Yöntemleri	35
2.4.3.1 Sıfıncı Dereceden Model	35
2.4.3.2 Sabit Oranlı Model	36
2.4.3.3 Birinci Dereceden Model	36
2.4.3.4 Geliştirilmiş Birinci Dereceden Model	37
2.4.3.5 Multi-Phase (Çoklu Faz) Model	37
2.4.3.6 İkinci Dereceden Model	38
2.4.3.7 Scholl Canyon Modeli	38
2.4.3.8 Tabasaran & Rettenberger Modeli	39
2.4.3.9 Stokiyometrik Model	40
2.4.3.10 LandGEM Modeli	40
2.4.3.11 Palos Verdes Modeli	42
2.4.3.12 Sheldon-Arleta Kinetik Modeli	42
2.4.3.13 GASFILL Modeli	42
2.4.3.14 EPER Fransa Modeli	43
2.4.3.15 EPER Almanya Modeli	45
2.4.3.16 Weber Modeli	45
2.4.3.17 Buswell Eşitliği	46
2.5 Nüfus Projeksiyonu	46

2.5.1 Nüfus Projeksiyonu Tanımı.....	46
2.5.2 Nüfus Projeksiyonu Hesaplama Yöntemleri	47
2.5.2.1 Aritmetik Artış Modeli	47
2.5.2.2 Geometrik Artış Modeli.....	48
2.5.2.3 İller Bankası Modeli.....	49
2.5.2.4 Azalan Hızlı Artış Modeli	50
2.5.2.5 UNDP Yaklaşımı	50
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	52
3.1 Balıkesir İli Tanıtımı	52
3.1.1 Coğrafi Yapı	52
3.1.2 İklim ve Bitki Örtüsü	53
3.1.3 Nüfus	54
3.1.4 Sosyo-Ekonomik Yapı	55
3.1.5 Belediye Atığı Verileri.....	57
3.2 Balıkesir İli Eysel Katı Atık Yönetimi	59
3.2.1 Atık Yönetimi Faaliyetleri	59
3.2.1.1 Toplama ve Taşıma Sistemi.....	59
3.2.1.2 Aktarma İstasyonları	61
3.2.1.3 Düzenli Depolama Sahaları	63
3.2.1.4 Düzensiz Depolama Sahaları	64
3.2.2 Seçilen Nüfus Projeksiyonu	65
3.2.3 Eysel Katı Atık Projeksiyonu	65
3.2.4 Eysel Katı Atıkların Karakterizasyonun Belirlenmesi.....	66
4. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME	69
4.1 UNDP Yaklaşımı İle Nüfus Projeksiyonu	69
4.2 Atık Projeksiyonu.....	69
4.3 Atık Karakterizasyonu	71
4.4 Deponi Gazı Tahmin Modelleri	75
4.4.1 Literatür Esaslı Tahmin.....	75
4.4.2 Tabasaran & Rettenberger Modeli ile Tahmin	76
4.4.3 Multi-Phase (Çoklu Faz) Modeli ile Tahmin	77
4.4.4 Scholl Canyon Modeli ile Tahmin.....	78
4.4.5 Model Sonuçlarının Karşılaştırılması	79
4.5 Deponi Gazı Enerji Değerlendirmesi	80
4.6 Deponi Gazından Elektrik Enerjisi Üretim Tesisi Ekonomik Analizi	81
4.6.1 İlk Yatırım ve İşletme Maliyetleri	81
4.6.2 Gelirler	84
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	91
6. KAYNAKLAR.....	99
EKLER.....	108
EK A: Projeksiyon ve Modelleme Verileri	108
ÖZGEÇMİŞ	119

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Düzenli depolama sahası (Akpınar, 2006).....	13
Şekil 2.2: Depolama sahası kesit görünüşü (Tchobanoglous, Theisen ve Vigil, 1993)	14
Şekil 2.3: Atık hiyerarşisi	15
Şekil 2.4: Düzenli depolama sahası madde dönüşümü (Bilgili, 2006).....	19
Şekil 2.5: Evsel atıkların gaz üretim potansiyeli.....	20
Şekil 2.6: Deponi gazı elektrik üretim prosesi (Çakır ve Günerhan, 2012).....	24
Şekil 2.7: Anaerobik bir filtrede pH'a bağlı rölatif metan oluşum hızı (Christensen ve Cossu, 1998).....	28
Şekil 3.1: Balıkesir il haritası	53
Şekil 3.2: Balıkesir yıllık ortalama sıcaklık ve yağış değerleri, 2016 (Balıkesir Entegre Katı Atık Yönetim Planı, 2016).....	54
Şekil 3.3: Susurluk transfer istasyonu	62
Şekil 3.4: Susurluk transfer istasyonu bunkerı.....	63
Şekil 3.5: Katı atık düzenli depolama sahasının yeri ve hizmet verilen ilçeler	63
Şekil 3.6: Balıkesir düzenli depolama sahasının mevcut konumu ve durumu	64
Şekil 3.7: Balıkesir düzenli depolama sahası görünümü	64
Şekil 4.1: Nüfus projeksiyonu grafiği.....	69
Şekil 4.2: Kişi başı üretilecek atık miktarları.....	70
Şekil 4.3: Günlük atık üretim miktarları.....	70
Şekil 4.4: Toplam atık projeksiyonu	71
Şekil 4.5: Balıkesir il geneli atık karakterizasyon yüzdeleri, 2016	75
Şekil 4.6: Tabasaran & Rettenberger modeli deponi gazı üretim eğrisi.....	77
Şekil 4.7: Multi-Phase modeli deponi gazı üretim eğrisi	78
Şekil 4.8: Scholl Canyon modeli deponi gazı üretim eğrisi.....	79
Şekil 4.9: Toplam maliyet kalemleri grafiği	83
Şekil 4.10: Enerji üretim grafiği.....	87
Şekil 4.11: Birinci senaryoya göre işletme gelir grafiği	87
Şekil 4.12: İkinci senaryoya göre işletme gelir grafiği.....	89

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1: Atık bertaraf modellerinin karşılaştırılması	16
Tablo 2.2: Deponi sahasındaki eser elementlerin konsantrasyonları (Tchobanoglous, Theisen ve Vigil, 1993).....	18
Tablo 2.3: Depo gazlarının hacimsel dağılımı (Tchobanoglous, Theisen ve Vigil, 1993) .	18
Tablo 2.4: Organik maddelerin ayrışabilirlik dereceleri (Gendebien vd., 1991).....	30
Tablo 2.5: Depolama süresi ve deponi gazları konsantrasyonu (Sürücü, 1994)	31
Tablo 2.6: EPA modeli parametreleri (Akpınar, 2006).....	41
Tablo 2.7: UNDP içinde öngörülen Türkiye'nin nüfus artış hızı oranları (Balıkesir Entegre Katı Atık Yönetim Planı, 2016).....	51
Tablo 3.1: Yıllara göre nüfus durumu	55
Tablo 3.2: Balıkesir ili 20 ilçedeki atık miktarları.....	58
Tablo 3.3: Evsel Atık Toplama ve Taşıma Sistemi	61
Tablo 3.4: Atık karakterizasyonu madde grupları	67
Tablo 3.5: Yaz dönemi karakterizasyon çalışması numune alım bilgileri	68
Tablo 3.6: Kış dönemi karakterizasyon çalışması numune alım bilgileri	68
Tablo 4.1: Atık karakterizasyonu ağırlık yüzdeleri kış dönemi, 2016	72
Tablo 4.2: Atık karakterizasyonu ağırlık yüzdeleri yaz dönemi, 2016	73
Tablo 4.3: Atık karakterizasyonu ağırlık yüzdeleri genel ortalama, 2016	74
Tablo 4.4: Tabasaran & Rettenberger modeli için model değişkenleri	76
Tablo 4.5: Multi-Phase modeli için atık bileşen oranı ve hız katsayıları	77
Tablo 4.6: Multi-Phase modeli için model değişkenleri	77
Tablo 4.7: Scholl Canyon modeli deponi gazı üretim verileri	79
Tablo 4.8: Modellerin gaz üretim miktarlarının karşılaştırılması.....	80
Tablo 4.9: Modellerin enerji üretim potansiyellerinin karşılaştırılması.....	81
Tablo 4.10: İlk yatırım maliyet tablosu	82
Tablo 4.11: İşletme gider tablosu.....	83
Tablo 4.12: YEKDEM elektrik üretim birim fiyatları	84
Tablo 4.13: YEKDEM yerli katkı fiyatları.....	84
Tablo 4.14: YEKDEM elektrik üretim birim fiyatları ve yerli katkı fiyatları	85
Tablo 4.15: Birinci senaryoya göre toplam işletme gelirleri, giderleri ve karlılığı	88
Tablo 4.16: İkinci senaryoya göre toplam işletme gelirleri, giderleri ve karlılığı	89
Tablo A.1: Nüfus projeksiyonu kış dönemi	108
Tablo A.2: Nüfus projeksiyonu yaz dönemi.....	108
Tablo A.3: Kişi başı üretilecek atık miktarı kış dönemi	109
Tablo A.4: Kişi başı üretilecek atık miktarı yaz dönemi.....	110
Tablo A.5: Atık projeksiyonu kış dönemi	110
Tablo A.6: Atık projeksiyonu yaz dönemi	111
Tablo A.7: Atık projeksiyonu	112
Tablo A.8: Tabasaran & Rettenberger modeline göre deponi gazı potansiyeli.....	112
Tablo A.9: Multi-Phase modeline göre oluşacak deponi gazı potansiyeli	113
Tablo A.10: Scholl Canyon modeline göre deponi gazı potansiyeli	114
Tablo A.11: Tabasaran & Rettenberger modeline göre elektrik enerjisi potansiyeli	115
Tablo A.12: Multi-Phase modeline göre elektrik enerjisi potansiyeli	115
Tablo A.13: Scholl Canyon modeline göre elektrik enerjisi potansiyeli	116
Tablo A.14: Birinci senaryoya göre yıllara sari enerji üretim miktarları ve gelirler	117

Tablo A.15: İkinci senaryoya göre yıllara sari enerji üretim miktarları ve gelirler..... 118

SEMBOL LİSTESİ

%	: Yüzde
°C	: Derece Santigrat
C _{org}	: Organik Karbon İçeriği
CaCO ₃	: Kalsiyum karbonat
CH ₄	: Metan
CH ₃ COOH	: Asetat
CO ₂	: Karbondioksit
H ₂ S	: Hidrojen sülfür
k	: Metan Üretim Hız Sabiti
kcal	: Kilokalori
kg	: Kilogram
kJ	: Kilojoule
km ²	: Kilometrekare
kWh	: Kilowatt Saat
l	: Litre
L ₀	: Metan Üretim Potansiyeli
m	: Metre
m ³	: Metreküp
mg	: Miligram
mm	: Milimetre
MWh	: Megawatt Saat
N ₂	: Azot
NH ₃	: Amonyak
Nm ³	: Normal Metreküp
NO _x	: Azot oksitler
O ₂	: Oksijen
pH	: Hidrojenin Gücü
Q _{ifg}	: Deponi Gazı Oluşum Miktarı
sn	: Saniye
SO _x	: Kükürt oksitler
t	: Zaman
₺	: Türk Lirası
\$: Amerikan Doları

KISALTMA LİSTESİ

AB	: Avrupa Birliği
ADNKS	: Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi
AP-42	: Hava Kirletici Emisyon Faktörlerinin Derlenmesi (Complation Of Air Pollutant Emissions Factors)
CAA	: Temiz Hava Yasası (Clean Air Act)
DİK	: Devlet İhale Kanunu
EHCIP	: Yüksek Maliyetli Çevre Yatırımlarının Planlanması Teknik Yardım Projesi
EPER	: Avrupa Kirletici Emisyon Kaydı (European Pollutant Emission Register)
EPIAŞ	: Enerji Piyasaları İşletme Anonim Şirketi
HDPE	: Yüksek Yoğunluklu Polietilen (High Density Polyethylene)
KAAP	: Katı Atık Ana Planı
KDV	: Katma Değer Vergisi
LFG	: Depo Gazı (Landfill Gas)
ÖTV	: Özel Tüketim Vergisi
PTF	: Piyasa Takas Fiyatı
TOC	: Toplam Organik Karbon (Total Organic Carbon)
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
UNDP	: Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı (United Nations Development Programme)
US EPA	: Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (United States Environmental Protection Agency)
YEK	: Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun
YEKDEM	: Yenilenebilir Enerji Kaynaklarını Destekleme Mekanizması

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının hazırlanması sürecinde bilgi ve tecrübelerini bana aktaran ve beni yönlendiren tez danışmanım Sn. Prof. Dr. Ahmet GÜNAY'a, katı atık sektöründeki çalışmalarında bakış açımı büyüten ve vizyonumu geliştiren GNCR Holding CEO'su Sn. Sadullah GENCER'e, Gintem Madde Yönetimi A.Ş. Yönetim Kurulu Başkanı Sn. Ahmet Cengiz BAYSAL'a ve merhum Sn. Hasan GEZER'e teşekkürü bir borç bilirim. Akademik anlamda bu seviyeye gelmemde büyük emekleri olan çok kıymetli annem Hümeysra Firdes GÜLTEKİN'e ve merhum babam Bekir GÜLTEKİN'e, her koşulda benim yanımda olan sevgili eşim Güliz GÜLTEKİN'e ve ailemize yeni katılan en büyük motivasyon kaynağım kızım Farah Dilge GÜLTEKİN'e şükranlarımı sunarım.

Balıkesir, 2021

Umut GÜLTEKİN

1. GİRİŞ

1.1 Genel Bakış

Toplumların sosyo-ekonomik yapısı değişim gösterdikçe buna bağlı olarak üretim ve tüketim alışkanlıkları da farklılaşmıştır. Nüfus artışı, kırsaldan kente göç, teknoloji alanında yaşanan gelişmeler ve hızla artan sanayileşme yarattığı olumlu etkilerin yanı sıra bazı olumsuz sonuçlarda meydana getirmiştir. Bu sonuçların en belirgin olanlarından biri özellikle kentlerde üretilen katı atık miktarlarının her geçen gün artış göstermesidir. Atık miktarlarında yaşanan bu artışın çevreye su, hava ve toprak kirliliği şeklinde olumsuz etkilerinin olduğu görülmüş, bu da insanoğlunu atıkların bertarafı konusunda alternatif çözüm arayışlarına itmiştir. Öncesinde atıkların düzensiz (vahşi) depolanması yeterli görülürken özellikle 1970'li yıllardan itibaren gelişmiş ölkelerde düzenli depolama yöntemi yaygınlaşmış, daha sonrasında ise yakma, gazlaştırma ve kompostlaştırma gibi alternatif atık bertaraf teknolojileri geliştirilmeye başlanmıştır. Üretilen atıklar artık sadece uzaklaştırılması gereken yabancı maddeler olarak değil, farklı sektörlerde ekonomik getirisi olan ham maddeler olarak düşünölmeye başlanmıştır. Bu atıkların içerisinde doğrudan geri kazanılabilen atıklar bulunduğu gibi kompost ve enerjiye dönüştürölebilecek atıklarda mevcuttur.

1.2 Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Düzenli depolama kavramı; atıkların kontrollü şekilde depolandığı, depolamadan sonra atıkta gerçekleşen biyoreaksiyonlar sonucu meydana gelen atıkların da kontrol edildiği alanlar şeklinde açıklanabilir. Düzenli depolama yöntemi ile bertaraf yerleşim yerlerinin kendine özgü yapısıyla da ilişkili olarak diğer bertaraf yöntemlerine göre daha düşük maliyetli bir yöntemdir (Türkiye Belediyeler Birliği, 2014).

Deponi gazı; düzenli depolama sahalarında depolanan atıkların biyo-bozunur kısımlarının anaerobik ayrışması sonucu oluşan, içeriğinde birbirine yakın oranlarda metan ve karbondioksit gazı olmak üzere eser miktarda birçok uçucu organik ve inorganik bileşikler bulunduran ve enerji potansiyeli içeren bir gaz karışımıdır.

Bu çalışma kapsamında Balıkesir Büyükşehir Belediyesi sınırları içerisinde oluşan ve düzenli depolama sahasına gönderilen evsel katı atıklar Balıkesir ilinin nüfus projeksiyonu, atık karakterizasyonu, atık projeksiyonu ve çevresel koşulları bağlamında değerlendirilmiş,

bu atıklardan oluşacak deponi gazı miktarı çeşitli deponi gazı modelleme yöntemleri kullanılarak ölçümlenmiş ve evsel katı atıkların biyogaz potansiyelleri belirlenmiştir. Düzenli depolama sahasında deponi gazından elektrik enerjisi üretimine yönelik olarak kurulması planlanan tesis için en uygun sistem alternatifi araştırılmış, yapılacak yatırımın ekonomik ve finansal analizi çıkartılmıştır. Atık yönetimi ile ilgili olarak öneriler geliştirilmiştir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1 Katı Atıklar

2.1.1 Katı Atık Olgusu

Atık, üreticisi veya kullanıcısı olan gerçek veya tüzel kişi tarafından çevreye atılan veya bırakılan ya da uzaklaştırılması zorunlu olan maddeler veya materyaller olarak tanımlanabilir (Atık Yönetimi Yönetmeliği, 2015). Katı atıklar evsel, endüstriyel ve çeşitli insan faaliyetleri sonucunda oluşan, sahibi tarafından bulunduğu ortamdan uzaklaştırılmak istenen, üreticisi tarafından herhangi bir faaliyet için tekrardan kullanılamayacak durumda olan maddelerdir (Yolcu, 1999).

Katı atıklar, çoğunlukla katı formda bulunurlar. Bunun yanında arıtma tesislerinden kaynaklanan arıtma çamurları da katı atık olarak değerlendirilmektedir (Christensen, 2011). Katı atık kavramı, genellikle maddenin katı formunda bulunan atıkları kapsarken bunun yanında su veya başka bir sıvı kadar akışkan olmayan ve gaz formunda bulunmayan atıkları da kapsar (Bilgili, 2020).

Toplumların refah seviyesinin artması, sanayinin gelişmesi ve piyasaya sürülen yeni ürünler; özellikle üretilen katı atık miktarının artmasına sebep olmuştur. Doğaya uyumlu bir şekilde bertaraf edilmediği takdirde istenmeyen çevresel etkilere sebep olan bu atıklar aslında ekonomik değeri olan ve geri dönüşebilen veya tekrar kullanılabilen değerli maddelerdir. Doğru planlama ve uygun bertaraf yöntemleri ile bu atıkların ekonomiye geri kazandırılmasının sağlanmasıyla hem doğal kaynakların azalması engellenecek hem de atıkların oluşturduğu çevre kirliliğinin önüne geçilecektir (7. Ulusal Katı Atık Yönetimi Kongresi, 2015).

2.1.2 Katı Atıkların Sınıflandırılması

Katı atıkların sınıflandırılması işleminde farklı yaklaşımlar mevcuttur. Her bir sınıflandırmanın altında farklı kategorilerde değerlendirilebilecek, değişen teknoloji ve tüketim alışkanlıklarına bağlı olarak farklı yönetim şekilleri ve finansman modelleri gerektirecek atık türleri mevcuttur. Kaynaklarına göre katı atıklar 10 farklı sınıfta değerlendirilebilir.

2.1.2.1 Kentsel Katı Atıklar

Katı atıkların çok büyük bir bölümünü kentsel katı atıklar oluşturmaktadır. Bu tür atıklar, yerleşim yerlerinde, üretime doğrudan katılmayan ticari yerlerde, cadde, sokak, park, bahçe gibi açık alanlarda insanların faaliyetleri sonucunda oluşur. Kentsel katı atıklar, evsel ve ticari atıklar, küller, inşaat, hafriyat ve yıkım atıkları, özel atıklar ve arıtma tesisi atıklarını içermektedir (Peavy, Rowe ve Tchobanoglous, 1985). Daha özet bir şekilde kentsel katı atıklar; şehirlerdeki ekonomik, kültürel ve sosyal aktiviteler sonucu üretilen ve kullanıcısı tarafından uzaklaştırılmak istenen, endüstriyel ve tehlikeli atık sınıfına girmeyen katı atıklardır (Bilgili, 2020).

2.1.2.2 Evsel ve Ticari Katı Atıklar

Evlerde ve dükkan, depo, büro, resmi daireler gibi üretime doğrudan katılmayan işyerlerinde yiyeceklerin hazırlanması, işlenmesi, pişirilmesi veya tüketilmesi sonucunda oluşan gıda artıkları ile yanabilen veya yanmayan katı atıklardan oluşur. Yanabilir katı atıklar aynı zamanda geri kazanılabilen veya tekrar kullanılabilen kağıt, karton, plastik, tekstil, lastik, deri, odun ve bahçe artıkları gibi maddelerden; yanmayan atıklar ise cam, çanak, çömlek, tenekeler, alüminyum kutular ve metallere oluşur (Peavy, Rowe ve Tchobanoglous, 1985).

2.1.2.3 Kül ve Cüruf Katı Atıkları

Kömür ve odun gibi katı yakıtların yakılması neticesinde oluşan katı atıklardır. Ayrıca katı atık bertaraf yöntemlerinden olan yakma işlemi sonucunda oluşan inorganik yanma kalıntıları da bu grupta değerlendirilir. Bu grupta sınıflandırılan atıklar kül, klinkerleşmiş ve sinterleşmiş maddelerle yanmamış odun ve kömür parçaları, cam ve metal gibi maddeleri içerir (Prüss, Giroult ve Rushbrook, 1999).

2.1.2.4 İnşaat ve Yıkım Katı Atıkları

İnşaat ve yıkım atıkları her türlü yapının; tamir edilmesi, tadilat edilmesi, yenilenmesi, yıktırılması veya herhangi bir doğal afet nedeniyle yıkılması sonucunda oluşan atıklar olarak tanımlanmaktadır (Atık Yönetimi Yönetmeliği, 2015). Katı atıkların önemli bir kısmını oluşturan bu atıklar, bina, konut, köprü ve yol gibi çeşitli yapıların yapım, bakım, onarım ve yıkım faaliyetleri sonucu oluşan ve kontrol edilmemeleri durumunda kentleşmeyi ve çevrenin ekolojik dengesini bozabilecek atıklardır (Yıldız ve Ölmez, 2008).

2.1.2.5 Tarımsal Katı Atıklar

Tarımsal ve hayvansal ürünlerin üretilmesi için gerçekleştirilen faaliyetler sonucu ortaya çıkan yaprak, gübre, sap ve saman gibi katı atıklardan oluşmaktadır (Altunbaş ve Palabıyık, 2004). Tarımsal katı atıklar daha geniş bir ifadeyle, meyve, sebze, et, kümes hayvanları, süt ve süt ürünleri ile diğer tarımsal ve hayvansal ürünlerin yetiştirilmesi ve işlenmesinden kaynaklı, ekonomik değeri toplama, taşıma ve endüstriyel işleme maliyetlerinden daha düşük olan üretim dışı çıktılardır (Bilgili, 2020).

2.1.2.6 Arıtma Tesisi Katı Atıkları

Su, atık su ve endüstriyel atık arıtma tesislerinden proses kaynaklı oluşan, çamur olarak tanımlanabilen katı ve yarı katı halindeki atıklardır. Bu atıkların özellikleri her bir arıtma prosesinin yapısına göre değişkenlik gösterir (Peavy, Rowe ve Tchobanoglous, 1985).

2.1.2.7 Endüstriyel Katı Atıklar

Her tür endüstri kuruluşu ile çeşitli üretim yerlerinde açığa çıkan istenmeyen nitelikteki katı madde ve çamurlar endüstriyel katı atık olarak tanımlanır. Endüstriyel katı atıklar cam, kağıt, plastik, tahta, metal ve hurda gibi çeşitli ambalaj atıklarının yanında; gerek atıldıkları anda ve gerekse zaman içerisinde canlılar için tehlike oluşturabilecek nitelikler taşıyan biyolojik, kimyasal, toksik, yanıcı, patlayıcı, radyoaktif katı atıklar ile mezbahalar, et kombinaları gibi gıda endüstrilerinde oluşan kokuşabilir özellikteki atıkları içermektedir (Peavy, Rowe ve Tchobanoglous, 1985). Endüstriyel katı atıklar, hem tehlikeli atıklar kategorisinde değerlendirilebilecek atıkları hem de evsel katı atık olarak değerlendirilebilecek atıkları içerebilir (Bilgili, 2020).

2.1.2.8 Tehlikeli Katı Atıklar

Sanayi tesisleri, sağlık kurumları ve hanelerde oluşan ve içinde zehirli maddeler barındırabilen, aşındırıcı, yanıcı, patlayıcı özellikte olan ve farklı maddelerle reaksiyona girerek ekosistem üzerinde olumsuz etkiler oluşturabilecek atıklardır (Saleh, 2016). Tehlikeli atıkların özellikleri patlayıcı, oksitleyici, alevlenen, tahriş edici, zehirli, kanserojen etkiye sahip, aşındırıcı (korozyif) olması, enfeksiyon yapıcı, mutajenik ve ekotoksik olması şeklinde sıralanmıştır (Atık Yönetimi Yönetmeliği, 2015).

2.1.2.9 Tıbbi Katı Atıklar

Tıbbi atıklar, hastaneler ve sağlık ocakları gibi sağlık kuruluşları ile sağlık hizmetlerinin yürütülmesinden kaynaklı, doğada kalarak ekolojik dengeyi bozma ve canlılara enfeksiyon

bulaştırma potansiyeli taşıdığı için tehlikeli atıklar sınıfına giren, üretimi, taşınması, depolanması ve bertarafına yönelik olarak önlemler alınması gereken katı atık türüdür (Aydoğan, Varank ve Bilgili, 2011). Tıbbi atık “enfeksiyon yapıcı, patolojik ve kesici-delici atıkları” kapsayacak şekilde tanımlanmıştır (Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, 2017). İğneler, hastanede kullanılan eldivenler, ameliyat kıyafetleri, bistüriler, lam ve lamel gibi laboratuvarlarda oluşan katı atıklar, karantina atıkları gibi kullanılmış tıbbi malzemeler başlıca tıbbi atıklardır.

2.1.2.10 Özel Katı Atıklar

Cadde ve sokak süprüntüleri, yol kenarlarındaki çöpler, ölmüş hayvanlar, kaba atıklar olarak tanımlanabilen iri hacimli ev eşyaları ve terk edilmiş araçlar gibi dağınık kaynaklarda ortaya çıkan ve değişik özellikler gösteren atıklardır (Peavy, Rowe ve Tchobanoglous, 1985).

2.1.3 Katı Atıkların Fiziksel Özellikleri

Katı atıkların fiziksel özellikleri katı atık miktarı, kompozisyonu, parçacık boyutu, birim hacim ağırlığı ve nem içeriği olarak 5 alt sınıfta incelenebilir (Peavy, Rowe ve Tchobanoglous, 1985).

2.1.3.1 Katı Atık Miktarı

Katı atıkların miktarı refah seviyesi, hayat standardı, ekonomik yapı, beslenme alışkanlıkları gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak değişim gösterir. Yapılan araştırmalar tüketim alışkanlıklarında zamanla meydana gelen değişimlerin atık miktarını ve atık kompozisyonunu etkilediğini göstermiştir. Gelişmemiş ülkelerde kişi başına düşen atık miktarı, gelişmekte olan ülkelere kıyasla genellikle daha düşüktür. Katı atıkların miktarı, iklime ve çevre koşullarına göre de değişkenlik göstermektedir. Nemli ve yağışlı bölgelerde katı atıkların su içeriğinin yüksek olmasından kaynaklı olarak toplanan atık miktarı, oluşan atık miktarından daha fazla olabilmektedir. Diğer yandan evlerde çöp öğütücülerin kullanılması ve atık hacimlerinin küçültülmesi, geri kazanılabilen atıkların kaynağında farklı değerlendirilmesi gibi faaliyetler sonucu toplanan atık miktarları oluşan atık miktarlarından daha az çıkabilmektedir (Atmaca, 2015).

2.1.3.2 Katı Atık Kompozisyonu

Atık kompozisyonu, atıkların içeriğindeki maddelerin maddesel grup analizleri yapılarak türlerine göre dağılımlarının yapılması ve bu dağılımların yüzdesel olarak ifade edilmesidir.

Atık kompozisyonu veya atık bileşimi, atığın özellikle ekonomik anlamda yönetim şekline karar verme konusunda etkin olan bütün parametreleri belirleyen bir yapıdır. Evler, çalışma alanları, fabrikalar ve sağlık kuruluşlarında ortaya çıkan atıklar içerik olarak birbirinden farklıdır. Evsel katı atığı değerlendirecek olursak, atık kompozisyonunda bulunan bileşenler yiyecek artıkları, kağıt ve karton atıkları, plastikler, metaller, cam, tekstil, deri, odun, bahçe artıkları ve kül olarak sıralanabilir. Örnek olarak domates salçası üreten bir işletmenin işlem bölümünde posa ve ayıklama atıkları, paketleme bölümünde ambalaj atıkları veya geri dönüştürülebilen atıklar olarak tanımlanabilecek plastik, cam, metal ve kağıt atıkları oluşacaktır (Alpaslan, 2005).

Tüketim alışkanlıklarında gerçekleşen değişiklikler sonucunda katı atıkların içeriğinde oluşan değişimlerin sürekli izlenmesi ve örnekleme yapılması gereklidir (Buenrostro, Bocco ve Cram, 2001).

2.1.3.3 Katı Atıkların Tane Boyutu ve Dağılımı

Katı atık kompozisyonundaki materyallerin boyutu, atık içerisindeki bazı materyallerin geri kazanımı açısından önem taşımaktadır. Özellikle silindir şeklinde dönen tambur elek ve manyetik ayırıcılar gibi atıkların mekanik olarak ayrılması için kurulan sistemlerde parçacık boyutlarının önceden bilinmesi gerekli olmaktadır. Bunun yanında düzenli depolama yapılan sahalarda depolanan katı atıkların tane boyutunun ne kadar küçük olursa depo gazı oluşumunun daha fazla olacağı düşünülmektedir (McBean, Rovers ve Farquhar, 1995).

2.1.3.4 Katı Atıkların Birim Hacim Ağırlığı

Atığın birim hacim ağırlığı, birim hacimdeki atık materyalin ağırlığı olarak tanımlanır ve genel olarak kg/m^3 ile ifade edilir. Gelişmiş toplumlarda üretilen katı atıkların birim hacim ağırlıkları, atığın içerisinde bulunan yüksek hacimli ambalaj atıklarının tüketim kaynaklı olarak daha fazla olması ve nem miktarının daha düşük olması sebebi ile daha düşüktür (Özcan, 2009).

Katı atıkların birim hacim ağırlığı, jeolojik yapıya, mevsime ve depolama zamanının büyüklüğüne bağlı olarak değişir (Peavy, Rowe ve Tchobanoglous, 1985).

2.1.3.5 Katı Atıkların Nem İçeriği

Katı atıkların nem miktarı, kuru veya yaş biçimde bulunan atık maddenin birim ağırlığı başına düşen nem ağırlığı olarak açıklanır. Yaş atığın nem içeriği maddenin yaş ağırlığının yüzdesi, kuru atığın ise maddenin kuru ağırlığının yüzdesi olarak açıklanır. Endüstriyel katı atıklarda nem içeriği %10-35 arasında bulunurken kentsel katı atıklar için bu değer %15-40 arasında bulunmaktadır (Peavy, Rowe ve Tchobanoglous, 1985).

2.1.4 Katı Atık Yönetimi

İnsanların ürettiği atık miktarının hızla artması, çöpün artık sadece yerleşim yerlerinden uzak noktalarda bertaraf edilmesi gereken bir atık türü olmaktan çok toplama, taşıma, değerlendirme, geri kazanım ve bertaraf etme gibi disiplinleri içeren ekonomik bir atık sistemi içerisinde değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır (Sancaklı, 1998).

Katı atıkların üretilmesi, toplanması ve bertaraf edilmesine aşamalarında, disiplinler arası prensipler kullanılarak ekonomik yöntemler uygulanması sürecine katı atık yönetimi denir (Alpaslan, 2005). Katı atık yönetimindeki temel amaç, atıkların toplanarak bertaraf edilmesi sürecinde çevreci ve ekonomik yöntemlerin kullanılmasıdır (Palabıyık, 1998).

Katı atıkların miktar ve özellikleri gelişmişlik, gelir seviyesi ve tüketim alışkanlıklarına bağlı olarak ülkeden ülkeye değiştiği gibi aynı ülke içerisinde bölgeden bölgeye hatta aynı şehirde semtten semte değişiklik gösterebilmektedir. İyi bir katı atık yönetimi ile bütün atıklar kontrol altına alınır ve en uygun yöntemlerle bertaraf edilir. En ideal şartlarda planlanan ve işletilen entegre bir katı atık yönetim sisteminde kontrolsüz katı atık oluşumu meydana gelmez (Akpınar, 2006).

Etkili bir katı atık yönetimi; atık oluşumu, atıkları kaynağında biriktirme ve ayırma, toplama, transfer, işleme veya dönüştürme ve nihai bertaraf aşamalarını kapsar. Bu unsurların her biri birbirinden bağımsız olarak ele alınmalıdır (Demir, Altınbaş ve Arıkan, 1999).

Atık yönetiminde atık hiyerarşisi esas alınmaktadır. Buna göre kaynakta azaltma ve yeniden kullanım, geri dönüşüm ve kompostlama, enerji geri kazanımı ve bertaraf gibi en çok tercih edilmesi gerekenden en aza doğru oluşturulmuş bir atık hiyerarşisi söz konusudur. Etkin bir yönetimle doğal kaynakların korunması, ekonomik kazanç ve enerji tasarrufu gibi sonuçlar elde edilebilmektedir (Aygül ve Yıldız, 2018).

2.2 Katı Atık Bertaraf Yöntemleri

Ülkelerin coğrafyası, iklimi, sanayisi ve gelişmişlik seviyesi gibi kriterler o ülkelerin katı atık bileşimini etkilediği gibi aynı zamanda hangi atık bertaraf yöntemini tercih edeceğine de etki etmektedir (Gürel, 2015).

Atıkların içeriği toplama yöntemlerine göre farklılık içerir. Burada önemli olan unsur ham madde olarak değerlendirilmesi gereken atıkların geri kazanım veya dönüşümleri sağlanırken en ekonomik yöntemin seçilmesi gerekliliğidir. Bu amaçla geliştirilen bertaraf yöntemleri arasında en yaygın olanları kaynağa azaltma ve geri kazanım, yakma, piroliz, gazifikasyon, kompostlaştırma ve düzenli depolama yöntemleridir (Gürel, 2015).

2.2.1 Kaynağa Azaltma ve Geri Kazanım

Katı atıkların ekonomik ömürleri dolana kadar, toplama ve temizleme dışında hiçbir işleme tabi tutulmadan kullanılmalarına tekrar kullanım denir. Bu şekilde ürünlerin kullanım süresi uzatılmış olur (Daskalopoulos, Badr ve Probet, 1997).

Geri dönüşüm; atıkların içindeki farklı özelliklerdeki bileşenlerin fiziksel, kimyasal ve biyokimyasal yöntemlerle farklı ürünlere veya enerjiye dönüştürülmesidir (Daskalopoulos, Badr ve Probet, 1997).

Geri dönüşümde en önemli etken geri dönüştürülebilir atıkların kaynağında diğer atıklardan ayrı olarak toplanması ve bu şekilde değerlendirilmesidir (Demir vd., 2001).

2.2.2 Yakma

Kentsel katı atıklar hacimlerinin azaltılması, stabilize edilmeleri, patojen mikroorganizmaların yok edilmesi ve enerji elde etmek amacı ile yakılırlar (Demir, Altınbaş ve Arıkan, 1999). Yakma işlemi sonucunda ortaya çıkan partiküllerin ve toksik gazların (dioksin gibi) hava kirliliğine sebep olmaları nedeni ile kontrol edilmeleri gerekmektedir (Tchobanoglous, Theisen ve Vigil, 1993).

Yakma teknolojisinin en büyük avantajı yakılan atıkların ağırlıkça %75, hacimce %90 oranlarında azalmasıdır. Dezavantajı ise yakma sonucu oluşan baca gazı emisyonlarının hava kirliliğine sebep olmasıdır. Bu kirliliği önlemek amacı ile atık yakma tesislerinde kurulması gereken baca gazı arıtma sistemleri tesisin ilk yatırım ve işletme maliyetlerini

oldukça artırmaktadır. Yakma yöntemi özellikle düzenli depolama sahası kurmak için yeterli ve uygun alanı bulunmayan ülkelerde iyi bir alternatif olarak tercih edilmektedir. Tekrar değerlendirilebilen atıkların geri kazanılması mümkünken yakma sistemleri ile bertaraf edilmesi ve yakma tesislerinin oluşturduğu baca gazı emisyonları, bu tesislerin çevre bilinci ve duyarlılığı yüksek olan ülkelerde, başta tesis civarında yaşayan insanlar olmak üzere kamuoyu tarafından protesto edilmelerine sebep olmuştur. Fakat gelişen baca gazı arıtma teknolojileri ile hava kirliliği oluşumunun azaltılması, entegre katı atık yönetim sistemlerinin oluşturulması ve bu sistemlerin yararlarının kamuoyuna doğru aktarılması sonucu yakma tesislerine olan muhalefet olma durumu giderek azalmaktadır (Pichtel, 2005).

Yakma; yanabilir organik maddelerin önceden tespit edilmiş bir zaman aralığında gazlaştığı ve stokiometrik ihtiyaçtan fazla olarak temin edilmiş hava içerisindeki oksijen yardımıyla okside olduğu bir kimyasal reaksiyondur (Tchobanoglous, Theisen ve Vigil, 1993).

Yakma yöntemi, hacim ve ağırlık oranının yüksek olması nedeniyle depolama yeri sıkıntısının çekildiği durumlarda ve hastane atıklarında olduğu gibi son ürünün stabilize edilmesinin gerekli olduğu hallerde kullanılan bir yöntemdir. Geri dönüşümü mümkün maddelerin ayrılmasından sonra, katı atık nem oranı ve kalorifik değerinin uygun olması halinde, gerekli hava kalitesi standartlarının sağlanması şartıyla bu yöntemin uygulanması ekonomik ve çevresel açıdan faydalı olmaktadır. Katı atıkların yakılabilmesi için atığın yanmaya uygun özelliklerde olması ve ikincil bir yakıtı ihtiyaç duyulmaması sistemin ekonomik olarak sürdürülebilir olması için gereklidir. Yakma işlemi sonucu oluşan inorganik atıklar düzenli depolama sahalarında bertaraf edilmelidir (Daskalopoulos, Badr ve Probert, 1997).

2.2.3 Piroliz

Piroliz, oksijensiz ortamda stabil olmayan organik maddelerin termal kırılmaya uğradığı (400-800⁰C) ve katı, sıvı ve gaz bileşenlere dönüştüğü termokimyasal bir bertaraf prosesidir. Yakma ve gazifikasyon prosesleri ekzotermik (ısı veren) reaksiyonlar içerirken piroliz endotermik (ısı alan) bir prostestir. Piroliz sistemleri literatürde genellikle gazifikasyon sistemleriyle karıştırılmaktadır. Her iki proste katı atıkları katı, sıvı ve gaz yakıtlara dönüştürme amaçlı kullanılmasına rağmen aralarındaki temel fark; piroliz sistemleri anaerobik ortamda endotermik reaksiyonları devam ettirebilmek için dışarıdan bir ısı kaynağı kullanırken, gazlaştırma sistemleri kendi içinde gerekli ısıyı sağlar ve atığın

yanması için oksijen kullanırlar. Bu sebeple piroliz prosesini tanımlamak için “kuru damıtma” terimi de kullanılır (Tchobanoglous, Theisen ve Vigil, 1993).

Piroliz prosesi sonucu başlıca 3 fraksiyon oluşur:

- 1) Atığın organik özelliklerine bağlı olarak başlıca hidrojen (H₂), metan (CH₄), karbonmonoksit (CO), karbondioksit (CO₂) ve diğer gazlardan oluşan bir gaz akımı.
- 2) Asetik asit, aseton, metanol ve kompleks hidrokarbonları içeren bir katran veya yağ akımında oluşan sıvı fraksiyon.
- 3) Saf karbon ve katı atıkta bulunan sert materyallerden oluşan kömürleşmiş katı (Tchobanoglous, Theisen ve Vigil, 1993).

2.2.4 Gazifikasyon

Gazlaştırma terimi yakıtın düşük oksijenli bir ortamda yakıldığı kısmi bir yanma prosesini tarif eder. Gazlaştırma prosesinde atığın kısmi olarak yanması sonucu CO, H₂ ve başta CH₄ olmak üzere bazı doymuş hidrokarbonlardan oluşan yanıcı bir gaz yakıt elde edilir. Bu yakıt içten yanmalı motor, gaz türbini ve boylerlerde yakılarak enerji üretimi sağlanır. Evsel katı atıkların hacminin azaltılması ve enerjinin geri kazanımı için verimli bir yöntemdir. Elektrik üretim veriminin daha iyi olması gazlaştırma prosesini yanma prosesine göre daha avantajlı kılmaktadır. Temel enerji üretimi ise yanma prosesinden daha düşüktür (Tchobanoglous, Theisen ve Vigil, 1993).

Gazlaştırma teknolojisinin bir başka avantajı ise proses düşük oksijenli bir ortamda gerçekleştirildiği için yakma yöntemine göre atmosfere çok daha az SO_x, NO_x ve CO gibi kirletici salınımı gerçekleştirmesidir. Bunun yanı sıra yakma prosesi sonucunda oluşan kül miktarı %15-20 civarında iken gazlaştırma prosesinde bu oran %7 civarındadır. Bu özellikler gazlaştırma prosesini daha çevreci bir yöntem olarak tanımlamamızı sağlar (Çelik, 2005).

Gazifikasyon prosesinin termal verimliliği yanma prosesinden daha fazladır. Ağırlıkça %75, hacimce %90 azalma olmaktadır. Bu prosesin dezavantajı gaz filtreleme sisteminin düzenli olarak kontrol edilmediği durumlarda içten yanmalı motorların zarar görecektir (Tchobanoglous, Theisen ve Vigil, 1993).

2.2.5 Kompostlaştırma

Kompostlaştırma, mikroorganizmaların ortamdaki oksijeni kullanarak organik atıkları ayrıştırması işlemidir. Bu işlem sonucunda ürün olarak toprak düzenleyici ve gübre değeri olan humusa benzer bir materyal elde edilmektedir. Kompostlaştırma işlemi sırasında oluşan ısı ile organik madde içerisindeki patojen mikroorganizmalar etkisiz hale getirilmektedir (Haug, 1993).

Kompostlaştırma işleminin genel amaçları ayrışabilir organik maddeleri biyolojik olarak ayrıştırarak stabil bir maddeye dönüştürmek, katı atıkların içerisinde bulunabilen patojenleri, böcek yumurtalarını, istenmeyen organizmaları ve yabancı ot tohumlarını yok etmek, azot, fosfor ve potasyum bakımından zengin bir içeriğe sahip olan, bitki gelişmesini destekleyen ve toprak iyileştirici olarak kullanılabilen bir ürün elde etmek, bu ürün kullanılarak toprağın havalanmasını sağlamak, toprağın su tutma kabiliyetini artırarak kurak mevsimlerde tuzlanmayı önlemek ve daha kolay işlenebilen bir toprak elde edilmesini sağlamaktır (Tchobanoglous, Theisen ve Vigil, 1993).

Kompostlaştırma işlemi aerobik ve anaerobik olarak gerçekleştirilebilmektedir. Aerobik kompostlaştırma sistemi daha yaygın olarak kullanılmaktadır fakat net enerji kazanımına imkan vermesi dolayısıyla son yıllarda anaerobik kompostlaştırma tekniği de önemli ölçüde geliştirilmiş ve bu prosesle çalışan işletme sayısı artmıştır. Bu artışın sebeplerinden bir diğeri küresel ısınma ve iklim değişikliği ile mücadele amacıyla hazırlanan Kyoto Protokolü'nde ülkelerden yenilenebilir atıklardan enerji üretiminin desteklenmesinin istenmesidir (Çalışkan, 2013).

2.2.6 Düzenli Depolama

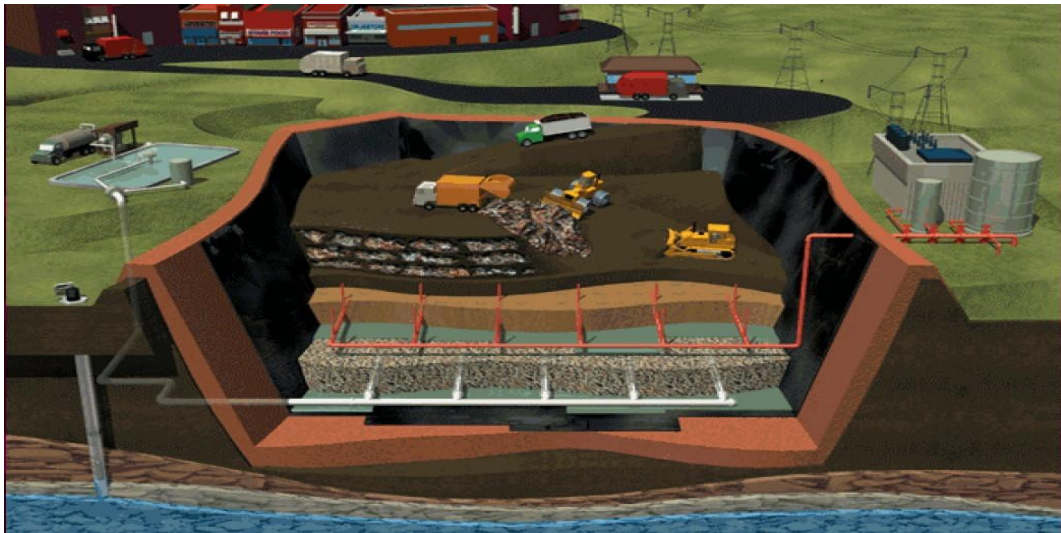
En eski ve en çok kullanılan atık bertaraf yöntemlerinden biri atıkların arazide depolanması yöntemidir. Ülkemizde de atıklar sıklıkla rastgele biçimde çevreye atılmakta, bu da çevre ve insan sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu etkilerden başlıcaları atıklardan yayılan kötü kokuların yarattığı rahatsızlık, çöplerin rüzgarla birlikte etrafa dağılarak görüntü kirliliğine yol açması, insan sağlığını olumsuz olarak etkileyebilecek sinek ve fare gibi hayvanlar için barınma ve üreme ortamı oluşması, çöp sızıntı suyunun yeraltı ve yerüstü sularına karışarak kirlenici etki yaratması, çöplüklerde oluşan metan gazının patlayıcı ve yanıcı etkide olması ve hava kalitesi üzerindeki olumsuz etkileridir. Düzenli depolama kavramı ise temel olarak katı atıkların sızdırmazlığı sağlanmış geniş bir alana serilmesi, bu

alandaki sıkıştırılması ve üzerlerinin toprak ile örtülerek doğal bir biyolojik reaktör haline getirilmesini ifade eder (Akpınar ve Şen, 2006).

Düzenli depolamada tekrar kullanım imkanı olmayan atıklar, geri dönüşüm tesislerinde üretim sonucu oluşan atıklar ve yakma tesislerinden çıkan kül ve cüruf gibi maddeler geçirimsizliği sağlanmış bir zemin üzerine dökülmekte, sıkıştırılarak hacimleri azaltılmakta ve düzenli olarak üstleri toprakla örtülmektedir. Bu yöntemin temel özellikleri şöyledir:

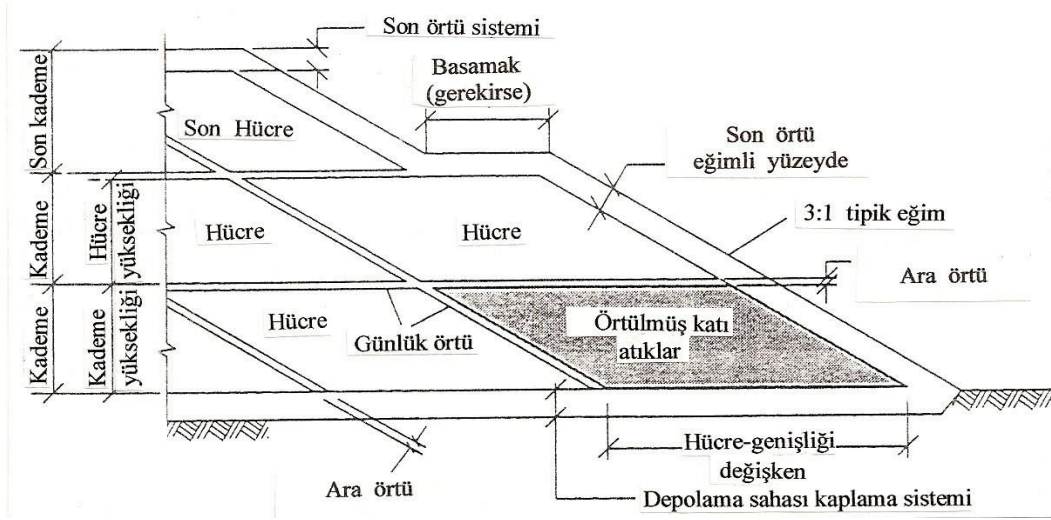
- 1) Katı atıkların etrafa yaydığı kötü kokular engellenir.
- 2) Katı atıkların rüzgarla etrafa dağılımları ve görüntü kirliliği oluşturmaları engellenir.
- 3) İnsan sağlığına zararlı etkileri olan ve hastalık taşıyan canlıların barınması ve çoğalmasının önüne geçilir.
- 4) Çöp sızıntı sularının yeraltı ve yerüstü sularını kirletmesi engellenir (Pichtel, 2005).

Katı atık depolama sahalarının çalışma prensibi, arıtma tesislerindeki oksijensiz çürütücüler gibidir. Tesisler biyokimyasal bir reaktör gibi çalışırlar. Düzenli depolama sahasına çöplerin dökülmesi ile birlikte atıkların bozunması işlemi başlar. Atıkların üstlerinin örtülmesi ile oluşan anaerobik ortamda organik maddeler bozunmaya başlar ve çöp gazını açığa çıkarırlar (Çelebi, 2017). Bir düzenli depolama sahasının görünümü Şekil 2.1’de yer almaktadır (Akpınar, 2006).



Şekil 2.1: Düzenli depolama sahası (Akpınar, 2006)

Katı atık düzenli depolama sahaları fiziksel, kimyasal ve biyolojik reaksiyonların bir arada gerçekleştiği, katı atıkların sıkıştırılması, iklim koşulları ve su içeriği gibi etmenlerle kontrol edilen, maddenin katı, sıvı ve gaz fazlarının bir arada bulunduğu bir çeşit reaktör olarak düşünülebilir. Bu sistemin başlıca girdileri katı atıklar ve yağmur suyu, çıkış bileşenleri ise deponi gazı ve çöp sızıntı suyudur (Bilgili, 2006). Bir düzenli depolama sahasının kesit görünüşü Şekil 2.2’de yer almaktadır (Tchobanoglous, Theisen ve Vigil, 1993).



Şekil 2.2: Depolama sahası kesit görünüşü (Tchobanoglous, Theisen ve Vigil, 1993)

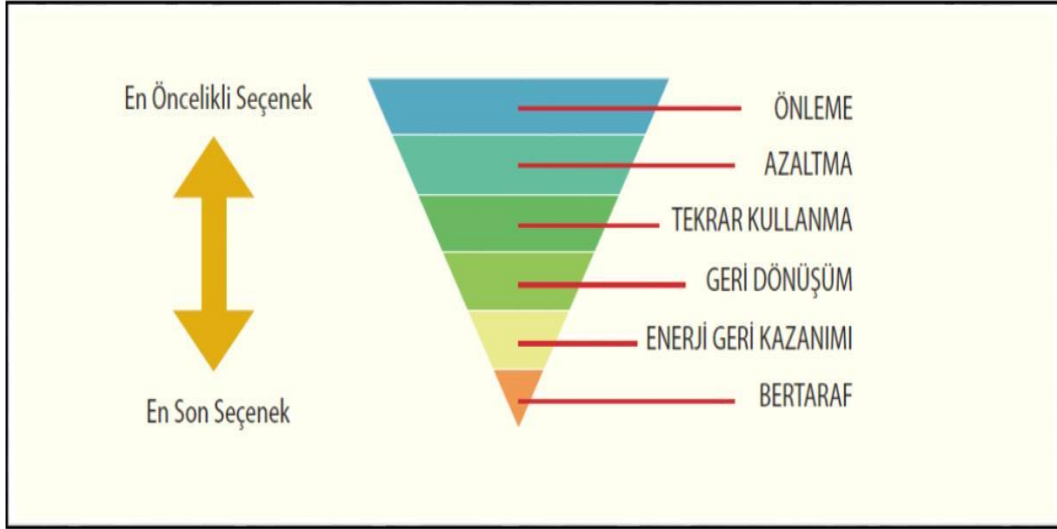
2.2.7 Atık Yönetim Hiyerarşisi

İyi bir katı atık yönetim modelinin temeli çevreye olumsuz etkileri en az olan ve aynı zamanda en ekonomik atık bertaraf yöntemi ile katı atığın ortamdaki uzaklaştırılmasıdır (Kankılıç ve Topal, 2015).

Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de katı atıklar hem insan ve çevre sağlığı hem de ekonomik açıdan önemlidir. Kentsel alanlarda çevre sağlığının korunması için katı atıkların düzenli bir şekilde toplandığı, taşındığı, depolandığı ve bertaraf edildiği planlı bir yönetim sistemine ihtiyaç duyulmaktadır (Yılmaz ve Bozkurt, 2010).

Entegre atık yönetimi doğal kaynakların korunması amacı ile atıkların hava, su ve toprak kirliliği oluşturmadan, ekosisteme ve biyoçeşitliliğe zarar vermeden bertaraf edilmesi amacı ile ortaya çıkmış bir kavramdır. Bu sistemde atık yönetiminin içerisinde yer alan bütün bileşenler bir arada değerlendirilerek, çevresel ve ekonomik olarak sürdürülebilirliğin sağlanması hedeflenmektedir (Şükür, 2019).

Atık yönetimi hiyerarşisi; atık yönetiminde izlenecek metot ve kullanılacak teknolojilerin, çevre ve insan sağlığının korunması ve ekonomik sürdürülebilirlik açısından en uygun olandan en az tercih edilmesi gerekene kadar önceliklendirilmesini içeren metodolojinin genel adıdır (Şenaydın, 2018). Atık yönetim hiyerarşisinin basamakları Şekil 2.3'de gösterilmektedir.



Şekil 2.3: Atık hiyerarşisi

Yaşadığımız dönemde toplumların sahip olduğu tüketim alışkanlıkları nedeniyle atık oluşumunun azaltılması uzun ve zorlu bir süreçtir. Ekonomik gelişmenin sonucunda kişi başına düşen atık üretim miktarının artması ve bu durumun gelişmişliğin bir göstergesi olarak kabul edilmesi atık yönetim sürecini zorlu kılan başlıca etmendir. Nüfus artışı ile birlikte toplam üretilen atık miktarı da artmaktadır. Bunlara bağlı olarak her biri ayrı birer yönetim ve finansman modeli gerektiren farklı atık türleri ortaya çıkmaktadır. Bu da atık oluşumunun önlenmesi faaliyetlerinin gerekliliğini daha da artırmıştır (Şenaydın, 2018).

Atıkların oluşumunun önlenmesi veya miktarının azaltılması, tasarım ve üretim süreçlerinde daha az ham madde kullanılması ve gereksiz tüketimin azaltılması atıkların azaltılması yöntemlerinden bazılarıdır (Öztürk, 2010).

Tekrar kullanım, ürünlerin ya da atık olmayan maddelerin kullanım amacı doğrultusunda yeniden kullanılmasıdır. Depozitolu ambalaj atıklarının üretim sistemine geri döndürülmesi bu uygulama için iyi bir örnektir. Daha uzun ömürlü ve tekrar kullanıma uygun malzemelerle üretilmiş ambalajlar sayesinde çevreye verilecek olası zararlar önlenmiş olacaktır. Tekrar

kullanım sağlanamadığı durumlarda geri dönüşüm atık yönetim hiyerarşisinin bir sonraki basamağını teşkil eder. Geri dönüşüm, atıkların doğrudan ya da dolaylı yollarla üretim zincirine tekrar dahil edilmesidir. Bu yöntem ile atıklar işlenerek asıl kullanım amacı ya da farklı amaçlar doğrultusunda yeni ürünlere, malzemelere veya ham maddelere dönüştürülürler. Geri dönüşüm sürecinin sonunda elde edilen ham madde, aynı ham maddenin en baştan üretilmesine göre daha düşük maliyetli olmaktadır. Bu bağlamda; geri dönüşüm ve geri kazanım, atıkların tekrar kullanılmak üzere fiziksel ve/veya kimyasal işlemlere tabi tutularak yeniden ham maddeye veya enerjiye dönüştürülmesi olarak açıklanabilir (Şenaydın, 2018; Şükür, 2019).

Geri kazanım veya geri dönüşümün uygulanamadığı atıklar için hiyerarşinin son basamakları olan enerji geri kazanımı ve düzenli depolama yöntemleri uygulanır. Yanabilir durumdaki atıklar şartlar uygunsa enerji elde etmek amacı ile yakılırlar. Bu şekilde değerlendirilemeyecek atıklar veya enerji eldesi sonucu ortaya çıkan kül ve tortu gibi kalıntılar düzenli depolama sahasında gömülerek bertaraf edilir (Şenaydın, 2018).

Hiyerarşiden de anlaşıldığı üzere atık üretiminin ve atığın zararlılığının kaynağında önlenmesi ve azaltılması esastır. Atık üretiminin kaçınılmaz olduğu durumlarda tekrar kullanım, geri dönüşüm ve ikincil ham madde elde etme amaçlı diğer işlemler ile atığın geri kazanılması veya enerji kaynağı olarak kullanılması önceliklidir. Bu bakımdan depolanan atık miktarlarındaki düşüş ve atık azaltım oranları sürdürülebilir entegre atık yönetiminin başarı ve verimliliğinin önemli bir göstergesidir. Çevresel etkiler, enerji verimliliği, maliyet gibi bazı parametreler bu atık bertaraf yöntemlerinin tercih edilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Entegre atık yönetiminde kullanılan atık bertaraf metotlarının karşılaştırılması Tablo 2.1’de verilmiştir (Düzenli Depolama Tesisleri Saha Yönetimi ve İşletme Kılavuzu, 2014).

Tablo 2.1: Atık bertaraf modellerinin karşılaştırılması

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

2.3 Deponi Gazı

2.3.1 Deponi Gazı Kavramına Genel Bakış

Katı atık düzenli depolama sahasında depolanan atıklar zamanla içeriğindeki mevcut oksijeni tüketirler, daha sonra bu ortamda üremeye başlayan anaerobik bakteriler yardımı ile oksijensiz çürüme işlemi gerçekleşir. Bu faaliyetlerin sonucunda ortaya çıkan gazı depo gazı (LFG) adı verilir. Oluşan gazın miktarı katı atıkların içerisindeki organik atık miktarına bağlı olarak değişkenlik gösterir. Depo gazı yanıcı ve patlayıcı özelliktedir, içeriğinde bulunan metan gazı karbondioksit gazına oranla 23 kat daha fazla sera etkisine sahiptir (Kiriş ve Saltabaş, 2011).

Depo gazı, büyük miktarlarda ana gazlar ile az miktarlardaki eser gazlardan meydana gelmektedir. Ana gazlar atığın içerisindeki organik kısmın ayrışması sonucunda oluşurken eser gazlar ise atığın içerisindeki zehirli bileşiklerin etkileri sonucunda oluşmaktadır. Hem ana gazlar hem de eser gazlar halk sağlığını tehdit edici özelliktedirler (Sezgin, Özcan, Varınca ve Borat, 2003).

Depo sahasındaki ana gazlar metan (CH_4), karbondioksit (CO_2), amonyak (NH_3), karbonmonoksit (CO), hidrojen (H_2), hidrojen sülfür (H_2S), azot (N_2) ve oksijen (O_2)'dir. Metan ve karbondioksit gazları, biyobozunur katı atıkların oksijensiz ortamda ayrışması sonucu açığa çıkan ana gazlardır. Havanın içerisindeki metan gazı oranı %5-15 civarına ulaştığında patlayıcı özellik gösterir (Aydın, 2013).

Depo gazı içerisinde eser gazlar düşük miktarlarda bulunurlar. Depo sahalarından alınan gaz örnekleri ile yapılan çalışmalarda depo gazı bileşiminde 154 ayrı kimyasal bileşik bulunmuştur. Bunların içinden 116 tanesi organik bileşik olarak belirlenmiş ve uçucu organik maddeler olarak sınıflandırılmıştır (Aydın, 2013). Deponi sahalarında bulunan eser haldeki bileşiklerin başlıcaları ve konsantrasyonları Tablo 2.2'de ve depo gazlarının hacimsel dağılımı Tablo 2.3'de gösterilmiştir (Tchobanoglous, Theisen ve Vigil, 1993).

Tablo 2.2: Deponi sahasındaki eser elementlerin konsantrasyonları (Tchobanoglous, Theisen ve Vigil, 1993)

Bileşik	Konsantrasyon (ppbv)
Aseton	6.838
Benzen	2057
Klorobenzen	82
Kloroform	245
Diklorometan	25.694
Etilen bromid	0
Etilenoksit	0
Etilbenzen	7.334
Metil etil keton	3.092
Trikloroetilen	2.079
Toluen	34.907
Tetrakloroetilen	5.244
Vinil asetat	5.663
Kslen	2.651

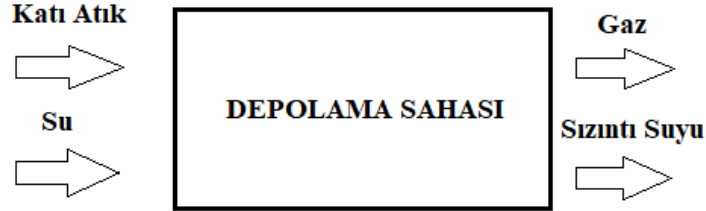
Tablo 2.3: Depo gazlarının hacimsel dağılımı (Tchobanoglous, Theisen ve Vigil, 1993)

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

2.3.2 Deponi Gazı Oluşum Mekanizması

Düzenli depolama sahalarındaki atıkların ayrışması karmaşık bir prosestir. Farklı nem içeriklerine sahip çeşitli oranlardaki organik ve inorganik maddelerin tümü depolanan atığı oluşturur. Fiziksel ayrışma, atığın içerisindeki çeşitli materyallerin atıktan ayrılması ve farklı fiziksel özelliklere sahip bir atık yapısının ortaya çıkması olarak tanımlanabilir. Kimyasal ayrışma, çökelme reaksiyonları, adsorpsiyon ve desorpsiyon reaksiyonları ile birlikte atık

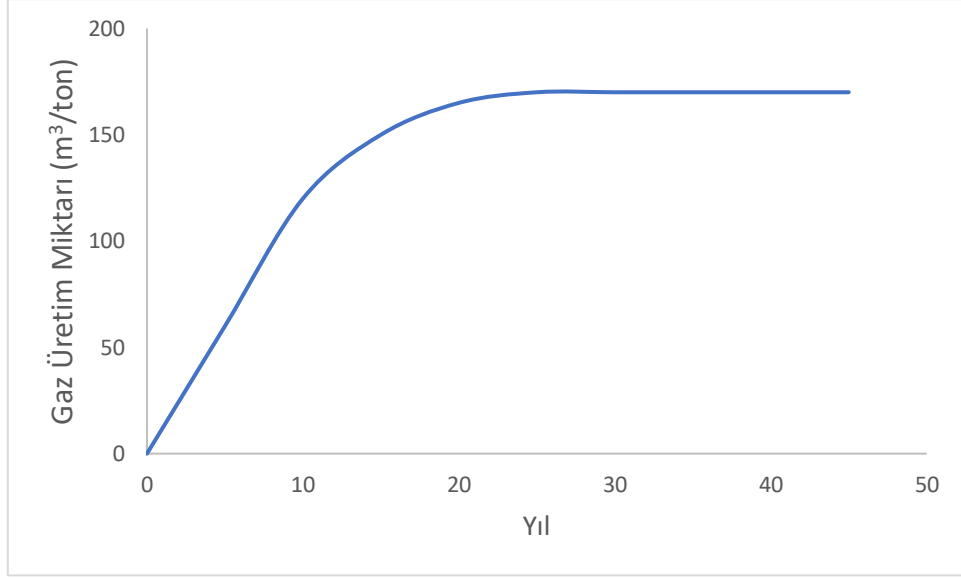
içerisindeki maddelerin sızıntı suyuyla çözünmesiyle gerçekleşir. Biyolojik ayrışma ise, pH ve redoks potansiyelleri gibi değişkenler üzerindeki etkisinden dolayı fiziksel ve kimyasal ayrışmayı da kontrol eden, depo sahasında atıkların maruz kaldığı en önemli prosestir. Düzenli depolama sahasındaki madde dönüşümü Şekil 2.4’de gösterilmiştir (Bilgili, 2006).



Şekil 2.4: Düzenli depolama sahası madde dönüşümü (Bilgili, 2006)

Atmosferdeki en yaygın bileşiklerden olan metan gazı antropojenik olarak tarımsal faaliyetler, kömür madenleri işletilmesi, düzenli ve düzensiz atık depolama sahaları, atık suya ilişkin sistemler ve petrol ve gaz endüstrilerinin faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır. Atık depolama sahaları metan emisyonu bakımından bu faaliyetler arasında üçüncü sırada yer almaktadır (Güven, 2019).

Düzenli depolama sahalalarında depolanan çöpler ton başına ortalama 170 m³ civarında çöp gazı oluşturur. Bu gazın yarısından fazlası atıkların ilk depolandığı andan itibaren yaklaşık 10 yıl içerisinde oluşur. 15-20 yıl içerisinde gaz oluşum oranı %90 seviyelerine kadar çıkar. Geriye kalan yıllarda ise çok az miktarda gaz oluşur (Kiriş ve Saltabaş, 2011). Evsel atıklar için zamana bağlı olarak gaz üretim potansiyelini gösteren grafik Şekil 2.5’de verilmiştir.



Şekil 2.5: Evsel atıkların gaz üretim potansiyeli

Anaerobik çürütme proseslerinde, kompleks organik maddelerin dönüşerek metan gazı oluşturmasında çeşitli türlerde mikroorganizma grupları yer almaktadır. Bu dönüşüm hidroliz, asit oluşum ve metan oluşum aşamaları olmak üzere üç aşamada gerçekleşmektedir (Öztürk, 1999).

Hidroliz Aşaması: İlk aşamada karbonhidratlar, proteinler, yağlar ve lipitler gibi organik moleküller asidojenik bakteriler tarafından fermente edilip parçalanır ve organik asitlere dönüştürülür. Organik atıkların büyük bölümü suda çözünür hale gelir. Bu dönüşüm sonucunda hidroliz aşaması tamamlanmış olur (Björnsson, 2000; Korkmaz, Aykanat ve Çil, 2012).

Asit Oluşum Aşaması: Hidroliz aşamasında oluşan organik asitler aseton üreten (acetogenic) bakteriler tarafından asetat (CH_3COOH), hidrojen (H_2) ve karbondioksite (CO_2) dönüştürülür. Bu tepkimenin gerçekleşebilmesi için metabolizmalarında hidrojen kullanan metan bakterileri oluşan hidrojeni ortamdan uzaklaştırırlar. Bu sayede metan bakterileri kendi ihtiyaç duydukları hidrojeni alırken aynı zamanda aseton üreten bakterileri olumsuz etkileyen bir maddeyi de ortamdan uzaklaştırmış olur (Korkmaz, Aykanat ve Çil, 2012).

Metan Oluşum Aşaması: Bu aşamada metan oluşumu hızlanırken asit oluşum hızı gittikçe düşer. Metan üreten mikroorganizmalar olarak adlandırılan mikroorganizmalar anaerobik özelliktedirler. Organik asitler ve H_2 gazından, CH_4 ve CO_2 oluşumu sonucunda depolama

sahasındaki pH 6,8-8,0 civarına yükselir. Artan pH ile birlikte bazı inorganik bileşikler daha fazla çözünmezler ve çözelti içerisinde kalırlar. Bunun sonucunda sızıntı suyundaki ağır metal konsantrasyonu zamanla düşer. Birçok nütrient daha önceki fazlarda sızıntı suyu ile uzaklaştırılmış olduğu ve kalan substratlar ise biyolojik olarak yavaş ayrışan yapıda oldukları için bu fazda depo gazı oluşum hızı azalır. Depo gazının başlıca bileşenlerinden olan CH₄ ve CO₂ bu aşamada tam olarak gelişirken az miktarlarda N₂ ve O₂ gazı da görülür (Kankılıç ve Topal, 2015).

Anaerobik fermantasyonun son aşamasında metan oluşturan bakteri grupları CO₂ ve H₂O kullanarak metan ve su açığa çıkarırken diğer grup metan bakterileri ise asit oluşum aşamasında çıkan asedik asidi kullanarak metan ve CO₂ oluşturur. Üretilen tüm metanın %30'u CO₂ ve H₂O kullanılarak açığa çıkarılırken %70'i ise asetik asit kullanılarak açığa çıkartılır (Korkmaz, Aykanat ve Çil, 2012).

2.3.3 Deponi Gazının Enerji Potansiyeli

Metanın oksijenli yanması sonucunda karbondioksit (CO₂), su (H₂O) ve 891 kilojoule enerji açığa çıkmaktadır (Peters, 2010). Depolama sahasında oluşan depo gazının elektrik üretimi de dahil olmak üzere enerji çevrimlerinde kullanılacağı durumlarda depolanan atığın organik kısmının anaerobik ortamda parçalanması sonucunda oluşacak metan gazının enerji potansiyeli esas alınmakta ve proses bu potansiyel üzerinden kurgulanmaktadır. Oluşan depo gazının büyük miktarlarda olduğu büyük depolama sahaları enerji çevrim tesisi kurulması açısından iyi bir seçenektir. Bu sistemlerde kabul gören temel bakış açısı, yenilenebilir bir kaynaktan elektrik enerjisi üretimi sağlanmasının yanı sıra atmosfer için sera gazı etkisi yaratan gazların zararlı etkilerinin ortadan kaldırılacak olmasıdır (Sel, Çetindemir ve Arıkan, 2012).

Metan gazı enerji üretimi açısından çok önemli bir gazdır. Depo gazı %50 oranında metan içerdiği durumlarda düşük-orta kalite yakıt olarak sınıflandırılmaktadır. Bu gaz çeşitli işlemlerden geçirildikten sonra yüksek kalitede yakıt haline getirilerek kullanılabilir. Bunun yanında işletme türüne bağlı olarak depo gazının direk yakılması veya gaz motorlarında yakıt olarak kullanılması mümkündür (Çetindemir, 2012).

2.3.4 Deponi Gazının Elektrik Enerjisi Üretimi Amacı İle Kullanımı

Deponi gazı depolama sahasındaki organik maddelerin çürümesi sonucu oluşan ve içerisinde enerji potansiyeli barındıran bir gazdır. Deponi gazının ekonomik olarak değerlendirilmesi için en uygun alternatiflerden biri elektrik enerjisi üretiminde kullanılmasıdır. Kurulacak sistemlerde ön arıtmadan geçen deponi gazının enerji potansiyeline göre farklı elektrik dönüşüm teknolojileri kullanılmaktadır.

2.3.4.1 Depo Gazının Sabit Motorlarda Yakıt Olarak Kullanımı

Depo gazı ile elektrik üretimi yöntemlerinden en basit olanı özel bir altyapı gerektirmeyen, gazın yakıt olarak kullanıldığı içten yanmalı motorlarda yakılarak enerjiye çevrilmesi yöntemidir. Bu işlemde kullanılacak motorlar 400 kW-2 MW kapasiteli, büyük üniteler veya taşınabilir küçük üniteler şeklinde olabilir. Taşınabilir olmasındaki amaç sahada gaz potansiyelinin azaldığı durumlarda farklı sahalarda kolayca kullanılabilir olmasıdır. Gaz motorları Otto motoru gibi kıvılcım ateşlemeli ve dizel veya çift yakıtlı motorlar gibi kompresyonlu ateşlemeli özelliğinde olabilir. Depo gazının kuru olması ve yağlama özelliği bulunmaması sebebi ile sistemde kullanılan gaz vanalarının daha dayanıklı olması ve hidrojen sülfidün aşındırıcı özelliği sebebi ile belirli periyotlarda bakır parçalarının değiştirilmesi gereklidir. Bir sabit motordaki yanma prosesini etkileyen parametreler tutuşma limitleri ile hava-yakıt oranı, yeterli türbülans, yeterli bekleme zamanı ve bir ateşleme kaynağına sahip olmasıdır (Akpınar, 2006).

2.3.4.2 Depo Gazının Gaz Türbinlerinde Yakıt Olarak Kullanımı

Orta kalitede gaz kullanan gaz türbinlerinin içten yanmalı motorlara göre daha faydalı olabilmesi için ortamda daha fazla gaz debisinin bulunması gereklidir. Bu nedenle 500 kW-10 MW arasında kapasitesi bulunan gaz türbinleri daha büyük depolama sahalarda kullanılırlar. En çok kullanılan gaz türbinleri 2-3 MW kapasiteye sahiptir. Gaz türbinleri ile yanma prosesini etkileyen parametreler içten yanmalı gaz motorlarını etkileyen parametreler ile aynıdır. Gaz türbinlerinin temel avantajı diğer sistemlere göre daha az yer kaplamasıdır. Bir diğer avantajı ise periyodik bakımlarının 10.000 saatlik periyotlarda ve onarımlarının 100.000 saatlik periyotlarda yapılmasıdır (Gendebien vd., 1991).

2.3.4.3 Depo Gazının Buhar Türbinlerinde Yakıt Olarak Kullanımı

Gaz debisinin 8-9 MW potansiyele sahip olduğu çok büyük depolama sahalarda kullanılabilirler. Yüksek oranda kW başına üretim maliyetine sahip oldukları için diğerlerine göre en az kullanılan elektrik üretim yöntemidir. Sistemde gaz/sıvı yakıt boyları ve elektrik

üreten buhar türbin jeneratörü bulunur. Bu teknoloji yeterli proses kaynağı ve soğutma suyu içeren tam bir soğutma döngüsüne sahip olmalıdır (Özçakıl, 2001).

2.3.4.4 Kojenerasyon

Kojenerasyon enerjinin daha verimli kullanılması amacı ile elektrik ve ısı enerjisinin birlikte üretilmesini sağlayan teknolojilere verilen genel bir isimdir. Basit çevrimde çalışan diğer sistemlerde sadece elektrik enerjisi üretilip ısı enerjisi dışarıya atılırken kojenerasyon sistemlerinde ısı enerjisi de kullanılabilir bir enerjiye dönüştürülür. Bu yöntem ayrı ayrı ısı ve elektrik üretimine kıyasla daha az yakıt kullanılmasını sağlar. Dünyada yaygın olarak uygulanan bir yöntemdir. Küçük ve orta ölçekli sahalarda gaz motoru kullanılırken büyük ölçekli sahalarda gaz türbini kullanılarak ısı ve enerji üretimi gerçekleştirilir (Akpınar, 2006).

2.3.4.5 Yakıt Hücresi

Yakıt hücreleri havadan elde edilen oksijen ve depo gazından elde edilen hidrojeni elektrokimyasal bir reaksiyonla birleştirerek enerji oluşturan sistemlerdir. Güç üretimi için fosforik asit yakıt hücreleri, molten karbonat yakıt hücreleri ve katı oksit yakıt hücreleri olmak üzere uygun üç tip yakıt hücresi vardır. Yüksek verim, sessiz işletim ve düşük çevresel etkilere sahip bir yöntemdir. Bunların yanında işletme ve bakım maliyetleri de düşüktür. Günümüzde yakıt hücreleri ile elektrik üretim sistemlerinin diğer sistemlerle rekabet etmesi ekonomik ve teknik dezavantajları nedeni ile zor olmasına rağmen gelecekte ideal bir teknoloji olacağı düşünülmektedir (Akpınar, 2006).

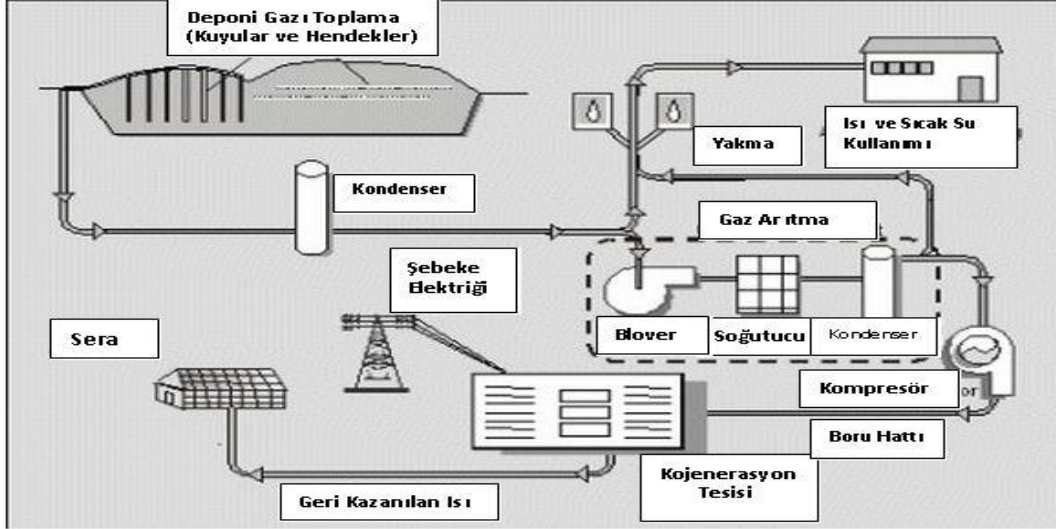
2.3.5 Deponi Gazından Elektrik Enerjisi Üretim Süreci

Deponi gazından enerji elde edilmesi süreci aşağıdaki adımlardan oluşur:

- 1) Sondaj yöntemi kullanılarak gaz kuyularının açılması.
- 2) Gaz toplama bacaları, kuyuları ve boru hatları ile gazın toplanması.
- 3) Toplanan deponi gazından su ve toz taneciklerinin uzaklaştırılarak kuru ve temiz bir gaz elde edilmesi.
- 4) İyileştirilmiş deponi gazının motor-jeneratör gruplarında yakılarak elektrik enerjisine dönüştürülmesi.
- 5) Üretilen elektriğin yükseltici transformatör ile enerji nakil hatlarına taşınarak şebekeye verilmesi.

- 6) Atık ısının kojenerasyon yöntemi ile konut ve işletmelerde ısıtma ve soğutma amacı ile kullanılması (Çakır ve Günerhan, 2012).

Deponi gazından enerji üretim prosesinin aşamaları Şekil 2.6’da gösterilmiştir (Çakır ve Günerhan, 2012).



Şekil 2.6: Deponi gazı elektrik üretim süreci (Çakır ve Günerhan, 2012)

2.3.6 Deponi Gazından Elektrik Enerjisi Üretimi Finansal ve Ekonomik Analizi

Deponi gazı kullanılarak elektrik enerjisi üretimine yönelik kurulacak tesislerin ilk yatırım ve işletme maliyetleri;

- Sahada depolanacak atık miktarına ve içeriğine,
- Depo gazı oluşum potansiyeline,
- Deponi sahasının boyutlarına,
- Bölgenin iklim koşullarına,
- Alınacak demirbaş ve sarf malzemelerin maliyetlerine,
- Petrol ve türevlerinin maliyetlerine ve döviz kuruna bağlı olarak değişkenlik gösterir.

Yapılacak projenin ekonomik analizinde bölgesel veya ulusal ölçekte geçerli olan enerji fiyatları önem arz etmektedir. Bu tür bir proje, ilk yatırım ve işletme maliyetlerini karşılayabildiği ölçekte başarılı olacaktır (Rajaram, Siddiqui ve Khan, 2012).

2.3.6.1 İlk Yatırım Maliyetleri

İlk yatırım maliyetleri depo gazı toplama sistemi kurulum maliyetleri, gaz motorları satın alma maliyetleri ve iş makineleri satın alma maliyetlerinden oluşur. Gaz motorları ve iş makinelerinin kapasite ve adetleri sahanın atık ve gaz potansiyeline bağlı olarak değişkenlik gösterir. Depo gazı toplama sistemi kurulum maliyetleri ise;

- Yatay ve dikey gaz çıkarma kuyuları,
- Gaz toplama boruları,
- Yoğunlaştırma sistemi,
- Blower ve yakma sistemi kurulması,
- Depo gazı ölçüm ve kayıt sistemi kurulması,
- Mühendislik ve beklenmeyen giderleri içerir.

İlk yatırım maliyetleri proje içeriğine ve tesis tasarımına göre değişkenlik gösterir. Depolama sahasının derinliğine göre gaz toplama borularının maliyetleri değişecektir. Bazı ekipmanların satın alma maliyetleri düşükken işletme ve bakım açısından maliyetleri yüksek olabilir. Saha ve iklim şartlarına göre sızıntı suyu fazlalığı olması depo gazının toplanma verimini düşürecektir ve suyun sistemden uzaklaştırılması gerekecektir, bu da ilave yatırım ve işletme maliyeti oluşturacaktır. Kurulacak tesisin kapasitesi proje süresi boyunca sahadan elde edilecek deponi gazı miktarının değişkenlik göstereceği gözönünde bulundurularak minimum, maksimum ya da ortalama gaz oluşum miktarına göre planlanmalıdır. Bu tip teknolojiler pahalı yatırımlar gerektirdiği için kapasite analizinde genel olarak ilk 15 yıllık süreçteki en düşük gaz oluşum miktarına göre tesis kapasitelendirilmesi önerilir. Bu durum ilk yatırım maliyetini düşürürken deponi gazının enerji potansiyelinden tam olarak yararlanamama sonucunu doğuracaktır. Dolayısıyla optimum kapasitelendirme için depo gazı oluşum eğrisi, elektrik gelirleri, finansman modeli ve sözleşme şartları bir arada değerlendirilerek karar verilmelidir (Rajaram, Siddiqui ve Khan, 2012).

2.3.6.2 İşletme Maliyetleri

İşletme maliyetleri iş gücü maliyetlerini, yeni kuyu açma ve boru yenileme maliyetlerini, gaz üretim ekipmanları için periyodik bakım ve tamir maliyetlerini, iş makineleri için akaryakıt, periyodik bakım ve tamir maliyetlerini, resmi vergi ve harç giderlerini ve genel

işletme giderlerini kapsamaktadır. Tesiste çalışacak personelin niteliği ve deneyimi yıllık işletme ve bakım giderlerinin azaltılmasında etkili bir unsur olacaktır.

2.3.6.3 Gelirler

Depo gazından enerji elde edilmesi projeleri yenilenebilir enerji kaynaklı olması nedeni ile yeşil enerji olarak tanımlanır ve diğer enerji üretim yöntemlerinden farklı değerlendirilerek ilave çevresel gelir sağlayabilirler. Bu gelirler temel olarak teşvikler, vergi indirimleri ve sera gazı emisyon ticareti gibi gelirlerdir. Yüksek fiyatlandırma yenilenebilir enerji sistemleri için en sık kullanılan modellerden biridir. Bu modele göre normal enerji satış gelirlerinin daha üzerinde bir gelir elde edilmektedir. Uygun kredilendirme, vergi muafiyetleri ve teşvikleri ile ulusal ve bölgesel hibeler de yenilenebilir enerji sistemleri için sık kullanılan modellerden biridir (Rajaram, Siddiqui ve Khan, 2012).

2.3.7 Deponi Gazı Oluşumunu Etkileyen Çevresel Faktörler

Metan gazının oluşumu için oksijensiz bir ortam gereklidir. Çünkü metan üreten mikroorganizmalar anaerobik özelliktedirler. Ayrıca ortamdaki organik karbonun en az %0.5 oranında olması ve sıcaklığın 0-75 °C arasında bulunması metan üretimi için ideal koşulları oluşturur (Şengüler ve Yılmaz, 1998).

Bir depolama sahasında organik maddelerin ayrışması ve metan gazı üretim süreci 30-100 yıl mertebesinde sürebilir. Bu reaksiyonlar atığın depolanmasından itibaren hızlı bir şekilde gerçekleşirken zaman içinde yavaşlarlar. Bu süreçleri etkileyen birçok çevresel faktör bulunması nedeniyle atıkların ayrışma hızını verecek tek bir denklem veya hız sabiti bulunmamaktadır (McBean, Rovers ve Farquhar, 1995).

2.3.7.1 Nem İçeriği

Depolama sahalarındaki atıkların ayrışmasında ve gaz üretimindeki en önemli parametredir. Depolama sahalarındaki nütrient ve bakterilerin taşınmasını sağlarken aynı zamanda gaz üretimi için ihtiyaç duyulan anaerobik ortamı da oluşturmaktadır. Metan bakterileri en kuru depolama sahalarında bile faaliyet gösterebilirler, çünkü ihtiyaç duydukları nem miktarı çok düşüktür. Bu yüzden bütün depolama sahalarında depo gazı üretimi gerçekleşmektedir (McBean, Rovers ve Farquhar, 1995).

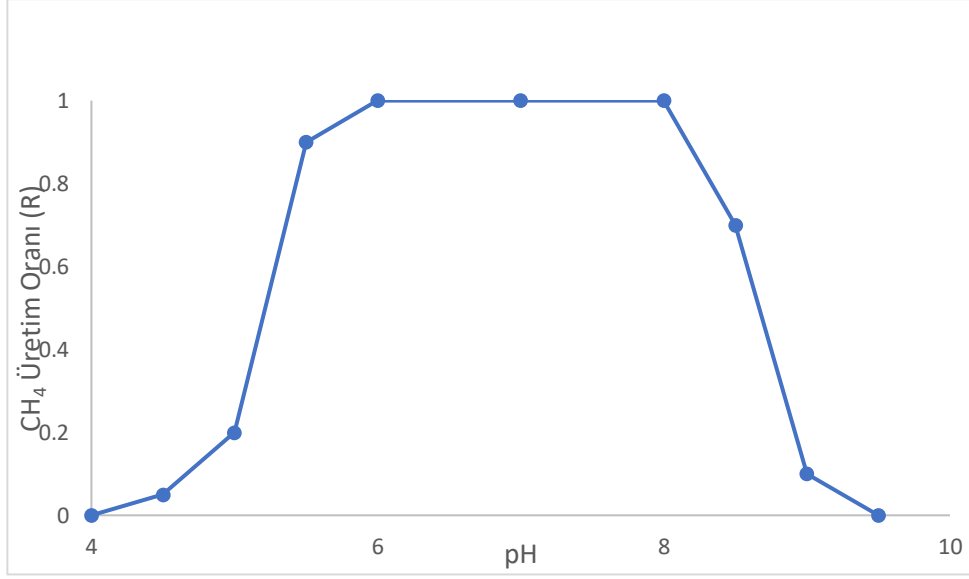
Depolama sahalarında depolanan katı atıklar ilk anda bölgenin şartlarına göre değişkenlik göstermekle beraber ortalama %30-40 civarında nem içermektedirler. Depolama sahalarındaki atıkların suya doygunluk oranı metan gazı üretimini doğrudan etkiler. Suya doygun olmayan atıklardan daha çok H₂ üretilirken, suya doygun atıklar daha çok CH₄ ve CO₂ oluştururlar. Birim katı atık başına üretilen biyogaz miktarı ile atıkların nem oranı arasında logaritmik bir ilişki vardır (Lisk, 1991).

2.3.7.2 Nütrient İçeriği

Depolama sahasındaki bakteriler gelişebilmek için karbon, hidrojen, oksijen, azot ve fosfor gibi çeşitli nütrientlere ihtiyaç duyarlar. Bunların yanında küçük miktarlarda da olsa sodyum, potasyum, sülfür, kalsiyum, magnezyum ve diğer eser metalleri de gelişmek için kullanırlar. Bu bakterilerin gelişebilmeleri için ortamdaki nütrientlerin yeterli miktarlarda ve belirli oranlarda bulunmaları gerekmektedir (McBean, Rovers ve Farquhar, 1995). Anaerobik bir ekosistemde substratın küçük bir kısmı yeni hücreler tarafından kullanılır, bu sebeple anaerobik sistemler aerobik sistemlere göre daha az miktarlarda azot ve fosfora ihtiyaç duymaktadırlar. Organik maddeler, azot ve fosfor arasındaki belirlenmiş optimum oran 100:0,44:0,08 oranıdır. Evsel ve endüstriyel atıkların bir arada depolandığı bir depolama sahasında azot ve fosfor sınırlayıcı nütrientler değildir, eğer depolama sahasında sadece evsel veya sadece endüstriyel depolama varsa o zaman sınırlayıcı nütrientler olabilirler. Anaerobik ayrışma prosesini sınırlayan en önemli nütrient fosfordur (Christensen ve Cossu, 1998).

2.3.7.3 pH ve Alkalinite

Depolama sahalarında anaerobik çürümenin gerçekleşebilmesi için optimum pH aralığı 6.7-7.5 olarak belirlenmiştir. Bu aralıklarda metan bakterilerinin çoğalma hızı artmakta dolayısıyla metan üretimi de en yüksek değerlere çıkmaktadır. Optimum pH aralığının sağlanamadığı durumlarda metan üretimi de hızla azalmaktadır. Düzenli depolama sahalarındaki pH değeri sahada endüstriyel atıkların bulunmasından, alkaliteden, yer altı sularının infiltrasyonundan, organik asit üretimi ve metan oluşum hızlarından etkilenebilmektedir. Taze sızıntı suları, içeriklerindeki uçucu yağ asitleri miktarına bağlı olarak 6-7'den daha düşük pH değerlerine sahiptirler (McBean, Rovers ve Farquhar, 1995). Şekil 2.7'de farklı metanojen kültürlerinin karışımı için pH'a bağlı olarak CH₄ üretim oranları (R) verilmiştir (Christensen ve Cossu, 1998).



Şekil 2.7: Anaerobik bir filtrede pH'a bağlı rölatif metan oluşum hızı (Christensen ve Cossu, 1998)

Alkalinite, anaerobik ayrışmanın gerçekleşmesi için ihtiyaç duyulan pH değerinin optimum seviyenin altına düşmesine sebep olan asitleri tamponlama kapasitesini ifade eder. Düşük alkalinite değerlerine sahip bir sistemde ortamda biriken uçucu yağ asitleri pH değerini düşürür ve biyolojik aktivitenin durmasına yol açar. Yüksek alkalinite değerlerinde ise sistem düzensiz pH değişimlerine karşı korunur. Evsel atık su çamurunun anaerobik ayrışması için gerekli olan toplam alkalinite değeri 2000 mg/l CaCO₃ seviyesindedir (Speece, 1996).

2.3.7.4 Atık Bileşimi

Atık depolama sahasında bertaraf edilecek atıkların içerikleri, atığın üretildiği bölgeye ve atık kaynağının evsel, ticari veya endsütriyel faaliyetler sonucu olmasına göre değişkenlik gösterir. Bu atıklardan ortaya çıkacak olan gaz miktarı atığın içeriğindeki substrat miktarı (organik, nütrient ve nem içeriği), potansiyel inhibitörlerin mevcudiyeti ve depolama sahası genelindeki sıvı ve gaz taşınımlarından bağımsız "mikro ölçekli ortamların" oluşum miktarından etkilenir (McBean, Rovers ve Farquhar, 1995).

2.3.7.5 Partikül Boyutu

Küçük partikül boyutuna sahip olan atıkların sahip oldukları nem içerikleri, nütrient içerikleri ve bakteriler için daha geniş bir yüzey alanı sunmaları sebebiyle depo gazı oluşumu üzerinde olumlu etki yaratırlar. İyi şekilde öğütülmüş bir atık kütlesi yeterli nem miktarına

sahip olmak ön koşulu ile mikrobiyal faaliyetlerin ve nütrient dolaşımının artmasını sağlamaktadır (McBean, Rovers ve Farquhar, 1995).

2.3.7.6 Sıcaklık

Bir depolama sahasındaki sıcaklık koşulları ortama hakim olacak bakterilerin türlerini, faaliyetlerini ve dolayısıyla gaz oluşum seviyelerini etkilemektedir. Çoğu depolama sahası mezofilik bakteriler için optimum sıcaklık aralığı olan 30-35 °C aralığında çalışmaktadır. Daha yüksek gaz üretimi sağlayan termofilik bakteriler içinse optimum sıcaklık aralığı 45-65 °C aralığındadır. Depolama sahalarındaki sıcaklıklar atıkların gömülmesinden ortalama 45 gün sonra, aerobik bakterilerin faaliyetleri sonucunda en yüksek değere ulaşmaktadır. Daha sonra ortamın anaerobik özellik göstermesi sebebi ile sıcaklıklar düşüş göstermektedir (McBean, Rovers ve Farquhar, 1995).

2.3.7.7 Oksijen

Metanojenik bakteriler ortamdaki oksijen miktarından en çok etkilenen bakterilerdir. Anaerobik bakterilerin ayrışma faaliyetlerini sürdürebilmesi için ortamda serbest oksijenin bulunmaması gerekmektedir. Oksijen depolama sahasındaki atıkların içerisine her zaman nüfuz eder, fakat yüzeyde bulunan anaerob bakteriler bu oksijeni tüketirler. Aerobik çamur ve atıkların anaerobik inkübasyonu sonucunda metan gazı oluşur (Christensen ve Cossu, 1998).

2.3.7.8 Hidrojen

Fermentatif bakteriler ve asetojenik bakteriler tarafından üretilen hidrojenin yarattığı basınç biyokimyasal dönüşümler üzerinde etkilidir. Hidrojenin kısmi basıncı düşük olduğunda fermentasyon bakterileri H₂, CO₂ ve asetik asit üretirken, yüksek olduğunda H₂ ve CO₂ üretirler. Asetojenik bakteriler yüksek olmayan hidrojen kısmi basınçlarında etanol, butirik asit ve propiyonik asit gibi organik bileşikler oluştururlar. Propiyonik asitin oluşabilmesi için hidrojen kısmi basıncının 9*10⁻⁵ atm.'in altında olması gerekmektedir. Metanojenik ve sülfat indirgeyen bakteriler hidrojeni tüketirler. H₂ ve CO₂'den CH₄ oluşumu için 10⁻⁵ atm.'den düşük basınçlar uygundur (Christensen ve Cossu, 1998).

2.3.7.9 Sülfat

Yapılan deneysel ve pilot ölçekli çalışmalar neticesinde sülfat bakterilerinin bulunduğu ortamda asetik asit ve hidrojenin ayrışması neticesinde metan üretiminin önemli ölçüde azaldığı tespit edilmiştir (Stegmann ve Spendlin, 1986).

2.3.8 Deponi Gazı Üretiminin Zamanla Değişimi

Farklı atık türlerinin bir arada bulunması ve uygulanan işlemlerin farklılığı nedeniyle deponi sahalarındaki gaz oluşumunun başlangıcının ve üretim süresinin belirlenmesi zordur. Evsel katı atıkların organik kısımları, ortamda oksijen varlığında mikroorganizma faaliyetleri neticesinde aerobik olarak ayrışmaya başlar, daha sonra oksijenin tükenmesi ile anaerobik olarak ayrışır. Bu ayrışma sonucunda CO₂ ve CH₄ içeren bir gaz açığa çıkar. Fermentasyon işlemi bittikten sonra geriye kalan atık çok yavaş ayrışabilen özelliktedir. Organik atıklar yiyecek atıkları, kağıt-karton ve park-bahçe atıkları gibi hızlı ayrışabilen ve tahta ve tekstil atıkları gibi yavaş ayrışabilen atıklardan oluşur. Optimum şartlar altında organik atıkların stabilize olması 10-20 yıl arasında sürer. Tablo 2.4’de organik atıkların ayrışma derecesi görülmektedir (Gendebien vd., 1991).

Tablo 2.4: Organik maddelerin ayrışabilirlik dereceleri (Gendebien vd., 1991)

Atık Tipi	Ayrışma derecesi	Ayrışma yarı ömrü (yıl)
Yiyecek	Hızlı	1
Bahçe	Orta	5
Kağıt, karton, tahta, tekstil	Yavaş	15
Plastik, deri, kauçuk	Ayrışmıyor	-

Atıklardan gaz çıkışı depolama anından itibaren ilk iki yılda en yüksek seviyeye ulaşır, daha sonra yavaşlamaya başlar ve bir düzeyde sabit kalarak yaklaşık 25 yıl süre ile devam eder. Atıkların depolanma süresi ve bu sürelerde deponi gazlarının konsantrasyonu Tablo 2.5’de verilmiştir (Sürücü, 1994). Depo gazının oluşumu çöpün bileşimi, yaşı, su muhtevası, pH, mevcut mikrobiyal popülasyon, sıcaklık, oksidasyon-redüksiyon potansiyeli, atığın partikül boyutu, yoğunluğu, nütrientlerin miktarı ve kalitesi gibi birçok faktöre bağlıdır. Kümülatif gaz oluşumu pik noktaya ulaştıktan sonra stabil hale gelir.

Tablo 2.5: Depolama süresi ve deponi gazları konsantrasyonu (Sürücü, 1994)

Zaman	Oluşan Deponi Gazları (%)		
	N ₂	CO ₂	CH ₄
Ay			
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

Depolama sahası yaşlandıkça zaman içerisinde gaz oluşum hızı kademeli olarak düşer. Depo gazının oluşumu birçok faktöre bağlıdır. Bunlar atığın bileşimi, yaşı, su muhtevası, pH değeri, mevcut mikrobiyal popülasyon, sıcaklık, oksidasyon-redüksiyon potansiyeli, atığın partikül boyutu, yoğunluğu, nütrientlerin miktarı ve kalitesidir. Kümülatif gaz üretimi ise pik noktaya ulaştıktan sonra stabil hale gelir (Gendebien vd., 1991).

Mikrobiyolojik süreçler çevresel koşullara hassas olduğundan, doğal ve insan kaynaklı birçok faktör mikroorganizma sayısını, türünü ve dolayısıyla depo gazı üretim hızını etkiler. Düzenli depolama alanlarında gerçekleştirilen kısa süreli depo gazı ekstraksiyon testleri, depolama sahasına yerleştirilen 1 kg atık başına 0,05-0,40 m³ arasında depo gazı üretimi olduğunu göstermiştir (Aydın, 2013).

Normal koşullarda gaz üretim hızı ilk 5 yılda pik bir değere ulaşır (Tchobanoglous, Theisen ve Vigil, 1993). Daha sonra azalmaya başlar, 25 yıl veya daha fazla bir süre zarfında azalmaya devam eder (Aydın, 2013).

2.3.9 Deponi Gazı Kullanımının Faydaları

Deponi gazı kömür ve petrol gibi fosil kaynaklı yakıtlara iyi bir alternatif enerji kaynağıdır. Deponi gazını enerjiye dönüştüren sistemlerle hem ekonomik fayda elde edilir, hem de sera

gazı emisyonlarının azaltılması ile hava kalitesi iyileştirilir ve çevresel etkiler azaltılır (SCS Engineers, 2010).

Ekonomik faydalar: Depolama sahalarında oluşan depo gazının elektrik üretimi için iyi bir kaynak olması sebebi ile depo gazının yakılarak veya yakılmadan atmosfere verilme uygulaması azalmıştır. Karbonmonoksit göre sera gazı etkisi 21 kat daha fazla olan metan gazı enerji geri dönüşüm prosesi ile karbondioksit ve diğer yanma ürünlerine dönüşmektedir. Bu sayede atmosferik ömrü 10-14 yıl arasında olan metan gazının iklim değişikliğine olan olumsuz etkisi engellenmektedir (Çetindemir, 2012).

Doğrudan Sera Gazı Emisyonlarının Azaltımı: Deponi gazından elektrik eldesine yönelik kurulan sistemler işletme süresi boyunca sahadaki gaz toplama verimine göre değişkenlik göstermekle birlikte oluşan deponi gazının %60-90'lık kısmını kullanabilmektedir. Bu sistemlerle deponi gazı su ve karbondioksit dönüşürken elektrik ve ısı üretimi gerçekleşmektedir. İzmit Solaklar depolama sahasında depo gazından elektrik üretimi yoluyla 2012-2026 yılları arasında 800.000 ton CO₂ içeren depo gazının giderimi sağlanarak depo sahası kaynaklı sera gazı emisyonlarının azaltılması hedeflenmektedir (Sel, Çetindemir ve Arıkan, 2012).

Dolaylı Sera Gazı Azaltımı: Depo gazı kullanılarak üretilen enerji sayesinde fosil kaynaklı yakıtların kullanımı ile üretilecek enerjiye olan ihtiyaç azalacağından dolayı hava kirletici emisyonlarında da azalma gerçekleşecektir (Çetindemir, 2012).

Doğrudan ve Dolaylı Olarak Diğer Kirleticilerin Emisyonlarında Azaltım: Depolama sahasında meydana gelen fiziksel, kimyasal ve biyolojik aktiviteler sonucunda oluşan, çok düşük konsantrasyonlarda dahi insan sağlığına olumsuz etkileri bulunan bileşikler, depo gazının çeşitli yöntemlerle kullanımı ile daha az zararlı olan başka yan ürünlere dönüşürler. Enerji kaynağı olarak petrol ve türevleri yerine depo gazının kullanılması ile asit yağmurlarına sebep olan sülfürdioksit, partikül madde ve azotoksit türevlerinin atmosfere salınımları daha düşük miktarlarda olmaktadır (Çetindemir, 2012).

Diğer Çevresel Faydalar: Depolama sahası çevresinde yaşayan insanların yaşam kalitesi, depo gazının doğrudan atmosfere salınmak yerine çeşitli yöntemlerle değerlendirilmesi ile

yükselir. Koku sorunu büyük oranda giderilir, depo gazının patlama ve yanma gibi olumsuz etkilerinin önüne geçilir (Koerner ve Koerner, 2006).

Depo Sahası İşletmecisi ve Toplum İçin Faydaları: Depolama sahasındaki gazdan üretilen enerji hem tesis içi kullanımda hem de ulusal şebekeye elektrik satışı olarak değerlendirilebilir. İklim değişikliğine sebep olan emisyonların azaltılması ile oluşacak karbon kredisi de maddi geri kazanımlar arasında bulunur. Ülkenin enerji politikalarına bağlı olarak yenilenebilir enerji için yüksek fiyattan alım garantisi olduğu durumlarda tesis içi kullanım yerine üretilen elektrik direk olarak son kullanıcıya ulaştırılmaktadır. Bu tip tesislerin projelendirilmesi ve işletmeye açılması uzun soluklu süreçler içerdiği için bu zaman zarfında personel istihdamı yaratması bölgesel olarak kalkınmaya katkı sağlamaktadır (Çetindemir, 2012).

2.4 Deponi Gazı Modellemesi

2.4.1 Deponi Gazı Modellemesi Nedir?

Depolama sahalarında oluşacak olan depo gazı miktarı çevresel faktörlerden etkilenen metanojenik faaliyetler neticesinde farklılık gösterir. Teorik olarak 1 ton çöpün ayrışmaya uğraması sonucunda metan içeriği %55 olan ve $19.750 \text{ Kjoule/m}^3$ kalorifik değere sahip 400 m^3 depo gazı oluşur. Bir depolama sahasının depo gazı geri kazanım amaçlı olarak projelendirilmesi için gaz üretim potansiyeli belirlenmelidir. Depo gazı oluşumu sahaya getirilecek atık miktarı, atıkların karakteristiği, tesisin yapısı ve gaz toplama sisteminin tasarımı gibi birçok etkene bağlı olarak değişkenlik gösterir (Özçakıl, 2001).

Depo gazı modelleri, depolanmış katı atıkların üretecekleri metan gazı miktarını zamana bağlı olarak tahmin etmek için kullanılan matematiksel araçlardır. Farklı bir ifade ile depolama sahasındaki organik maddelerin zaman içerisinde uğradığı karmaşık ayrışma reaksiyonlarını basite indirgeyen araçlar olarak tanımlanabilirler. Bu tanım yapılırken, kapalı bir sistemde gerçekleşen çevrimler sonucunda her zaman kütlelerin sabit kalacağını belirten kütlelerin korunumu prensibi kullanılmaktadır (Rajaram, Siddiqui ve Khan, 2012).

Depo gazından enerji üretim tesislerinin projelendirilmesi için depo sahasından elde edilebilecek gaz miktarının bilinmesi zorunludur. Bu amaçla matematiksel bir yöntem olan ve çeşitli değişkenlere dayanan depo gazı modellemesi kullanılır. Projelendirme aşamasında

modelde kullanılacak saha verilerinin gerçeği yansıtması ve model parametrelerinin doğru seçilmesi en önemli kriterlerdendir (Çetindemir, 2012).

Depo gazı modelleri oluşturulurken laboratuvar ortamında yapılan araştırmalar ile pilot ölçekli çalışmaların verileri bir arada kullanılmaktadır. Devamındaki aşamada araştırma sonuçları ile gerçek ölçekli saha verileri karşılaştırılarak model doğrulanır (Çetindemir, 2012). Modelin doğrulanması aşamasında mevcut depolama sahaları verileri 5-50 yıl gibi zaman periyotlarında incelenerek model çıktıları ile karşılaştırılır. Mevcut saha verileri inceleme periyodunun uzun tutulması modelin tutarlılığı için önemlidir (Scharff ve Jacobs, 2006).

Matematiksel modeller oluşturulurken genellikle atığın mikroorganizma faaliyetleri sonucunda ayrışmasını analiz edebilmek için basit ampirik fonksiyonlar kullanılır ve böylece sıfırıncı ya da birinci dereceden kinetik modeller elde edilir. Modeller için en önemli parametreler metan üretim potansiyeli (L_0), metan üretim sabiti (k) ve zaman aralığıdır. Karmaşık modellerde ise farklı değişkenler olarak atık fraksiyonları, atık depolama sıklığı veya atığın yerleşimi ile metan üretimi arasında zaman yönünden gecikme olması gibi faktörlerde göz önünde bulundurulur (Çetindemir, 2012).

Modelleme yolu ile elde edilen verilerle sahadaki gerçek veriler arasında farklar oluşmasının sebepleri aşağıdaki gibi açıklanabilir:

- Depo gazı modellerinin sahanın performansını %100 olarak yansıtamamaları,
- Atığın sürekli olarak geldiği ve metan üretiminin atıkların depolanmasına müteakip ne kadar süre sonra başladığı konusunda yapılan farklı kabuller,
- Sahaya gelen atığın kompozisyonunun her zaman aynı olarak kabul edilmesi,
- Sahada oluşan metan gazının toplama verimi; açılan kuyu sayısı, kuyular arasındaki mesafe, saha ve iklim şartları gibi değişkenler,
- Model çıktısının, toplama verimi için bir parametre belirlenmediğinde oluşacak bütün depo gazı miktarını vermesi (Çetindemir, 2012).

2.4.2 Deponi Gazı Modellemesinin Faydaları

Depo gazı modellemeleri, kurulacak olan depo gazı toplama ve yakma ya da enerji eldesine yönelik sistemlerin tasarlanmasında kullanılan en önemli araçtır. Depo gazının toplanacağı kuyuların belirlenmesinde, toplama, arıtma ve enerji kazanım ünitelerinin boyutlandırılmasında modelleme temel alınmaktadır. Projenin başarılı olabilmesi için modelleme ile belirlenen verilerin doğru tespit edilmesi önemlidir. Bunun yanında depo gazı emisyonlarının tahmin edilmesinde ve bunlara yönelik yasal mevzuatın hazırlanmasında modelleme oldukça önemlidir (Çetindemir, 2012).

2.4.3 Deponi Gazı Matematiksel Modelleme Yöntemleri

Düzenli depolama sahalarında oluşan metan gazı emisyonları farklı matematiksel modellerle belirlenebilmektedir. Bu modelleri temel olarak sıfırıncı dereceden gaz oluşum modeli, 1. dereceden gaz oluşum modeli ve 2. dereceden gaz oluşum modeli olarak 3 farklı sınıfa ayırabiliriz. Sıfırıncı derece modellere göre atığın potansiyel emisyonu atığın depolandığı sene oluşur. 1. derece modellere göre atığın içerisindeki tüm organik karbon aynı kalitededir ve aynı hızla ayrışır. 2. derece yani çok fazlı modellere göre ise atığın içerisinde farklı hızlarda ayrışan farklı türlerde organik karbon içerikleri bulunmaktadır. Her model sonucu sahadaki gerçek depo gazı verisini karşılamaz. Yapılan çalışmalara göre, model sonuçları ve saha verileri karşılaştırıldığında sıfırıncı dereceden modellerin sonuçları yüksek hata oranına sahipken yüksek dereceli modeller daha düşük hata oranına sahiptir (Amini, Reinhart ve Mackie, 2012).

Depo gazı oluşum modelleri, belirli bir atık hacminden zamanla oluşan toplam depo gazı hacminin tahmin edilmesinde kullanılan yöntemlerdir. Model hesaplamalarında atık depolama periyodu, atık miktarı ve bu atıkların özellikleri gibi çeşitli verilere ihtiyaç vardır. Matematiksel ifadelerle dayanan modellerin yanında son yıllarda eğitilebilir algoritmalara dayanan model çalışmaları da yaygın olarak mühendislik çalışmalarında kullanılmaktadır (Sel, 2016).

Bu bölümde depo gazı tahmininde kullanılan çeşitli matematiksel modeller incelenecektir.

2.4.3.1 Sıfırıncı Dereceden Model

Bu modelde giriş parametresi olarak atığın depolandığı yıl veya atığın yaşı değerlendirilmez. Depo gazının oluşumu incelenen zaman periyodu boyunca sabittir ve değişmez. Bu model

için gerek duyulan parametreler depolanmış olan atığın miktarı, metan üretim potansiyeli ve metan üretim süresidir (Ayman, Reinhart ve You, 2007).

Sıfırıncı dereceden modele ait matematiksel denklem aşağıda verilmiştir.

$$Q = \frac{ML_0}{(t_0 - t_f)} \quad 2.1$$

Burada;

- Q : zamana bağlı olarak oluşacak gaz miktarı (hacim),
M : depolanan atık miktarı (kütle),
L₀ : metan üretim potansiyeli (birim kütle başına hacim),
t₀ : bekleme zamanı,
t_f : üretimin biteceği zamandır.

2.4.3.2 Sabit Oranlı Model

Bu modele göre atık depolandıktan sonra bir bekleme evresi vardır ve bu evrenin bitiminden sonra atıktan oluşan gaz miktarı hızlıca artar ve sabit bir hızla tükenerek sıfıra düşer (Rajaram, Siddiqui ve Khan, 2012).

Sabit oranlı modele ait matematiksel denklem aşağıda verilmiştir.

$$\frac{dC}{dt} = -k \quad 2.2$$

Burada;

- t : zaman,
C : toplam metan ya da substrat miktarı,
k : sıfırıncı dereceden ayrışma sabitidir.

2.4.3.3 Birinci Dereceden Model

Bu modelde depo gazı üretiminde atığın yaşının etkisi değerlendirilmektedir. Zamana bağlı olarak atığın ayrışma hızının üssel olarak azaldığı kabul edilmektedir. Bu modelin Scholl Canyon ve US EPA LandGEM gibi farklı versiyonları sıkça kullanılmaktadır (Kamalan, Sabour ve Shariatmadari, 2011).

Birinci dereceden modele ait matematiksel denklem aşağıda verilmiştir.

$$Q = ML_0 k e^{-k(t-t_0)} \quad 2.3$$

Burada;

- k : birinci dereceden ayrışma sabiti,
L₀ : metan üretim potansiyeli,
M : atığın miktarı,
k_e : ayrışma hızıdır
t : zaman.

2.4.3.4 Geliştirilmiş Birinci Dereceden Model

Bu modele göre depo gazı üretiminin yavaş bir seyirden sonra hızla yükseldiği, daha sonra üssel olarak düşüşe geçtiği kabul edilmektedir (Ayman, Reinhart ve You, 2007).

Geliştirilmiş birinci dereceden modele ait matematiksel denklem aşağıda verilmiştir.

$$Q = ML_0 \frac{k + s}{s} [1 - e^{-s(t-t_0)}] \quad 2.4$$

Burada “s” ifadesi birinci dereceden yükselme fazı sabitidir.

2.4.3.5 Multi-Phase (Çoklu Faz) Model

Bu modelde atık içerisindeki biyolojik olarak ayrışabilen organik karbon yüzdesi ve kümülatif atık miktarı kullanılmaktadır. Hesaplama için atığın hızlı, orta ve yavaş ayrışan kısımlarının her biri için farklı bir katsayı kullanılması gerekmektedir. Tahmini olarak elde

edilecek deponi gazı miktarı farklı parçalanma hızlarındaki atık miktarlarının kümülatif toplamından elde edilir (Çakır ve Günerhan, 2012).

Multi-Phase modeline ait matematiksel denklem aşağıda verilmiştir.

$$\alpha_t = \zeta \sum_{i=1}^3 1,87 A C_{0,i} k_{1,i} e^{-k_{1,i}t} \quad 2.5$$

Burada;

- α_t : deponi gazı oluşum miktarı (m³/yıl),
 ζ : üretim faktörü,
A : atık miktarı,
C_{0,i} : organik karbon miktarı (kg C/ton atık),
k_{1,i} : hızlı, orta ve yavaş parçalanma için ayrışma hızı katsayıları,
t : atığın depolanmasından itibaren geçen süre,

2.4.3.6 İkinci Dereceden Model

Bu model, birinci dereceden reaksiyonların bir arada kullanıldığı bir modeldir. Atıkta meydana gelen karmaşık reaksiyonları temsil eden farklı katsayılar kullanılmaktadır (Kamalan, Sabour ve Shariatmadari, 2011).

İkinci dereceden modele ait matematiksel denklem aşağıda verilmiştir.

$$\frac{dC}{dt} = -kC^2 \quad 2.6$$

Burada;

- t : zaman,
k : ikinci dereceden ayrışma sabitidir,
C : metan gazı hacmi

2.4.3.7 Scholl Canyon Modeli

Bu model tek kademeli, 1. dereceden kinetik bir modeldir. Modele göre, anaerobik şartların oluştuğu ve mikrobiyal kütlelerin gelişerek stabilize olduğu süre boyunca gaz oluşumu artmaktadır. Bu andan sonra atık içerisindeki organik kısmın azalmasıyla gaz oluşum miktarı da azalmaktadır (Gendebien vd., 1991).

Scholl Canyon modeline ait matematiksel denklem aşağıda verilmiştir.

$$Q_{ifg,i} = 2L_0kM_i e^{-k,t} \quad 2.7$$

Burada;

- Q_{ifg} : yıllık gaz oluşum miktarı (m³/yıl),
 L_0 : depolanan atıktan oluşabilecek metan miktarı (m³/ton),
 M_i : i. yıldaki depolanan ortalama atık miktarı (ton/yıl),
 k : metan oluşum hızı sabiti,
 i : 1-yıllık zaman artışı,
 t : ilk depolamanın başlamasından sonra geçen süredir (yıl).

2.4.3.8 Tabasaran & Rettenberger Modeli

Bu model, belirli bir zaman dilimi için organik karbon içeren atıkların bakteriler nedeniyle doğal çürüme süreçlerini birinci dereceden parçalanma yaklaşımına benzeterek ifade etmektedir. Oluşan gaz miktarı teorik olarak açıklanabilmektedir. Model parametreleri olarak 25-40°C'de 170-220 kg organik karbon/ton olduğu ve metan üretim oranının 0,025-0,050 y⁻¹ olduğu önerilmektedir (Sarptaş, 2016).

Tabasaran & Rettenberger modeline ait matematiksel denklem aşağıda verilmiştir.

$$G_t = 1,868C_{org}(0,014T + 0,28) \times (1 - 10^{-kt})M_t \quad 2.8$$

Burada;

- G_t : t zamanına kadar üretilen gaz miktarı (m³/ton)

C_{org} : Organik karbon içeriği (kg/ton atık)

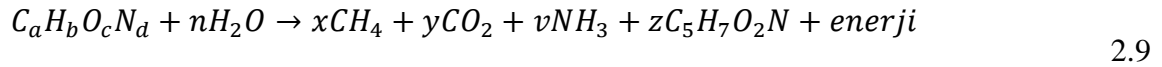
T : Sıcaklık (°C)

t : Zaman (yıl)

k : Ayrışma sabiti (yıl⁻¹)

2.4.3.9 Stokiyometrik Model

Bu model, atık içindeki organik maddeleri ampirik bir formül ile ifade eder ve denklemin ürün tarafında CH₄, CO₂, NH₃ ve enerji bulunur. Metan üretim potansiyeli (L₀) stokiyometrik yöntem ile elde edilir. Bu modelin kullanımı toplam üretilecek gaz miktarını herhangi bir üretim katsayısı kullanmadan verdiği için çok tercih edilmez. Aynı zamanda atığın kimyasal kompozisyonunu çok doğru şekilde analiz etmeyi gerektirir. Ek olarak atık içinde bulunan ve organik olmayan kısmın oranı da model için oldukça önemlidir. Nem ve toksisite miktarları değerlendirilmez (Rajaram, Siddiqui ve Khan, 2012). Stokiyometrik modelin ayrışma prosesi aşağıda verilmiştir.



2.4.3.10 LandGEM Modeli

Bu model birinci dereceden kinetiklerin kullanıldığı bir modeldir. LandGEM modeli temelde aşağıdaki verileri esas almaktadır:

- Depolama sahasının kapasitesi.
- Depolanmış toplam atık miktarı veya yıllık olarak depolanmış atık miktarları.
- Metan üretim sabiti (k) ve metan üretim potansiyeli (L₀).
- Toplam organik maddeler ile metanojenik olmayan bileşenlerin konsantrasyonları.
- Atığın yaşı.
- Deponide tehlikeli atık bulunup bulunmadığı (Kamalan, Sabour ve Shariatmadari, 2011).

Modelde depo gazı oluşma hızı birinci derece bozunma denklemine dayanmaktadır.

LandGEM modeline ait matematiksel denklem aşağıda verilmiştir.

$$Q_{CH_4} = L_0 R (e^{-kc} - e^{-kt})$$

2.10

Burada;

- Q_{CH_4} : t anındaki metan üretim hızı ($m^3/yıl$)
 L_0 : Potansiyel metan üretim kapasitesi (m^3 metan/ton atık)
 R : Depolanan yıllık atık miktarı (ton/yıl)
 k : Metan üretim hızı sabiti ($yıl^{-1}$)
 c : Saha kapatıldıktan sonraki yıl sayısı (yıl)
 t : İlk atık depolanmaya başlamasından sonra geçen süre (yıl)

Modele göre karbondioksit ve metan emisyon oranları eşittir, metan emisyonunun iki katı kadar depo gazı bulundu kabul edilmektedir. Depolama sahasından kaynaklanan metan gazı k ve L_0 'ın fonksiyonudur. k değeri atığın nem içeriğinin, nütrient içeriğinin, pH değerinin ve sıcaklığın bir fonksiyonudur. L_0 değeri ise depolama sahasındaki atığın karakterine bağlıdır. Atıktaki selüloz miktarı arttıkça, L_0 değeri de artmaktadır (Solak, 2015).

Modelde sahaya özgü bir k ve L_0 değeri girilemiyorsa, modelde hazır olarak verilen iki set değer mevcuttur. Bunlar Clean Air Act (CAA) ve AP-42 değerleridir. CAA değerleri depolama sahası emisyonları için CAA yönetmeliklerinin uygulanabilirliği esasına dayanmaktadır. AP-42 değerleri ise EPA'nın Compilation of Air Pollutant Emissions Factors'dan alınmış değerlere dayanmaktadır. k değerleri için bir kuraklık kriteri mevcuttur. Bu değer yılda 640 mm'den daha az yağış alan bölgeler için farklılık gösterir. CAA ve AP-42 değerleri Tablo 2.6'da gösterilmiştir (Akpınar, 2006).

Tablo 2.6 EPA modeli parametreleri (Akpınar, 2006)

Parametre	CAA		AP-42	
	P>640 mm	P<640 mm	P>640 mm	P<640 mm
k (1/yıl)	0,05	0,02	0,04	0,02
L_0 (m^3/ton)	170	170	100	100

2.4.3.11 Palos Verdes Modeli

Palos Verdes kinetik modeli, depo sahalarında gaz üretim kinetiğini ortaya koyan iki kademeli 1. derece matematiksel bir modeldir. Birinci kademede, gaz oluşumu zamanla artmakta, ikinci kademede ise zamanla eksponansiyel olarak azalmaktadır. Bu modelde, birinci kademeden ikinci kademeye geçişin, oluşması beklenen gaz miktarının yarısı meydana geldiğinde gerçekleştiği görülmüştür ve buna yarı ömür denir. Organik atıklar kolay ayrışabilen (yiyecek ve bahçe artıkları), zor ayrışabilen (kağıt, tekstil) ve ayrışmayan (plastik, naylon) maddeler olmak üzere üç kategoriye ayrılır. Oluşan gazın toplam hacmi, her bir atık sınıfından oluşan gazın toplamına eşittir (Gendebien vd., 1991).

2.4.3.12 Sheldon-Arleta Kinetik Modeli

Bu modelde gaz oluşumu üssel olarak artan ve azalan iki fazdan oluşmaktadır. Üretilen toplam gazın yarısının oluştuğu dönemde en yüksek depo gazı oluşmaktadır. Aynı zamanda toplam oluşum süresinin %35'inde toplam gaz miktarının yarısının oluşacağı öngörülmektedir. Model atığı iki farklı şekilde yorumlamaktadır. Birinci kabulde hızlı ayrışan organiklerin yarı ömürleri 9 yıl ve toplam ayrışma süreleri 26 yıldır. İkinci kabulde ise yavaş ayrışan organiklerin yarı ömürleri 16 yıl ve toplam ayrışma süreleri 103 yıldır. Sıcaklık ve nem gibi kısıtlayıcı parametreler göz ardı edilmektedir (Rajaram, Siddiqui ve Khan, 2012).

2.4.3.13 GASFILL Modeli

Gasfill modeli 1988 yılında Montain View depo sahasında yapılan çalışma sonucu ortaya çıkmıştır. Bekleme fazının hesaba katıldığı modelde atıkların ayrışma hızları; hızlı, orta hızlı ve yavaş ayrışan olmak üzere üçe ayrılmıştır. İlk evrede gaz üretimi hiperbolik şekilde artmakta, ikinci evrede ise üssel olarak azalmaktadır. Modelde metan ile karbondioksitin aynı molar hacimde oluştuğu kabul edilmektedir.

Gassfill modeline ait matematiksel denklem aşağıda verilmiştir.

$$Q_i = 0 \quad t \leq t_{0_i} \quad 2.11$$

$$Q_i = coth\alpha_i(t_{2_i} - t) - coth\alpha_i(t_{2_i} - t_{0_i})t_{0_i} \quad t_{0_i} < t < t_{2_i} \quad 2.12$$

$$Q_i = Q_{pi} e^{-\lambda_i(t-t_{1i})} \quad 2.13$$

Burada;

- Q_i : atık türünden (i) birim zamanda oluşacak metan,
 t_{0i} : atık türü için (i) metan oluşumunun başladığı zaman,
 t_{1i} : atık türü için (i) pik metan gazı oluşum zamanı,
 t_{2i} : hiperbolün sonsuza yaklaşmaya başladığı zaman,
 Q_{pi} : birim zamandaki pik metan oluşum hızı,

Model, hızlı ayrışan organik maddelerin bir yıldan daha kısa sürede ayrışmaya başladığını, orta hızlı ve yavaş ayrışan organik maddelerden kaynaklanan metan gazı oluşumunun en az iki yıl sonra başladığını kabul etmektedir (Çetindemir, 2012).

2.4.3.14 EPER Fransa Modeli

EPER (European Pollutant Emmission Register) tarafından geliştirilmiş bir modeldir. EPER Fransa modelinde metan emisyonlarını tahmin etmek için iki farklı yöntem kullanılmaktadır.

Birinci yöntemde depo sahası içinde gaz toplama sistemi bulunan bir hücreden elde edilen gaz miktarı ve gaz toplama verimi bilgileri kullanılarak metan gazı emisyonu hesaplanır. Bu yönteme ait matematiksel denklem aşağıda verilmiştir (Kamalan, Sabour ve Shariatmadari, 2011).

$$A = FH[CH_4] \quad 2.14$$

$$P = \frac{A}{\alpha} \quad 2.15$$

Burada;

- A : depo sahasında oluşmuş ve kullanılmış metan miktarı ($m^3 CH_4/yıl$),
 F : depo gazı debisi (m^3 depo gazı/saat),
 H : F parametresinin stabil olarak sağlanabildiği süre (çalışma saati) (saat/yıl),
 CH_4 : depo gazı içerisindeki CH_4 konsantrasyonu,

- P : depo sahasında oluşan metan miktarı ($m^3 CH_4/yıl$),
 α : toplama sistemi verimliliği (%) şeklindedir.

Depo sahasında oluşmuş ve kullanılmış metan miktarı (A), standart sıcaklık ve basınç dikkate alındıktan sonra düzeltilebilir. Depo sahasında, depo gazı toplama sisteminin bulunduğu alandaki fiziksel ve mekanik durumlar toplama verimliliğini etkilemektedir. Örneğin, aktif olarak gaz çekilen bir bölgede örtü tabakası bulunmaması durumunda toplama verimi %25, sadece örtü toprağı bulunması durumunda %40, örtü toprağı üstünde kil bulunması durumunda %65 ve geomembran bulunması durumunda %90 alınabilir (Kamalan, Sabour ve Shariatmadari, 2011).

İkinci yöntemde depo sahası içinde gaz toplama sistemi bulunan ya da bulunmayan bir hücreden çok fazlı model ve gaz toplama verimi kullanılarak elde edilecek metan gazı emisyonu hesaplanır. Bu yönteme ait matematiksel denklem aşağıda verilmiştir.

$$FE_{CH_4} = \sum_x FE_0 \times \left[\sum_{1,2,3} A_i \times p_i \times k_i \times e^{-k_i t} \right] \quad 2.16$$

Burada;

- FE_{CH_4} : oluşan metan miktarı ($m^3 CH_4/yıl$),
 FE_0 : metan üretim potansiyeli ($m^3 CH_4/ton$ atık),
 p_i : i türündeki atığın tüm atığa oranı,
 k_i : ayrışma sabiti (y^{-1}),
 t : atık yaşı (yıl),
 A_i : düzeltme faktörü şeklindedir.

Bu modele göre atıklar 3 alt kategoriye ayrılır, her kategori için belirlenen ayrışma katsayıları her bir atık türünü temsil edecek şekilde teke düşürülür. Bu özelliği nedeniyle EPER Fransa modeli tek fazlı bir model olarak kabul edilebilir. Model, standart olarak depo sahası yüzeyinde meydana gelen oksidasyonu oluşan depo gazının %10'u olarak almaktadır. Toplam metan emisyonu aşağıda verilen denklem yardımı ile hesaplanabilir (Çetindemir, 2012).

$$CH_4 \text{ emisyonu} = P(1-\alpha) \times 0,9 + FE_{CH_4} \times 0,9 \quad 2.17$$

Burada α , yüzdesel olarak toplama sistemi verimliliğini ifade eder.

2.4.3.15 EPER Almanya Modeli

Modele göre depo gazı sadece evsel atıktan meydana gelmektedir. Bu yüzden karışık olarak atık depolanan sahalardaki evsel atık miktarının ayrı olarak hesaplanması gerekmektedir. EPER Almanya modelinin sıfıncı dereceden matematiksel ifadesi aşağıdaki şekilde verilmiştir (Çetindemir, 2012).

$$M_e = M \times BDC \times BDC_f \times F \times D \times C \quad 2.18$$

Burada;

- M_e : toplam depo gazı miktarı (ton CH_4 /yıl),
- M : yıllık olarak depolanan atık miktarı (ton atık/yıl),
- BDC : biyolojik olarak ayrışabilen karbonun tüm atığa oranı (ton karbon/ton atık),
- BDC_f : anaerobik ortamda bozunabilen karbonun toplam karbona oranı (0,5),
- F : karbon- CH_4 çevrim faktörü (1.33),
- D : toplama verimi (0.1-0.9),
- C : metan konsantrasyonu (%50) şeklindedir.

2.4.3.16 Weber Modeli

Weber modeli, birinci dereceden reaksiyon kinetiklerini kullanarak oluşacak depo gazının zamanla azaldığını kabul etmektedir. Model, toplam depo gazı miktarını hesaplarken her sene depolanan atık miktarlarını birbirine ekleyerek yani kümülatif atık miktarını hesaplayarak depolanan birim atık için belirlenen süre boyunca metan gazı üretileceğini kabul eder. Bu nedenle sahada son atık depolama işlemi tamamlandıktan 1 yıl sonra depo gazı üretimi pik noktaya ulaşır ve daha sonra üssel şekilde düşüşe geçer (Çetindemir, 2012).

Teorik olarak oluşacak gaz miktarı atığın toplam organik karbon (TOC) içeriğinden yola çıkılarak bulunmaktadır. İdeal gaz kanununa göre oluşması beklenen reaksiyonlar sonucu 1

kg toplam organik karbondan 1,863 m³ gaz oluşmaktadır. Almanya'da birçok depo gazından enerji üretimi yapılacak tesis Weber modeli esas alınarak tasarlanmıştır. Modelin matematiksel ifadesi aşağıda verilmiştir (Çetindemir, 2012).

$$G_{a,t}(m^3/t) = 1,868.M.TOC.f_{a0}.f_a.f_s.k.e^{-kt} \quad 2.19$$

Burada;

TOC : toplam organik karbon (kg/ton),

t : zaman (yıl),

a_t : reaksiyon sabiti (yıl⁻¹),

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

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

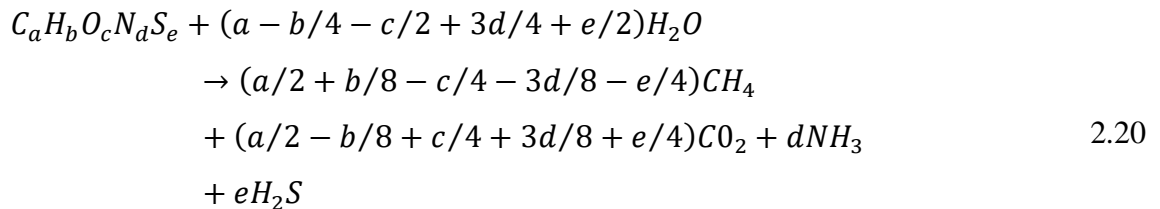
f₀ : optimizasyon katsayısı (0,7-1),

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

2.4.3.17 Buswell Eşitliği

Buswell denklemi atığı çeşitli elementleri içeren bir kimyasal formül ile karakterize etmek için kullanılır. Bu denklem kullanılarak elde edilen gaz kompozisyonu ve miktarı teorik bir değer taşır. Denklemde atığın organik kısmının tamamen ayrıştığı ve deponi gazına dönüştüğü kabul edilir (Tchobanoglous, Theisen ve Vigil, 1993).

Buswell denklemi aşağıda verilmiştir.



2.5 Nüfus Projeksiyonu

2.5.1 Nüfus Projeksiyonu Tanımı

Nüfus projeksiyonu, doğum, ölüm ve göç hareketlerinin gelecekteki eğilimleri ile ilgili bazı varsayımlara dayanarak nüfusun gelecek zamandaki hareketi hakkında tahminde bulunulmasıdır.

Nüfus projeksiyonları, sosyal ve ekonomik politikaları yansıtan ve sayısallaştıran, aynı zamanda ticari sektörler için gerekli olan üretici ve tüketici kitlenin tespitinde yardımcı bir unsur özelliği taşımaktadır.

Nüfus projeksiyonları amaca göre ülke geneli, bölge geneli ve il genelinin yanında değişik nüfus büyüklüğüne sahip yerleşimler veya idari birimler bazında olmak üzere farklı şekillerde yapılmaktadır (Plan Nüfus Projeksiyon Yöntemleri, 2002).

Nüfus projeksiyon yöntemleri kullanılarak gelecekte oluşabilecek evsel katı atık miktarı belirlenebilir ve kurulacak olan atık yönetim sisteminin modellenmesi sağlanabilir.

2.5.2 Nüfus Projeksiyonu Hesaplama Yöntemleri

2.5.2.1 Aritmetik Artış Modeli

Bu modele göre nüfusun birim zamandaki artış miktarı sabittir. Geçmiş yıllardaki nüfus verileri kullanılarak hazırlanan grafikte nüfus miktarı dikey ekseninde, nüfus sayım yılları ise yatay ekseninde gösterilir. Ortaya çıkan grafik eğrisi bir doğru veya doğruya yakın bir çizgi oluşturuyor ise nüfus artışının doğrusal olduğu kabul edilir ve gelecek nüfusun tahmin edilmesi için aritmetik artış modeli kullanılır. Buna göre nüfus artış hızı aşağıdaki formüller ile hesaplanır (Zeydan, 2018).

$$\frac{dN}{dT} = k_a \quad 2.21$$

$$k = \frac{N_S - N_i}{t_S - t_i} \quad 2.22$$

$$N_G = N_M + k_a(t_g - t) \quad 2.23$$

Burada;

N_G : Gelecekteki nüfus (kişi),

N_M : Mevcut nüfus (kişi),

- t_s : Ardışık nüfus sayım yıllarının ikincisi,
 t_i : Ardışık nüfus sayım yıllarının birincisi,
 N_s : Ardışık nüfus sayım yıllarının ikincisindeki nüfus (kişi),
 N_i : Ardışık nüfus sayım yıllarının birincisindeki nüfus (kişi),
 k : Ardışık nüfus sayım yılları arasında hesaplanan nüfus artış hızı,
 k_a : Ortalama artış hızı,
 t : Projenin başladığı yıl,
 t_g : Gelecekteki nüfusun tahmin edildiği yıldır.

2.5.2.2 Geometrik Artış Modeli

Geometrik artış modeli, nüfus artış hızının nüfusa bağlı doğrusal bir fonksiyon olduğunu kabul etmektedir. Bu modele göre, geçmiş yıllardaki nüfus verileri için her ardışık sayımdaki nüfus artış miktarının mevcut nüfusa oranı aynı ise, gelecekteki nüfusu tahmin edilmesi için bu model kullanılmalıdır. Buna göre nüfus artış hızı aşağıdaki formüller ile hesaplanır (Zeydan, 2018).

$$\frac{dN}{dT} = k_a \quad 2.24$$

$$k = \frac{\ln(N_s) - \ln(N_i)}{t_s - t_i} \quad 2.25$$

$$N_G = N_M e^{k_a(t_g - t)} \quad 2.26$$

Burada;

- N_G : Gelecekteki nüfus (kişi),
 N_M : Mevcut nüfus (kişi),
 N : Geçmiş yıllardaki nüfus verilerinin sayısı,
 t_s : Ardışık nüfus sayım yıllarının ikincisi,
 t_i : Ardışık nüfus sayım yıllarının birincisi,
 N_s : Ardışık nüfus sayım yıllarının ikincisindeki nüfus (kişi),
 N_i : Ardışık nüfus sayım yıllarının birincisindeki nüfus (kişi),
 K : Ardışık nüfus sayımları arasındaki nüfus artış hızı,

- k_a : Ortalama artış hızı,
 t : Projenin başladığı yıl,
 t_g : Gelecekteki nüfusun tahmin edildiği yıldır.

2.5.2.3 İller Bankası Modeli

İller Bankası modeli, sabit hızlı geometrik artış öngören, yani nüfusun bir kuvvet fonksiyonu ile ifade edildiği bir modeldir. Geçmiş yıllardaki ardışık nüfus sayımlarında belirlenen nüfuslar için, her bir nüfus sayım yılındaki nüfusun bir önceki nüfusa oranı sabit kalıyorsa, veya bu oranlar dikey ekseninde, yıllar yatay ekseninde olmak üzere nüfus verileri grafiklendirildiğinde eğim sifıra eşit veya yakın bir doğruyu ifade ediyorsa, gelecekteki nüfusu tahmin etmek için İller Bankası modeli kullanılmalıdır. Buna göre nüfus artış hızı aşağıdaki formüller ile hesaplanır (Günay, 2016).

$$N_G = N_S \left[1 + \frac{P}{100} \right]^n \quad 2.27$$

$$\%P = \left(\sqrt[a]{\frac{N_y}{N_e}} - 1 \right) \times 100 \quad 2.28$$

$$a = t_y - t_e \quad 2.29$$

$$n = t_g - t_s \quad 2.30$$

Burada;

- N_G : Gelecekteki nüfus (kişi),
 N_M : Mevcut nüfus (kişi),
 t_g : Gelecekteki nüfusun tahmin edildiği yıl,
 t_s : Son nüfus sayımının yapıldığı yıl,
 t_g : Gelecekteki nüfusun tahmin edildiği yıl,
 n : Proje süresinin son yılı ile son nüfus sayımının yapıldığı yıl farkı,
 N_y : Yeni nüfus sayımı (kişi),
 N_e : Eski nüfus sayımı (kişi),
 t_e : Eski nüfus sayımının yapıldığı yıl,

t_y : Yeni nüfus sayımının yapıldığı yıl,

P : Nüfus artış hızı katsayısıdır ($P_{ort} > 3$ ise $P=3$; $1 < P < 3$ ise $P=P_{ort}$; $P_{ort} < 1$ ise $P=1$).

2.5.2.4 Azalan Hızlı Artış Modeli

Bu model, geometrik artış modeline bir sınır şart konularak elde edilir. Bu sınır şart, bölgedeki nüfusun bir doyum noktasına ulaşacağı varsayımını getirmekte ve nüfus artış hızı mevcut nüfusun doyum nüfusuna olan uzaklığına oranı olarak ifade edilmektedir. Buna göre nüfus artış hızı aşağıdaki formüller ile hesaplanır (Günay, 2016).

$$\frac{dN}{dT} = k_d(K - N) \quad 2.31$$

$$k_d = \frac{\ln\left(\frac{K-N_y}{K-N_e}\right)}{t_y - t_e} \quad 2.32$$

$$N_G = N_S + (K - N_S) \left[1 - \text{üs}\left(k_d(t_g - t_s)\right)\right] \quad 2.33$$

Burada;

N_G : Tahmin edilecek gelecek nüfus (kişi),

N_S : Son nüfus sayımı (kişi),

t_g : Gelecekteki nüfusun tahmin edildiği yıl,

t_s : Son nüfus sayımının yapıldığı yıl,

N_y : Yeni nüfus sayımı (kişi),

N_e : Eski nüfus sayımı (kişi),

t_e : Eski nüfus sayımının yapıldığı yıl,

t_y : Yeni nüfus sayımının yapıldığı yıl,

K : Nüfusun doyum değeri,

k_d : Azalan hızlı artış katsayısıdır.

2.5.2.5 UNDP Yaklaşımı

UNDP çerçevesinde çeşitli sosyo-ekonomik faktörler değerlendirilerek, ülkelerin 2010-2100 yılları arasındaki ortalama nüfus artış hızları tahminleri beşer yıllık dönemler halinde hesaplanmıştır. Bu nüfus artış hızı tahminleri yüksek hızlı artış, orta hızlı artış ve düşük hızlı

artış olmak üzere 3 değişik senaryo halinde Birleşmiş Milletler Nüfus Birimi tarafından yayınlanmıştır. Türkiye için öngörülen nüfus artış hızları aşağıdaki Tablo 2.7’de gösterilmektedir (Balıkesir Entegre Katı Atık Yönetim Planı, 2016).

Tablo 2.7: UNDP içinde öngörülen Türkiye’nin nüfus artış hızı oranları (Balıkesir Entegre Katı Atık Yönetim Planı, 2016)

Yıllar	Yüksek Hızlı	Orta Hızlı	Düşük Hızlı
2010 - 2015	% 1,421	% 1,224	% 1,025
2015 - 2020	% 1,214	% 0,922	% 0,620
2020 - 2025	% 1,166	% 0,830	% 0,471
2025 - 2030	% 1,041	% 0,730	% 0,388
2030 - 2035	% 0,926	% 0,616	% 0,275
2035 - 2040	% 0,842	% 0,493	% 0,123
2040 - 2045	% 0,783	% 0,366	% -0,058
2045 - 2050	% 0,721	% 0,241	% -0,241
2050 - 2055	% 0,644	% 0,128	% -0,400

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Balıkesir İli Tanıtımı

3.1.1 Coğrafi Yapı

Balıkesir ili Anadolu'nun kuzeybatısında yer almaktadır. Büyük bir kısmı Güney Marmara'da bulunurken, Marmara ve Ege Bölgesi'nde de toprakları yer almaktadır. Doğusunda Bursa ve Kütahya; güneyinde İzmir ve Manisa; batısında Ege Denizi ve Çanakkale ve kuzeyinde Marmara Denizi bulunmaktadır. Çanakkale ile birlikte TR22 Güney Marmara Bölgesi'ni oluşturmaktadır.

İlin yüzölçümü 14.456 km² olup 39 06" ve 40 39" kuzey enlemleri ile 26 39" ve 28 58" doğu boylamları arasında bulunmaktadır. İlin kuzey ve güney en uç noktaları arasındaki mesafe 175 kilometre, doğu ve batı arasındaki mesafe 210 kilometredir. Şehir merkezinin rakımı 130 metredir.

İki denize de kıyısı olan Balıkesir kıyı turizmi, tarih ve kültür turizmi, termal turizm ve ekoturizm bakımından pek çok potansiyeli barındırmaktadır. 290,5 km'lik kıyı bandınının 115,5 km'si Ege Denizi'nde, 175 km'si Marmara Denizi'ndedir. Ege Denizi'ndeki kıyıları (Ayvalık: 54 km, Gömeç: 17,5 km, Burhaniye: 12 km, Edremit: 32 km); Marmara Denizi'ndeki kıyıları ise (Gönen: 8 km, Erdek: 34.75 km, Marmara:72.5 km, Bandırma: 60 km) uzunluğundadır.

Balıkesir'in, Ege Denizi'nde Ayvalık Adaları olarak bilinen 22 adası, Marmara Denizi'nde de Marmara Adaları olarak bilinen adaları vardır. Marmara İlçesi sınırları içinde; Marmara, Türkeli (Avşa), Etkinlik ve Paşalimanı adaları; Ayvalık İlçesi sınırları içinde de Alibey (Cunda), Hasır, Küçük ve Büyük Maden adaları yer alır. Ayrıca Ayvalık'taki Şeytan Sofrası ve Erdek ilçesi sınırlarındaki Kapıdağ Adası çiftli tombolo ile karaya bağlanarak birer yarımada dönmüş durumdadır. Alibey ve Patrik adaları da tombolo ile birleşerek bugün Alibey adası olarak anılan önemli bir doğa güzelliğini oluşturmaktadır.

Balıkesir'in fazla engebeli olmayan toprakları büyük ölçüde dalgalı düzlüklerden oluşur. Güneydoğu ve güneybatı kesimleri daha dağlıktır, ancak 2.000 metreye ulaşmaz. Güney doğusundaki Alaçam 1.652 metre, Ulus 1.769 metre, güney batısındaki Kaz dağlarının il sınırları içinde kalan bölümündeki Karataş tepesi 1.774 metredir.

Ovalar il alanı içinde daha az yer tutar. Bitkisel üretim açısından büyük önem taşıyan bu alçak düzlüklerden başlıcaları Balıkesir, Manyas, Gönen, Edremit, Sındırgı ve Bigadiç ovalarıdır. Çok verimli olan bu ovaların denizden yükseklikleri 10 – 220 metre arasındadır.

Balıkesir topraklarından çıkan sular hem Ege Denizi'ne, hem de Marmara Denizi'ne dökülür. Bunlardan en önemlileri Edremit Körfezi'nde Ege Denizi'ne dökülen Havran Çayı ve Marmara Denizi'ne dökülen Gönen Çayı ile Susurluk Çayı'dır. Koca Çay, Simav Çayı, Atnos Çayı, Üzümcü Çayı ve Kille Deresi ildeki diğer akarsulardır.

Balıkesir'deki başlıca doğal göl, bazı kaynaklarda Kuş Gölü adıyla geçen Manyas Gölü'dür. Yapay göller ise Gönen, İkizcetepeler, Çaygören ve Sarıbeyler baraj gölleridir.

İlin toplam yüzölçümü (göller dahil) 1.447.300 hektar olup, bunun 431.129 hektarı tarım alanı (% 29,8), 81.006 hektarı ise çayır mera (% 5,60) alanıdır. Ormanlar, ilin topraklarının % 47'sini kaplamaktadır (TR22 Güney Marmara Bölge Planı Taslağı 2014-2023, 2013).

Balıkesir il haritası Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



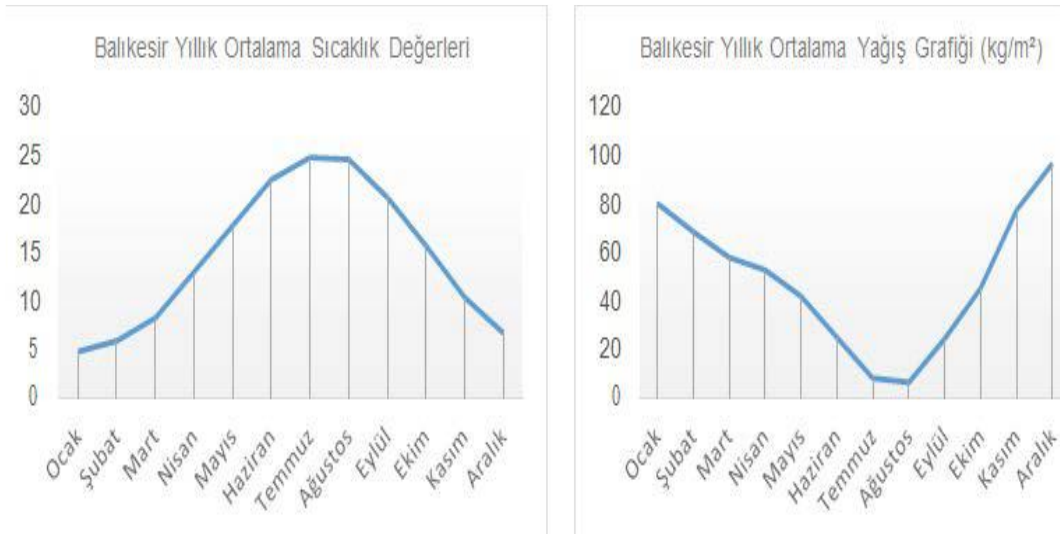
Şekil 3.1: Balıkesir il haritası

3.1.2 İklim ve Bitki Örtüsü

Hem Ege Denizi'ne hem de Marmara Denizi'ne kıyısı olan Balıkesir ve ilçelerinde yazları sıcak ve kurak, kışları ise ılık ve yağışlı geçer. Yörede, genellikle Akdeniz iklimi hüküm

sürmekte ise de bu iklim karakteristiğine daha çok Ege kıyılarında rastlanmaktadır. Kıyı kesimlerde yaz ve kış ayları arasındaki sıcaklık farkı azdır.

İç kesimlerde karasal iklimin etkisi görülür, yazlar sıcak ve kurak, kışlar soğuk ve kar yağışlı geçer. Kışın Ege kıyılarının alçak kesimleri fazla soğuk olmazken Marmara kıyılarında Balkanlar'dan gelen soğuk baskınları etkili olur. Yıllık ortalama sıcaklığı 14,3 °C olan Balıkesir'de bugüne değin ölçülen en düşük hava sıcaklığı -18,8 °C (15 Şubat 2004), en yüksek hava sıcaklığı ise 43,7 °C (13 Ocak 1954) olarak kayıtlara geçmiştir. Balıkesir'de yağışların %45'lik bir kısmı kış aylarında, %5'lik kısmı ise yaz aylarında olmaktadır. Rüzgâr hızınının 10,8 ile 17,1 m/sn arasında olduğu günler yılda toplam 57 gündür. Yıllık ortalama rüzgâr hızı en fazla 4,0 m/sn ile Bandırma'dadır. Nisbi nem rasatları bütün büyük ve küçük klima istasyonlarında yapılmaktadır. Balıkesir'in yıllık ortalama nisbi nem değeri % 71,3'tür. Balıkesir'in 2016 yılına kadar 30 yıllık ortalama sıcaklık ve yağış değerlerini gösteren grafik Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2: Balıkesir yıllık ortalama sıcaklık ve yağış değerleri, 2016 (Balıkesir Entegre Katı Atık Yönetim Planı, 2016)

3.1.3 Nüfus

2020 yılı verilerine göre Balıkesir il nüfusu toplam 1.240.285 kişidir. İlçe bazlı olarak nüfus sayıları incelendiğinde özellikle 1990'lı yıllardan itibaren Karesi ve Altıeylül ilçelerini kapsayan merkez nüfusu ile Bandırma, Edremit, Ayvalık gibi denize kıyısı olan ilçelerin nüfusu artış göstermekte, buna karşılık Balya, Kepsut, Dursunbey, Savaştepe ve Sındırgı gibi ilçelerin nüfusu ise azalmaktadır. İlçelerin yıllara göre nüfus durumu Tablo 3.1'de verilmektedir (www.tuik.gov.tr).

Tablo 3.1: Yıllara göre nüfus durumu

İlçeler	1965	1970	1975	1980	1985	1990	2000	2014	2018
Merkez	136.694	153.996	169.932	195.899	222.589	245.651	287.709	-	-
Altıeylül	-	-	-	-	-	-	-	172.023	181.209
Ayvalık	30.213	31.957	33.104	34.543	38.879	46.827	58.738	69.880	71.063
Balya	26.333	26.355	25.577	24.814	23.815	21.781	18.869	13.912	13.141
Bandırma	55.967	62.853	69.680	80.951	93.358	102.300	120.753	145.089	154.359
Bigadiç	37.740	40.483	42.595	46.936	49.865	50.728	49.957	48.470	49.887
Burhaniye	33.061	34.396	34.303	38.620	39.670	33.706	43.199	57.554	60.799
Dursunbey	45.472	47.302	50.147	52.264	52.723	52.230	47.429	39.411	35.875
Edremit	40.186	42.152	43.670	46.185	52.160	63.430	93.351	140.161	154.487
Erdek	23.894	24.594	26.401	28.294	30.290	26.547	32.020	34.676	32.963
Gömeç	-	-	-	-	-	11.020	10.938	13.431	13.894
Gönen	55.982	56.586	58.858	61.811	63.562	67.599	71.804	73.095	73.829
Havran	22.683	23.775	24.060	24.872	26.318	25.711	26.782	27.876	27.741
İvrindi	29.472	32.559	33.120	35.760	36.652	37.181	37.891	34.207	32.758
Karesi	-	-	-	-	-	-	-	170.776	181.013
Kepsut	30.991	32.275	32.290	33.109	32.145	30.138	28.022	24.180	23.123
Manyas	31.933	30.316	29.843	30.067	29.021	29.310	25.148	20.477	19.339
Marmara	-	-	-	-	-	9.792	9.446	9.456	9.870
Savaştepe	20.689	22.246	23.135	22.885	23.585	24.337	23.355	18.863	18.243
Sındırgı	47.269	47.873	51.465	53.058	52.223	52.004	47.784	35.591	33.924
Susurluk	39.763	39.951	41.075	43.109	43.427	43.022	43.107	39.929	39.058
Toplam	708.342	749.669	789.255	853.177	910.282	973.134	1.076.347	1.189.057	1.226.575

3.1.4 Sosyo-Ekonomik Yapı

6360 sayılı “On Dört İlde Büyükşehir Belediyesi ve Yirmi Yedi İlçe Kurulması ile Bazı Kanun ve Kanun Hükmünde Kararnamelerde Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun” ile birlikte 31 Mart 2014 tarihi itibari ile Balıkesir ili büyükşehir olmuştur. İdari yapılanmaya göre ilçe sayısı 20 ve belediye sayısı da 20 olarak belirlenmiştir. Balıkesir Üniversitesi ve Bandırma 17 Eylül Üniversitesi olmak üzere 2 adet üniversite mevcuttur.

Balıkesir ili Büyükşehir statüsünde olduğundan nüfusun tamamının şehirlerde yaşadığı kabul edilmektedir. Güncel bilgilere göre sanayi iş kolunda çalışanların toplam istihdama oranı %19,3 olarak tespit edilmiş olup bu oran Türkiye ortalamasının altındadır. Tarım kolunda çalışanların toplam istihdama oranı ise %36,3 olarak tespit edilmiş olup bu oran Türkiye ortalamasının üstündedir.

Bölgenin geçim kaynakları genelde tarıma dayalıdır. Körfez bölgesinin yapısı itibarıyla zeytincilik oldukça etkindir. Bunun yanısıra tahıl ürünleri, nohut, şeker pancarı, domates, karpuz, mandalina, üzüm ve benzeri ürünler ekonomideki yerlerini almışlardır. İlde zeytinyağı ve çiçekyağı üretiminin yanı sıra kurulan salça fabrikaları, un ve yem sanayileri de ihracata yönelik olarak ekonomiye doğrudan katkıda bulunmaktadır.

İlin sanayi yapısı gelişmeye başlamıştır. Ağır sanayi bölgesi, küçük sanayi sitesi ve organize sanayi sitesi bu gelişmeye örnektir.

Balıkesir’de turizm alanında büyük gelişmeler olmuştur. Başlıca turizm merkezleri; Altınoluk, Ayvalık, Edremit, Akçay, Burhaniye, Ören ve Erdek’tir.

Türkiye’de yıllar itibarıyla önemi artan rüzgar enerjisi üretiminde Balıkesir ili coğrafi konumu nedeniyle büyük paya sahiptir. Türkiye’nin en büyük rüzgar enerji santrali Balıkesir ilinde 2013 yılında faaliyete geçmiştir. Balıkesir merkez, Bandırma ve Susurluk rüzgar enerji santralleri olan başlıca ilçelerdir.

Balıkesir tarım, hayvancılık ve turizm ili olarak bilinmesine rağmen antik dönemden günümüze kadar madencilik faaliyetlerinin de yoğun olarak yapıldığı bir yöredir. Yurdumuzun önemli metalojenik yörelerinden biri olan Kuzeybatı Anadolu Bölgesi’nde yer alan Balıkesir ili, metalik cevherleşmeler, enerji ham maddeleri ve özellikle endüstriyel hammadde kaynakları yönünden ülkemizin madencilik sektöründe ve dış ticaretinde önemli yer tutan yataklara sahiptir.

Her yıl yayınlanan Türkiye’nin İlk 500 Sanayi Kuruluşları içerisinde Balıkesir’den 6 firma yer almıştır. İl, bor madenleri bakımından oldukça zengindir. Dünya’daki bor rezervlerinin %60’na tekabül eden Türkiye bor madenlerinin bir kısmı Bigadiç ilçesindedir. Marmara

Adası'nda mermer ocakları vardır. Balya'da kurşun rezervi, Edremit'te ise demir rezervi bulunmaktadır (Balıkesir Kent Portalı, 2020).

3.1.5 Belediye Atığı Verileri

Balıkesir Katı Atık Yönetim Projesi kapsamında yer alan Balıkesir Katı Atık Düzenli Depolama Sahası Avrupa Birliği tarafından finanse edilmiş ve Avrupa Birliği Yatırımları Dairesi Başkanlığı tarafından hibelenmiştir. Yaklaşık olarak 2,7 milyon ton atık kapasiteli sahanın yapımına 04 Kasım 2012 tarihinde başlanmış, 17 Mayıs 2014 tarihinde yapımı tamamlanmış ve 14 Temmuz 2014 tarihinde saha faaliyete alınmıştır. Bu projenin amacı ilk etapta Balıkesir merkezi ile onu çevreleyen Altıeylül, Bigadiç, İvrindi, Karesi, Kepsut, Savaştepe ve Susurluk ilçeleri olmak üzere 7 ilçedeki yeraltı suyu, toprak ve hava kirliliğini azaltmak, etkin ve verimli bir katı atık yönetim sistemi kurarak yeniden kullanımı ve geri dönüşümü artırmak olarak belirlenmiştir. 2020 yılında yapımı tamamlanan transfer istasyonları ile birlikte toplam 19 ilçeye hizmet vermeye başlanmıştır. Marmara Adalar ilçesi katı atıklarının düzenli depolanması veya transfer edilmesi ile ilgili olarak çalışmalar devam etmektedir.

2014 yılında; Balıkesir'de toplanan katı atıkların %30'luk kısmı düzenli depolama sahalarında bertaraf edilirken, %70'lik kısmı düzensiz depolama sahalarında bertaraf edilmiştir. 2016 yılından itibaren diğer ilçe belediyelerinin atıklarının da düzenli depolama sahasına getirilmeye başlanması ile birlikte düzenli depolanan atık miktarı artış göstermiştir (Balıkesir Entegre Katı Atık Yönetim Planı, 2016).

2014 yılında ilçe belediyeleri ile gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda Balıkesir il geneli atık toplama veriminin %97 olduğu tespit edilmiştir. 2018 yılında Balıkesir ili nüfusunun %98'inin atıklarının düzenli depolama yöntemi kullanılarak uzaklaştırıldığı belirlenmiştir (Yılmaz, 2019).

2014 yılı içerisinde Balıkesir ili düzenli depolama sahasına günlük 445 ton atık, düzensiz depolama sahalarına ise kış dönemi günlük 652 ton ve yaz dönemi günlük 2.157 ton atık depolanmıştır. 2018 yılı kantar verilerine göre atık bertaraf sahasına kışın 900 ton/gün atık ve yazın 1.200 ton/gün atık depolanmıştır (Yılmaz, 2019).

Balıkesir iline ait yirmi ilçede yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen 2014 yılına ait atık verileri Tablo 3.2’de verilmiştir (Balıkesir Entegre Katı Atık Yönetim Planı, 2016).

Tablo 3.2: Balıkesir ili 20 ilçedeki atık miktarları

Belediye	Nüfus (kişi)		Atık Miktarı (ton/gün)		Atık Miktarı (ton/yıl)	Atık Miktarı (kg/kişi-gün)	
	Kış	Yaz	Kış	Yaz		Kış	Yaz
Altıeylül	172.023	172.023	160	160	57.600	0,93	0,93
Ayvalık	69.880	400.000	80	450	62.100	1,14	1,13
Balya	6.539	6.539	7	7	2.520	1,07	1,07
Bandırma	145.089	145.089	160	160	57.600	1,10	1,10
Bigadiç	42.654	42.654	30	30	10.800	0,70	0,70
Burhaniye	57.554	350.000	60	300	43.200	1,04	0,86
Dursunbey	35.076	35.076	40	40	14.400	1,14	1,14
Edremit	140.161	750.000	120	600	86.400	0,86	0,80
Erdek	34.676	150.000	30	200	26.100	0,87	1,33
Gömeç	13.431	150.000	15	120	14.850	1,12	0,80
Gönen	73.095	73.095	70	70	25.200	0,96	0,96
Havran	15.053	8.100	15	15	5.400	1,00	1,85
İvrindi	34.207	34.207	20	20	7.200	0,58	0,58
Karesi	170.776	170.776	160	160	57.600	0,94	0,94
Kepsut	17.651	17.651	15	15	5.400	0,85	0,85
Manyas	20.477	20.477	20	20	7.200	0,98	0,98
Marmara	9.456	150.000	10	150	16.200	1,06	1,00
Savaştepe	18.863	18.863	15	15	5.400	0,80	0,80
Sındırgı	28.117	28.117	25	25	9.000	0,89	0,89
Susurluk	39.929	39.929	45	45	16.200	1,13	1,13
Toplam	1.144.706	2.762.595	1.097	2.602	530.370	0,96	0,94

3.2 Balıkesir İli Evsel Katı Atık Yönetimi

3.2.1 Atık Yönetimi Faaliyetleri

5216 sayılı Büyükşehir Belediyesi Kanununa göre büyükşehir belediyeleri “*katı atık yönetim plânını yapmak, yaptırmak; katı atıkların kaynakta toplanması ve aktarma istasyonuna kadar taşınması hariç katı atıkların yeniden değerlendirilmesi, depolanması ve bertaraf edilmesine ilişkin hizmetleri yerine getirmek, bu amaçla tesisler kurmak, kurdurmak, işletmek veya işlettirmek*”le yükümlüdürler. Avrupa Birliği’ne uyum çerçevesinde mevzuatlarda yapılan ve yapılması planlanan değişiklikler ile atık toplama sisteminin veriminin artırılması, kaynakta ayrı toplama ve ikili toplama sisteminin geliştirilmesi ile düzenli depolama sahalarına gelen organik maddelerin miktarının azaltılması ve geri dönüşüm/kazanım sistemlerinin yaygınlaştırılması amaçlanmaktadır.

Balıkesir ilinde evsel atıklar içerisindeki organik atıklarla birlikte herhangi bir geri kazanım işlemine tabi tutulmadan, doğrudan düzenli depolama sahasına gönderilmektedir.

3.2.1.1 Toplama ve Taşıma Sistemi

5216 sayılı Büyükşehir Belediyesi Kanununa göre büyükşehir belediyelerinde bulunan ilçe belediyeleri “*Büyükşehir katı atık yönetim planına uygun olarak, katı atıkları toplamak ve aktarma istasyonuna taşımak*”la yükümlüdürler. Burada atıkların toplanması süreci, atığın üretildiği noktadan toplama araçlarına yüklenmesi ve hedef noktaya taşınarak boşaltılmasını kapsamaktadır. Atık toplama sistemlerinin en büyük maliyet bileşenlerinden biri atıkların toplanması ve taşınması işlemleridir. Sistemi başarılı kılacak en önemli unsurlardan biri atık toplama işlemindeki yüksek verimliliklerdir.

Balıkesir’de kış döneminde en çok atık toplayan belediyeler; günlük ortalama 160 ton olmak üzere Altıeylül, Karesi ve Bandırma belediyeleridir. En az atık toplayan belediye ise günlük 7 ton atıkla Balya belediyesidir. Yaz dönemi en çok atık toplanan belediyeler; günlük 600 ton olmak üzere Edremit, günlük 450 ton olmak üzere Ayvalık ve günlük 300 ton olmak üzere Burhaniye belediyeleridir (Balıkesir Entegre Katı Atık Yönetim Planı, 2016).

Balıkesir ili genelinde evsel atık toplama sıklığı mevsime göre değişkenlik göstermektedir. Özellikle yaz aylarında turizmden kaynaklı olarak nüfusun artması sebebiyle merkezlerde günlük atık toplama işlemi yapılmaktadır. Kış aylarında ise atık miktarının azalması nedeni

ile araç tur sayıları azalmaktadır. Kırsal mahallelerde ise günlük veya haftalık şekilde atık toplama işlemi gerçekleştirilmektedir.

20 ilçede evsel atıklar, yaz aylarında hacimleri 7-10 m³ arasındaki 127 adet atık toplama kamyonu ile ve hacimleri 10 m³'ten büyük 54 adet atık toplama kamyonu ile toplanmaktadır. Kış aylarında ise hacimleri 7-10 m³ arasındaki 106 adet atık toplama kamyonu ile ve hacimleri 10 m³'ten büyük 54 adet atık toplama kamyonu ile toplanmaktadır (Balıkesir Entegre Katı Atık Yönetim Planı, 2016).

Balıkesir il geneli toplama ve taşıma sistemine ait araç tipleri ve sayıları, atık biriktirme konteyner tipleri ve sayıları ve atık toplama periyoduna yönelik veriler Tablo 3.3'de gösterilmiştir (Balıkesir Entegre Katı Atık Yönetim Planı, 2016).

Tablo 3.3: Evsel Atık Toplama ve Taşıma Sistemi

İlçe	Araç Sayısı		Konteyner Sayısı		Toplama Periyodu (şehir merkezi)		Toplama Periyodu (kırsal)	
	Kış	Yaz	Kış	Yaz	Kış	Yaz	Kış	Yaz
Altıeylül	9	15	3000	7000	2/7	2/7	1/7	1/7
Ayvalık	10	12	7940	7940	7	7	1/7	3/7
Balya	3	3	820	820	7	7	1/7	1/7
Bandırma	18	18	5000	5000	6/7	6/7	1/7	1/7
Bigadiç	10	10	3260	3260	6/7	6/7	1/7	1/7
Burhaniye	9	9	5821	6036	2/7	4/7	1/7	1/7
Dursunbey	6	6	907	907	7	7	1/7	1/7
Edremit	29	29	9000	9000	7	7	7/7	7
Erdek	12	12	1440	1440	7	7	3/7	7
Gömeç	3	7	600	1000	7	7	2/7	2/7
Gönen	11	11	3932	3932	7	7	1/7	1/7
Havran	5	5	1400	1400	7	7	2/7	2/7
İvrindi	3	3	1648	1648	7	7	1/7	1/7
Karesi	11	11	6575	6575	2/7	2/7	1/7	1/7
Kepsut	6	6	440	440	7	7	1/7	2/7
Manyas	6	6	1305	1305	7	7	1/7	1/7
Marmara	3	6	750	750	7	7		
Savaştepe	5	5	846	846	7	7	7/7	7
Sındırgı	4	4	1000	1000	7	7	1/7	2/7
Susurluk	6	6	2508	2508	7	7	2/7	2/7
Toplam	169	184	58.192	62.807				

3.2.1.2 Aktarma İstasyonları

Katı atıkların taşınması işleminin ekonomik olmasını sağlamak ve taşıma hattındaki trafik yükünü azaltmak için atık toplama alanları ve bertaraf sahaları arasında yer alan uygun noktalara katı atık transfer istasyonları kurulabilir. Küçük hacimli araçlarla toplanan katı atıkların bu istasyonlarda daha büyük hacimli araçlara aktarılarak, bu araçlarla atık işleme veya deponi sahalarına taşınması sağlanır. Aktarma direkt taşıma aracına yapılabileceği gibi, bir ara depoya boşaltıldıktan sonra, yeni araca doldurmak şeklinde, dolaylı olarak da gerçekleştirilebilir. Aktarma istasyonları ilk yatırım maliyeti ve büyük hacimli araçların kullanılması sebebi ile sisteme başlangıçta fazladan maliyet yüklesede atık taşınması için

gereken sefer sayılarını düşürerek taşıma maliyetlerini azaltması ve verimliliği artırması sebebi ile uzun vadede avantajlı olmaktadır. Coğrafi şartlardan ötürü bazı durumlarda aktarma istasyonlarının kurulması zorunluluk halini almaktadır.

Balıkesir ilinde 6 adet atık transfer istasyonu bulunmaktadır. Bigadiç atık transfer istasyonuna Bigadiç ve Sındırgı belediyeleri, Susurluk atık transfer istasyonuna Manyas ve Susurluk belediyeleri, Bandırma atık transfer istasyonuna Bandırma, Erdek ve Gönen belediyeleri, Ayvalık atık transfer istasyonuna Ayvalık ve Gömeç belediyeleri, Havran atık transfer istasyonuna Edremit, Havran, Burhaniye belediyeleri, Dursunbey atık transfer istasyonuna Dursunbey ilçesi atıkları taşınmaktadır. Susurluk transfer istasyonuna ve bunkere ait görseller Şekil 3.3 ve Şekil 3.4’de gösterilmiştir.

Karesi, Altıeylül, Kepsut, Savaştepe, İvrindi ve Balya belediyeleri katı atıklarını kendileri atık bertaraf sahasına getirmektedir.



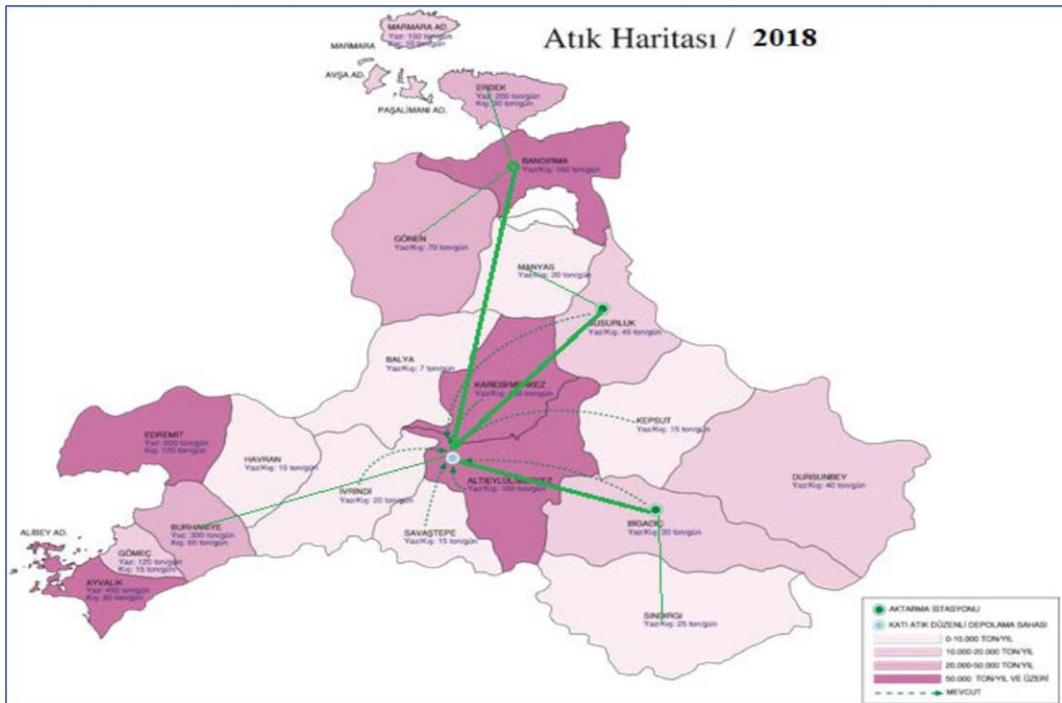
Şekil 3.3: Susurluk transfer istasyonu



Şekil 3.4: Susurluk transfer istasyonu bunkeri

3.2.1.3 Düzenli Depolama Sahaları

Balıkesir ili düzenli depolama sahası Altıeylül ilçe sınırları içerisinde Gökköy mevkinin hemen yanında 8,9 hektarlık alan üzerine inşa edilmiştir. Mevcut kullanılan lotun depolama hacmi 1,3 milyon m³ ve kullanım süresi 7 yıldır. Şekil 3.5’de atık transfer edilen noktalar gösterilmiştir. Sahaya ortalama olarak günlük 900 ton atık kabul edilmektedir.



Şekil 3.5: Katı atık düzenli depolama sahasının yeri ve hizmet verilen ilçeler

Balıkesir ili düzenli depolama sahasının mevcut konumu ve görüntüsü Şekil 3.6 ve Şekil 3.7’de gösterilmiştir.



Şekil 3.6: Balıkesir düzenli depolama sahasının mevcut konumu ve durumu



Şekil 3.7: Balıkesir düzenli depolama sahası görünümü

3.2.1.4 Düzensiz Depolama Sahaları

2018 yılında aktarma istasyonlarının kurulması ile Balıkesir nüfusunun %98'inin atıkları düzenli depolama yöntemi ile bertaraf edilmeye başlanmıştır. Geri kalan %2'lik nüfusun atıkları ise düzensiz olarak bertaraf edilmektedir.

3.2.2 Seçilen Nüfus Projeksiyonu

Balıkesir ili 2020 yılı adrese dayalı nüfus kayıt sistemi verilerine göre 1.240.285 kişilik nüfusuyla Türkiye'nin en büyük 17. Kentidir.

Balıkesir ili aldığı göçler, sanayisinin gelişmesi ve özellikle yaz turizminin potansiyelinin keşfedilmesi ile nüfus artışı yaşamıştır. TÜİK tahminlerine göre 2023 yılında Balıkesir nüfusunun 1.256.873 kişi olması beklenmektedir. Fakat bazı ilçelerin nüfusunun hızlı artış göstermesi ve bazı ilçelerin ise göç verme durumları göz önünde bulundurulduğunda nüfus projeksiyonu yapılırken geometrik artış yönteminin hesaplamalarda yüksek değerlerde kaldığı ve gerçek değerleri yansıtmaktan uzak olduğu görülmüştür. Bunun yanında TÜİK'in gelecek 35 yıl projeksiyonu değerlendirildiğinde nüfus tahminlerinin UNDP düşük değerlerinin altında kaldığı gözlenmiştir. Ayrıca yaz turizminin yoğunluğu düşünüldüğünde doğru atık verileri öngörebilmek için yapılacak nüfus projeksiyonu çalışmasının yılın 9 ayını içeren kış dönemi ve 3 ayını içeren yaz dönemi için ayrı ayrı yapılması gerektiği saptanmıştır. Tüm bunlara göre Balıkesir ili nüfus projeksiyonu çalışmasında kış dönemi için UNDP orta büyüme senaryosu ve yaz dönemi için UNDP düşük büyüme senaryosu değerleri kullanılmıştır.

3.2.3 Evsel Katı Atık Projeksiyonu

Üretilen toplam atık miktarının toplam nüfusa bölünmesi ile kişi başına üretilen ortalama atık miktarı hesaplanmaktadır. Bu çalışmada Balıkesir Entegre Katı Atık Yönetim Planı içerisinde yer alan anket çalışmaları, düzenli depolama sahası ve transfer istasyonları kantar verileri, AB uyum süreçleri için hazırlanmış olan Yüksek Maliyetli Çevre Yatırım Planlaması (EHCIP) ve Katı Atık Ana Planı (KAAP) sonuçları da gözönünde bulundurulmuştur.

Balıkesir ilinin 2019 yılı atık verilerine göre kişi başı üretilen atık miktarının kış dönemi için 0,96 kg/kişi-gün, yaz dönemi için 0,94 kg/kişi-gün olduğu görülmüş ve bu veriler üzerinden projeksiyon çalışması yapılmıştır.

Kişi başı üretilen atık miktarlarının projeksiyonunda ise EHCIP ve KAAP değerlerinden faydalanılarak atık üretiminin geometrik olarak yıllık %1,2 oranında artacağı kabul edilmiştir.

3.2.4 Evsel Katı Atıkların Karakterizasyonun Belirlenmesi

Atık karakterizasyonu atık yönetiminin temelini oluşturmaktadır. Atığın kompozisyonu uygulanacak atık yönetim sisteminin seçilmesi için en önemli parametrelerden biridir.

Atık karakterizasyon çalışmasının yapılabilmesi için yeterli miktarda ve temsil edici özellikte numune alınması gereklidir. Analiz edilecek atıklar farklı ortamlarda ve farklı fiziksel koşullarda yer almaktadır. Katı atıklar çoğunlukla homojen olmayan içeriklere sahiptir ve farklı formlarda bulunmaktadır. Bu sebeple temsil edici numune almak dikkatli olunması gereken ve iyi planlanmış bir süreç oluşturmayı gerektirmektedir (Balıkesir Entegre Katı Atık Yönetim Planı, 2016).

Balıkesir ili kış ve yaz dönemlerine ait kentsel katı atık karakterizasyonu belirlenmiştir. Karakterizasyon çalışmasında numune alımı yapılırken bölgelendirme prensibi göz önünde bulundurulmuştur. Özellikle sosyo-ekonomik yapı, kentsel yapı ve toplama sistemi gibi parametreler değerlendirilmiştir. Numune alımlarında hafta sonu ve hafta içi ayrı olarak değerlendirilmiştir.

Öncelikle numunelerin alınacağı bölgeler tespit edilmiş ve belirlenen çalışma programına göre numune alacak araçlar sahaya gönderilmiştir. Araçlardan atığın toplandığı bölge ve atık miktarı ile ilgili bilgiler alınarak kaydedilmiştir. Seçilen bölgelerden gelen atık toplama araçları, herhangi bir karışıklık yaratmamak için farklı noktalara döküm yapmışlardır. Daha sonra atık yığınları serilmiş ve her bölgeden numune alımı için uygun hale getirilmiştir. Araçlardaki atıkların tamamı numune alınmak üzere boşaltılmış ve karıştırılmıştır. Temsil edici şekilde numune alımı, karıştırılarak homojen hale getirilen atığın farklı yerlerinden kürek kullanmak suretiyle yapılmıştır. Karakterizasyon numunesi alımında üstü açık, demirden imal edilmiş, sızma ve akmaya karşı önlemliler, taşıma sapları bulunan 0,5 m³'lük numune ölçek kabı kullanılmıştır. Numune alımında ölçek kabı boşluk kalmayacak şekilde sıkıştırma yapmaksızın doldurulmuştur. Karakterizasyon yapılmak üzere alınan numunelerin karıştırılmaması için, üstlerine numune kodlarının yazıldığı levhalar yerleştirilmiştir. Çalışmanın yapılacağı zemin düz ve geçirimsiz bir zemindir. Madde grup sınıflandırma işlemi hava şartları ve çalışma zeminin uygunluğu nedeniyle açık alanda yapılmıştır. Her bir madde grubu için ayrı numune kovası temin edilmiş ayrılan madde grupları o numune kovalarına konulmuştur. Çalışmanın öncesinde numune kovalarının

daraları ölçülmüştür. Ayırma işleminde atıklar Tablo 3.4’de belirtildiği gibi 14 farklı kategoride değerlendirilmiştir.

Tablo 3.4: Atık karakterizasyonu madde grupları

No	Malzemeler	Açıklama
1	Mutfak ve park-bahçe atıkları	Yemek artıkları, sebze, meyve, park-bahçe atıkları
2	Poşet	Alışveriş poşetleri
3	Kağıt-karton	Her türlü kâğıt- oluklu-oluksuz karton
4	Kompozit	Süt kutusu, meyve suyu kutusu
5	Plastik	Pet harici her türlü plastik türevi atık
6	Pet	Su ve meşrubat şişeleri
7	Cam	Her türlü cam
8	Metal	Her türlü metal
9	Elektronik atık	Cep telefonu, radyo, televizyon vb.
10	Tehlikeli atık	Pil, boya kutusu, deterjan kutusu, tıbbi atıklar vb.
11	Çocuk bezi	Çocuk bezi
12	Tekstil	Çeşitli tekstil malzemeleri
13	Diğer yanabilir	Ayakkabı, halı, köpük, tahta
14	Diğer yanmayan	Taş, toz, kum, seramik, kül

Tablo 3.5’de yaz dönemi karakterizasyon çalışmalarının numune alım bilgileri yer almaktadır. Tablo 3.6’da kış dönemi karakterizasyon çalışmalarının numune alım bilgileri yer almaktadır.

Tablo 3.5: Yaz dönemi karakterizasyon çalışması numune alım bilgileri

No	Alım Zamanı	Alındığı Yer	Belediye
1	Hafta içi	Düşük	Gönen
2	Hafta içi	Ticari	Bandırma
3	Hafta içi	Yüksek	Altıeylül
4	Hafta içi	Düşük	Karesi
5	Hafta içi	Ticari	Karesi
6	Hafta içi	Orta	Bigadiç
7	Hafta içi	Yüksek	Ayvalık

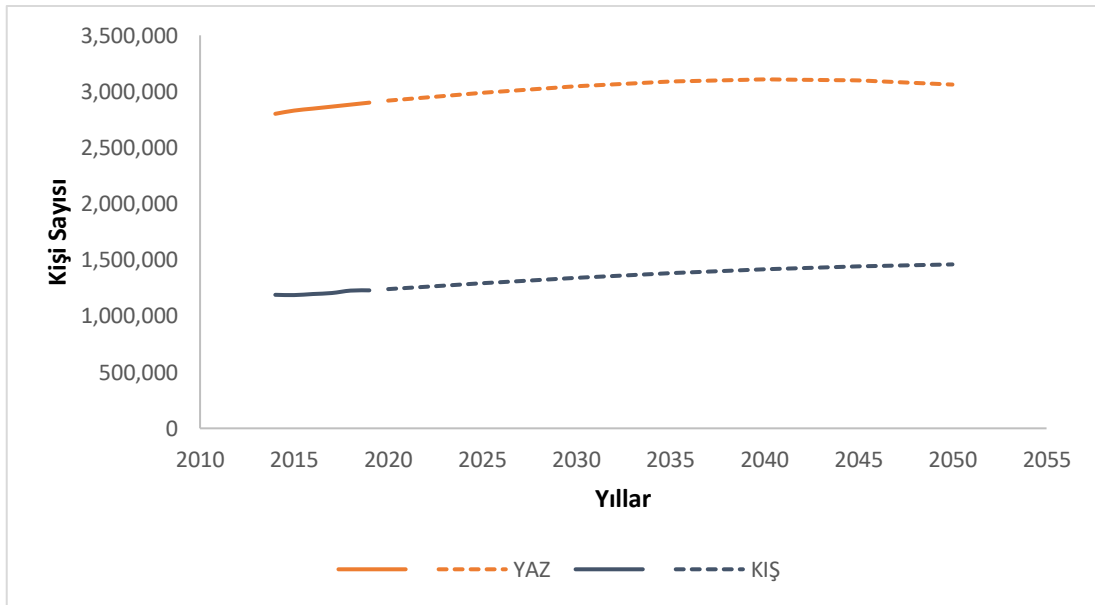
Tablo 3.6: Kış dönemi karakterizasyon çalışması numune alım bilgileri

No	Alım Zamanı	Alındığı Yer	Belediye
1	Hafta sonu	Yüksek	Altıeylül
2	Hafta sonu	Düşük	Bigadiç
3	Hafta sonu	Düşük	Balya
4	Hafta sonu	Orta	Susurluk
5	Hafta sonu	Orta	Havran
6	Hafta sonu	Orta	Erdek
7	Hafta sonu	Düşük	Savaştepe
8	Hafta sonu	Orta	İvrindi
9	Hafta sonu	Ticari-Çarşı	Bandırma
10	Hafta sonu	Yüksek	Gönen
11	Hafta sonu	Orta	Dursunbey
12	Hafta sonu	Ticari-Çarşı	Manyas
13	Hafta sonu	Orta	Kepsut
14	Hafta sonu	Ticari-Çarşı	Karesi
15	Hafta sonu	Ticari-Çarşı	Edremit
16	Hafta sonu	Yüksek	Ayvalık
17	Hafta içi	Ticari-Çarşı	Altıeylül
18	Hafta içi	Düşük	Karesi
19	Hafta içi	Orta	Sındırgı
20	Hafta içi	Yüksek	Bigadiç

4. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

4.1 UNDP Yaklaşımı İle Nüfus Projeksiyonu

Balıkesir ili nüfus projeksiyonu çalışmasında kış dönemi için UNDP orta büyüme senaryosu ve yaz dönemi için UNDP düşük büyüme senaryosu üzerine çalışılmıştır. Yaz turizminin yoğunluğu düşünülerek nüfus projeksiyonu çalışması yılın 9 ayını içeren kış dönemi ve 3 ayını içeren yaz dönemi için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Balıkesir ili nüfus projeksiyonu kış dönemi için UNDP orta büyüme senaryosu ve yaz dönemi için UNDP düşük büyüme senaryosu değerleri kullanılarak hesaplanmıştır. Kış dönemi nüfus projeksiyonu değerleri Tablo A.1’de, yaz dönemi nüfus projeksiyonu değerleri Tablo A.2’de verilmiştir. Nüfus projeksiyonu için kış ve yaz dönemlerini içeren grafik Şekil 4.1’de verilmiştir. Elde edilen verilere göre Balıkesir ili kış nüfusunun 2050 yılına kadar sürekli artış eğilimi göstermesi, yaz nüfusunun ise 2040 yılında doyumluk değerine ulaşması ve bu yıldan itibaren azalma eğilimi göstermesi beklenmektedir.

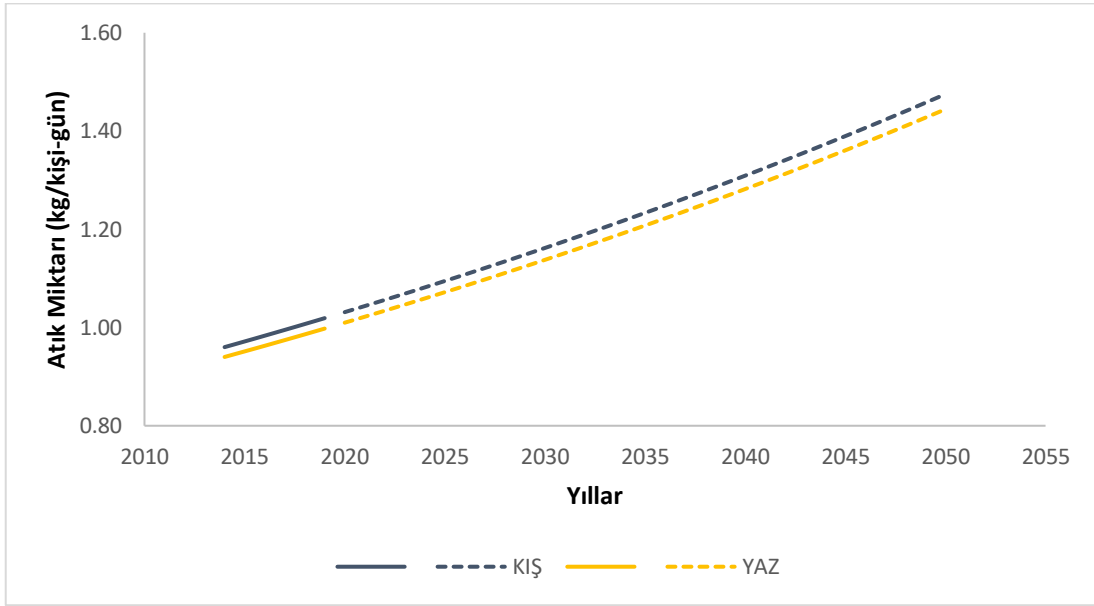


Şekil 4.1: Nüfus projeksiyonu grafiği

4.2 Atık Projeksiyonu

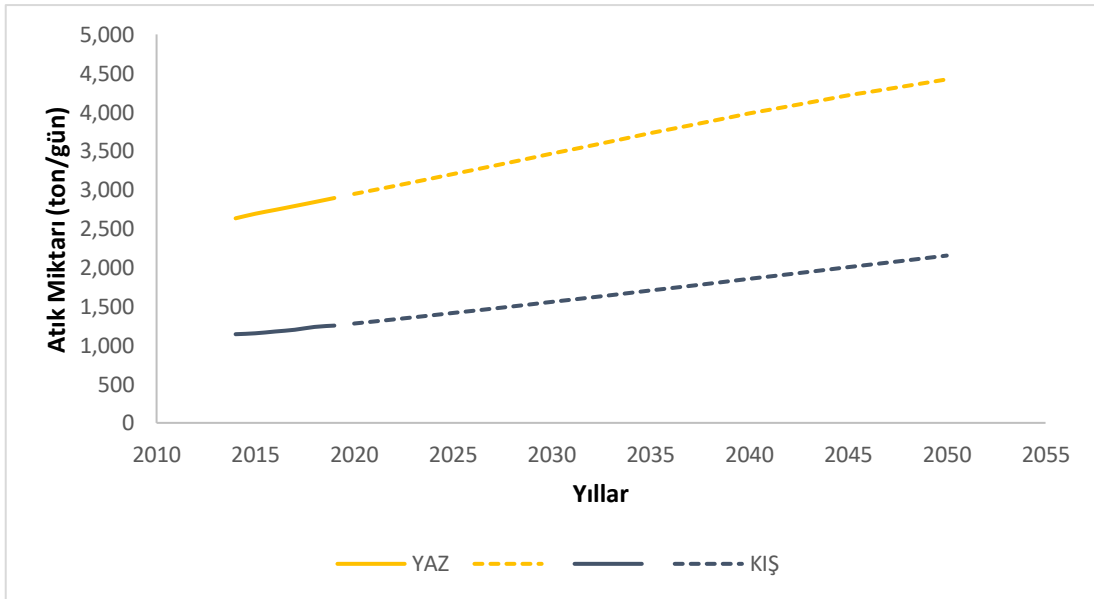
Balıkesir ili atık projeksiyonunun belirlenebilmesi için öncelikle kişi başı üretilen atık miktarının bilinmesi gerekmektedir. Yapılan hesaplamalarda yıllara sari olarak üretilen kişi başı atık miktarının geometrik olarak yıllık %1,2 artacağı kabul edilmiştir. Kişi başı üretilen atık miktarı tahminleri kış dönemi için Tablo A.3’de, yaz dönemi için Tablo A.4’de gösterilmiştir. Kış ve yaz dönemleri için kişi başı üretilen atık miktarlarını gösteren

grafik Şekil 4.2’de verilmiştir. Balıkesir ilinde kişi başı üretilecek atık miktarları 2050 yılına kadar kış ve yaz dönemi için artış eğilimi göstermesi beklenmektedir.



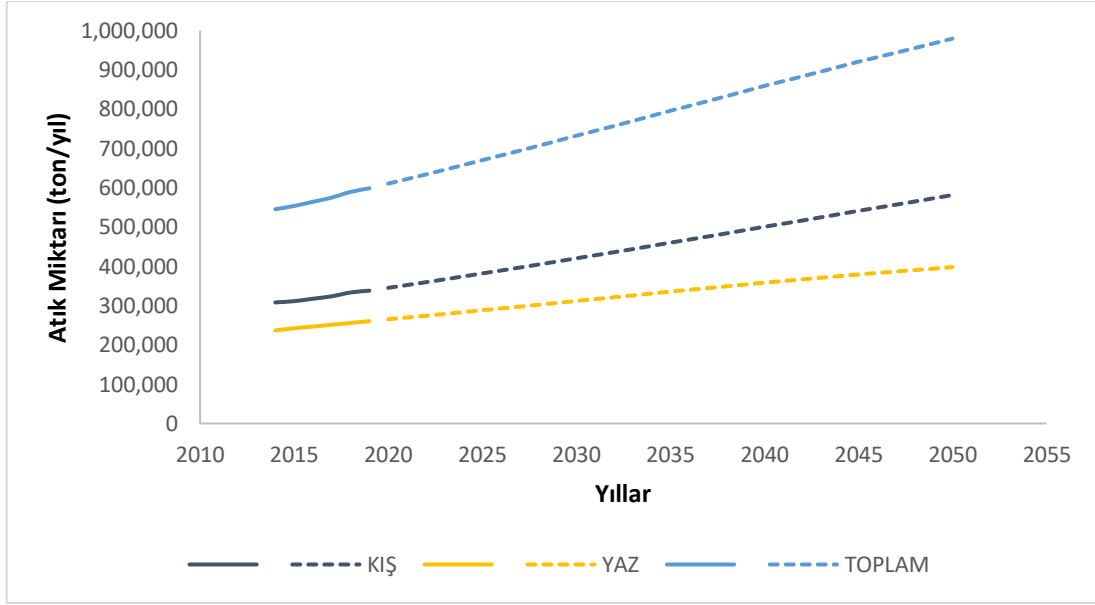
Şekil 4.2: Kişi başı üretilecek atık miktarları

Nüfus projeksiyonunda yer alan değerler ile kişi başı üretilecek atık miktarlarının çarpımı sonucu bulunan atık projeksiyonu değerleri kış dönemi için Tablo A.5’de, yaz dönemi için Tablo A.6’da gösterilmiştir. Kış ve yaz dönemleri için günlük üretilecek atık miktarlarını gösteren grafik Şekil 4.3’de verilmiştir.



Şekil 4.3: Günlük atık üretim miktarları

Nüfus projeksiyonunda yer alan değerler ile kişi başı üretilecek atık miktarlarının çarpımı sonucu bulunan toplam atık projeksiyonu verileri Tablo A.7’de ve bu verileri gösteren grafik Şekil 4.4’de verilmiştir. Balıkesir ilinde yıllık bazda üretilecek atık miktarları 2050 yılına kadar kış dönemi, yaz dönemi ve toplam için artış eğilimi göstermesi beklenmektedir.



Şekil 4.4: Toplam atık projeksiyonu

4.3 Atık Karakterizasyonu

Balıkesir ili için 2016 yılında yapılan çalışma ile yaz ve kış dönemlerine ait kentsel katı atık karakterizasyonu belirlenmiştir. Katı atık karakterizasyonu çalışmalarında madde grup sınıflandırması yapılmış ve atıklar 14 farklı kategoride değerlendirilmiştir. Numune alımı yapılırken bölgelendirme prensibi göz önünde bulundurulmuş, sosyo-ekonomik yapı, kentsel yapı ve toplama sistemi gibi parametreler değerlendirilmiştir. Her bir bölge için alınan farklı numuneler üzerinden yapılan çalışmalar sonucunda atık türlerinin kış ve yaz dönemleri için ağırlıkça ortalama değerleri tespit edilmiş ve elde edilen sonuçlar Tablo 4.1 ve Tablo 4.2’de gösterilmiştir. Kış dönemi için genel ortalama en çok üretilen atık bileşeni %50,40 olmak üzere organik atıklardır. Yaz dönemi için genel ortalama en çok üretilen atık bileşeni %50,52 olmak üzere organik atıklardır.

Tablo 4.1: Atık karakterizasyonu ağırlık yüzdeleri kış dönemi, 2016

Atık Bileşeni	Genel Ortalama	Yüksek Gelir	Orta Gelir	Düşük Gelir	Ticari-Çarşı	Hafta sonu	Hafta içi
Kağıt-karton	9,35	12,17	6,98	4,44	10,34	9,95	7,83
Cam	4,82	5,79	4,22	1,74	5,50	5,46	3,21
Pet	1,56	1,24	1,75	0,61	1,96	1,45	1,85
Poşet	6,81	7,94	7,64	5,95	6,08	7,42	5,27
Plastik	2,42	2,70	1,90	0,97	2,96	2,39	2,50
Metal	0,74	0,65	0,57	0,34	1,00	0,73	0,76
Organik atık	50,40	48,98	54,27	55,13	48,02	49,65	52,29
Elektronik atık	0,35	0,26	0,19	0,84	0,32	0,32	0,43
Tehlikeli atık	0,96	1,52	0,90	0,57	0,78	1,18	0,38
Kompozit	0,84	0,87	1,14	0,70	0,73	0,86	0,78
Tekstil	3,47	2,22	3,64	2,11	4,53	3,30	3,90
Çocuk bezi	4,45	5,51	4,74	7,09	2,90	4,50	4,32
Diğer yanabilir	9,11	7,58	7,27	7,62	11,23	8,81	9,84
Diğer yanmayan	4,72	2,57	4,79	11,90	3,64	3,98	6,64
Toplam	100	100	100	100	100	100	100

Tablo 4.2: Atık karakterizasyonu ağırlık yüzdeleri yaz dönemi, 2016

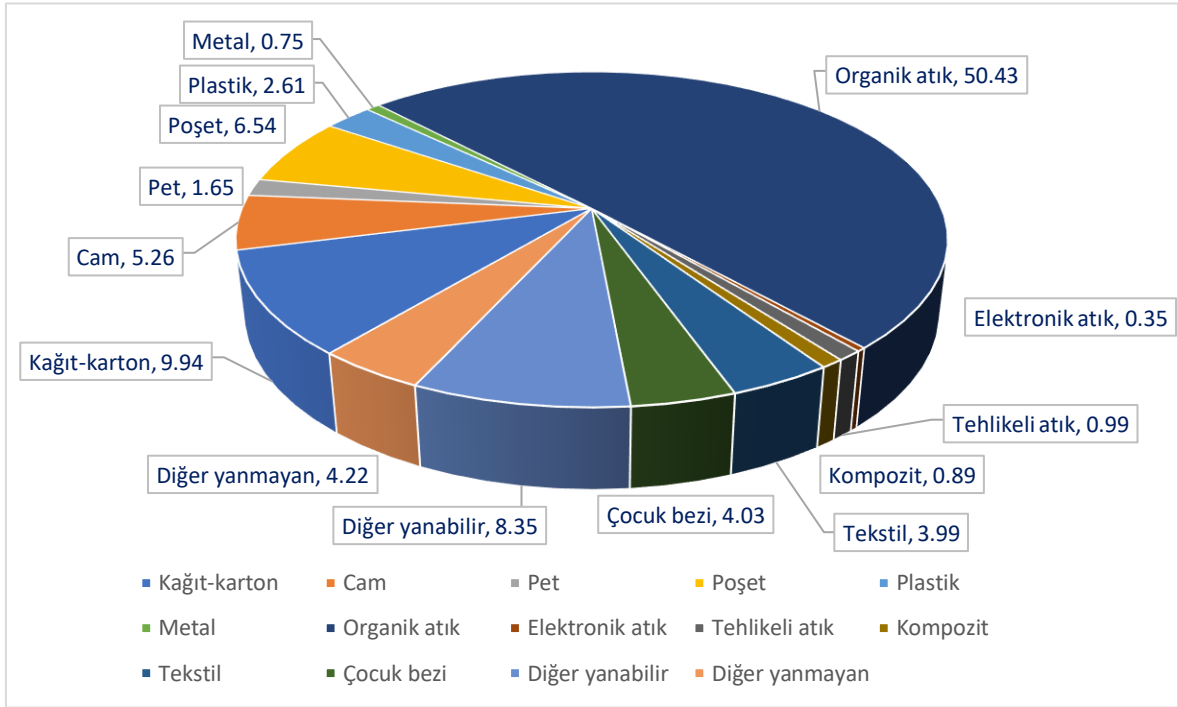
Atık Bileşeni	Genel Ortalama	Yüksek Gelir	Orta Gelir	Düşük Gelir	Ticari-Çarşı	Hafta içi
Kağıt-karton	11,71	12,48	11,75	5,52	15,09	11,71
Cam	6,59	6,39	5,77	4,31	8,85	6,59
Pet	1,94	1,65	1,22	0,95	3,32	1,94
Poşet	5,73	6,07	5,92	7,00	4,10	5,73
Plastik	3,15	3,25	2,73	1,79	4,10	3,15
Metal	0,79	0,30	0,43	0,51	1,92	0,79
Organik atık	50,52	48,88	53,99	54,88	49,62	50,52
Elektronik atık	0,33	0,22	0,31	0,32	0,55	0,33
Tehlikeli atık	1,09	1,49	1,92	0,85	0,43	1,09
Kompozit	1,03	0,99	0,98	0,97	1,16	1,03
Tekstil	5,53	7,73	5,57	6,82	0,54	5,53
Çocuk bezi	2,79	2,08	3,83	6,25	1,24	2,79
Diğer yanabilir	6,08	7,00	3,75	2,75	7,34	6,08
Diğer yanmayan	2,72	1,47	1,83	7,08	1,74	2,72
Toplam	100	100	100	100	100	100

Katı atık karakterizasyon çalışması kapsamında madde grup sınıflandırması ile elde edilen verilerin kış ve yaz dönemleri ortalaması Tablo 4.3’de gösterilmiştir. Genel ortalama da en çok üretilen atık bileşeni %50,43 olmak üzere organik atıklardır.

Tablo 4.3: Atık karakterizasyonu ağırlık yüzdeleri genel ortalama, 2016

Atık Bileşeni	Genel Ortalama	Yüksek Gelir	Orta Gelir	Düşük Gelir	Ticari-Çarşı	Hafta sonu	Hafta içi
Kağıt-karton	9,94	12,25	8,17	4,71	11,53	9,95	8,80
Cam	5,26	5,94	4,61	2,38	6,34	5,46	4,06
Pet	1,65	1,35	1,62	0,69	2,30	1,45	1,87
Poşet	6,54	7,47	7,21	6,22	5,59	7,42	5,39
Plastik	2,61	2,84	2,10	1,17	3,25	2,39	2,66
Metal	0,75	0,56	0,54	0,39	1,23	0,73	0,77
Organik atık	50,43	48,95	54,20	55,06	48,42	49,65	51,85
Elektronik atık	0,35	0,25	0,22	0,71	0,38	0,32	0,41
Tehlikeli atık	0,99	1,52	1,15	0,64	0,70	1,18	0,56
Kompozit	0,89	0,9	1,1	0,77	0,84	0,86	0,84
Tekstil	3,99	3,60	4,12	3,29	3,53	3,30	4,31
Çocuk bezi	4,03	4,65	4,51	6,88	2,48	4,5	3,94
Diğer yanabilir	8,35	7,44	6,39	6,40	10,24	8,81	8,90
Diğer yanmayan	4,22	2,28	4,06	10,69	3,17	3,98	5,64
Toplam	100	100	100	100	100	100	100

Balıkesir il geneli katı atık karakterizasyonunu gösteren grafik Şekil 4.5’de gösterilmiştir.



Şekil 4.5: Balıkesir il geneli atık karakterizasyon yüzdeleri, 2016

4.4 Deponi Gazı Tahmin Modelleri

Katı atık düzenli depolama sahalarının enerji potansiyelinin belirlenebilmesi için en önemli unsur sahadan üretilen metan gazı miktarının tespit edilebilmesidir. Bu gazın oluşumu sahaya dökülen atığın miktarı, kompozisyonu, nem içeriği, deponi sahasının ve gaz toplama sisteminin tasarımı, sahanın işletimi ve iklim koşulları gibi birçok faktöre bağlı olarak değişkenlik gösterir.

Bu bölümde Balıkesir Büyükşehir Belediyesi düzenli depolama sahasında 2050 yılına kadar oluşabilecek deponi gazı miktarları, sahanın kapasitesi göz önünde bulundurularak ve sahaya 2014-2030 yılları arasında döküm yapıldığı ve bu yıldan sonra sahaya atık alınmadığı kabul edilerek, mevcut saha verileri, atık karakteristiği ve atık projeksiyonu verileri göz önünde bulundurularak çeşitli deponi gazı tahmin modellerine göre hesaplanmıştır.

4.4.1 Literatür Esaslı Tahmin

Bir atık depolama sahasında üretilen deponi gazı miktarı 60-400 m³/ton arasında değişmekte ve gaz üretim süreci 50-100 yıl arasında devam etmektedir (Gendebien vd., 1991)

Tam ölçekli bir katı atık depolama sahasında üretilecek deponi gazı miktarı teorik olarak 50-400 m³/ton aralığındadır (Ham ve Barlaz, 2012). Gaz üretim potansiyellerinde verilen aralıklar arasında bu kadar fark olması atık kompozisyonu, iklim koşulları ve depolama sahasının işletilme şekli gibi unsurlardan kaynaklanmaktadır.

Balıkesir ili için çıkarılan atık projeksiyonu sonucunda 2014-2030 yılları arasında düzenli depolama sahasına dökülecek toplam atık miktarı 10.800.195 ton olarak öngörülmüştür. Bu atık miktarına göre sahadan üretilebilecek gaz miktarı teorik olarak 540-4.320 milyon m³ arasında olacaktır.

4.4.2 Tabasaran & Rettenberger Modeli ile Tahmin

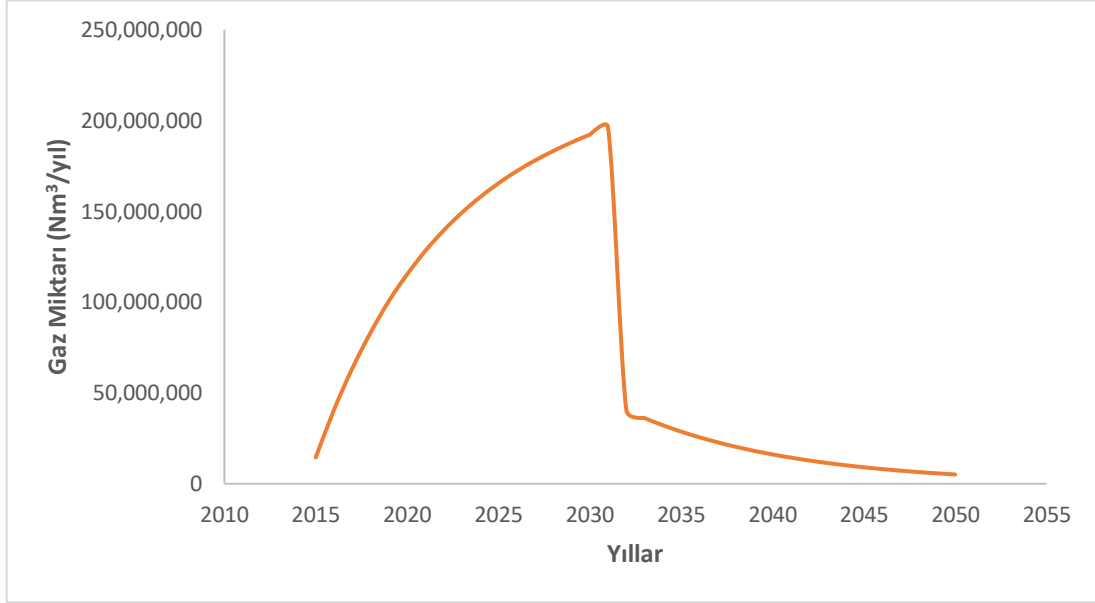
Çalışmanın 2. bölümünde Deponi Gazı Matematiksel Modelleme Yöntemleri başlığı altında detayları belirtilen Tabasaran & Rettenberger modelinin çalıştırılması için model değişkenlerine ait kabullerin belirlenmesi gerekmektedir. Literatür çalışmaları incelendiğinde bu model ile yapılan hesaplamalarda depolanan evsel atığın organik karbon içeriği (C_{org}) 170-200 kg/ton atık aralığında değişmektedir. Depolama sahaslarında sıcaklıklar 30-35 °C aralığındadır. Ayrışma sabiti 0,025-0,05 aralığında değere sahiptir (Çakır ve Günerhan, 2012). Bu model için kabul edilen değişkenler Tablo 4.4’de gösterilmiştir.

Tablo 4.4: Tabasaran & Rettenberger modeli için model değişkenleri

Model Değişkeni	Değer
Organik karbon içeriği	170 kg/ton atık
Sıcaklık	35 °C
Ayrışma hız katsayısı	0,05 yıl ⁻¹

Kabul edilen model değişkenlerine göre 2050 yılına kadar sistemin deponi gazı üretim potansiyeli Tablo A.8’de gösterilmiştir. Modelde sahaya atık dökülmesi ile gaz oluşumu başlangıcı arasındaki süre 1 yıl olarak kabul edilmektedir. Modele göre pik deponi gazı üretimi 2031 yılında gerçekleşecek ve bu yılda oluşması beklenen gaz miktarı 196.205.089 Nm³ olacaktır. Bu yıldan itibaren sahaya atık kabul edilmeyecek ve gaz oluşumunda hızlı bir düşüş başlayacaktır. 2015-2050 yılları içerisinde sistemde oluşması beklenen toplam deponi gazı miktarı 2.599.021.556 Nm³ olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplama göre

sahadaki atıklardan oluşacak birim deponi gazı miktarı 240,64 Nm³/ton olacaktır. Tabasaran & Rettenberger modeli deponi gazı üretim eğrisi Şekil 4.6’da gösterilmiştir.



Şekil 4.6: Tabasaran & Rettenberger modeli deponi gazı üretim eğrisi

4.4.3 Multi-Phase (Çoklu Faz) Modeli ile Tahmin

Çalışmanın 2. bölümünde Deponi Gazı Matematiksel Modelleme Yöntemleri başlığı altında detayları belirtilen Multi-Phase modelinin çalıştırılması için model değişkenlerine ait kabullerin belirlenmesi gerekmektedir. Literatür çalışmaları incelendiğinde bu model ile yapılan hesaplamalarda ayrışma hızı katsayıları hızlı parçalanabilen atıklar için 0,076-0,694 yıl⁻¹, orta hızda parçalanabilen atıklar için 0,046-0,116 yıl⁻¹ ve yavaş parçalanabilen atıklar için 0,013-0,076 yıl⁻¹ aralığında değişmektedir (Jacobs ve Scharff, 2001). Bu model için kabul edilen değişkenler Tablo 4.5’de ve Tablo 4.6’da gösterilmiştir.

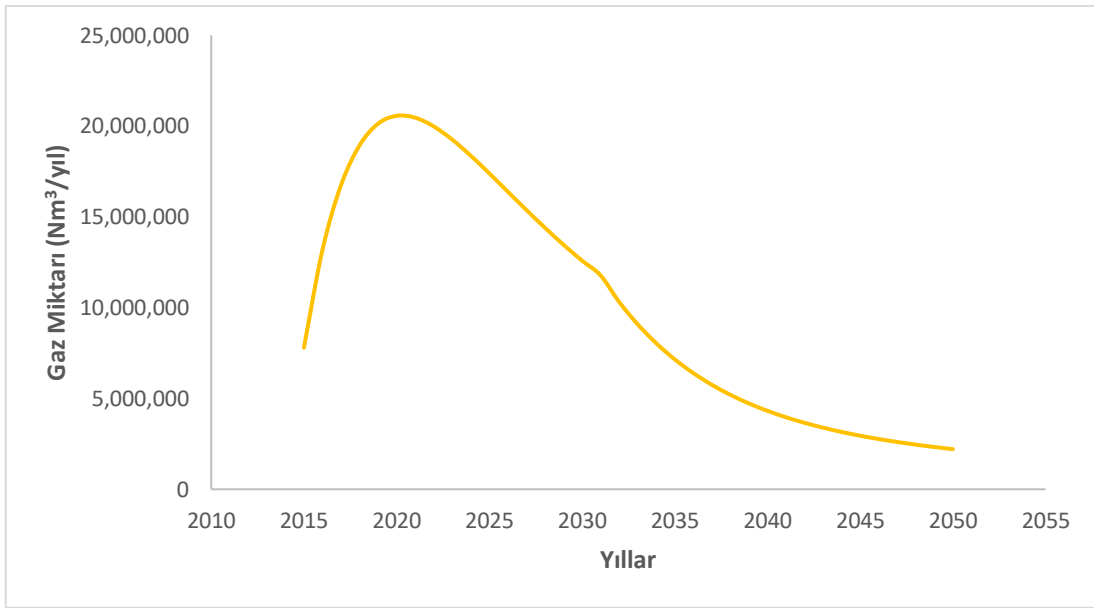
Tablo 4.5: Multi-Phase modeli için atık bileşen oranı ve hız katsayıları

Kategori	Hızlı parçalanma	Orta hızlı parçalanma	Yavaş parçalanma
Evsel atık bileşeni	%47	%3	%9
Hız katsayısı	0,185	0,100	0,030

Tablo 4.6: Multi-Phase modeli için model değişkenleri

Model değişkeni	Değer
Organik karbon içeriği	170 kg/ton atık
Üretim faktörü	0,58

Bu model değişkenlerine göre 2050 yılına kadar sistemin deponi gazı üretim potansiyeli Tablo A.9’da verilmiştir. Modelde sahaya atık dökülmesi ile gaz oluşumu başlangıcı arasındaki süre 1 yıl olarak kabul edilmektedir. Modele göre pik deponi gazı üretimi 2020 yılında gerçekleşecek ve bu yılda oluşması beklenen gaz miktarı 20.563.382 Nm³ olacaktır. Bu yıldan itibaren gaz üretim hızı düşmeye başlayacaktır. 2015-2050 yılları içerisinde sistemde oluşması beklenen toplam deponi gazı miktarı 367.285.320 Nm³ olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplama göre sahadaki atıklardan oluşacak birim deponi gazı miktarı 34 Nm³/ton olacaktır. Multi-Phase modeli deponi gazı üretim eğrisi Şekil 4.7’da gösterilmiştir.



Şekil 4.7: Multi-Phase modeli deponi gazı üretim eğrisi

4.4.4 Scholl Canyon Modeli ile Tahmin

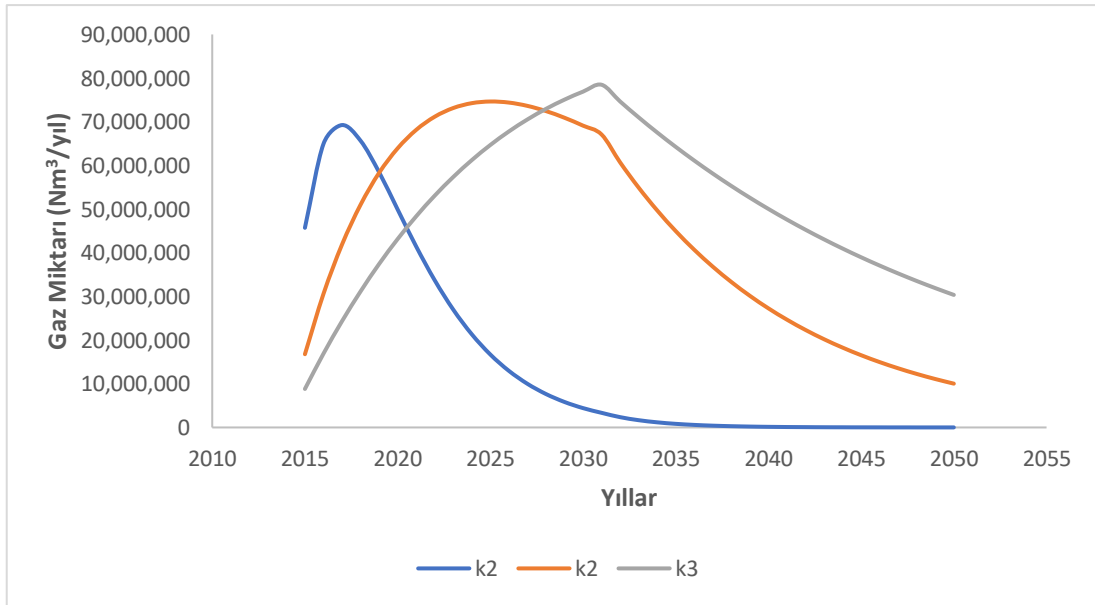
Çalışmanın 2. bölümünde Deponi Gazı Matematiksel Modelleme Yöntemleri başlığı altında detayları belirtilen Scholl Canyon modelinin çalıştırılması için model değişkenlerine ait kabullerin belirlenmesi gerekmektedir. Modelde deponi gazı içerisindeki CO₂ ve CH₄ salınımlarının aynı oranda olduğu kabul edilmektedir. Atık kompozisyonu incelendiğinde ve proseste limitleyici faktörlerin varlığı değerlendirildiğinde oluşacak deponi gazı miktarının farklı metan üretim hız sabitlerine göre ayrı ayrı belirlenmesi uygun görülmüştür. Literatür çalışmaları incelendiğinde bu model ile yapılan hesaplamalarda metan üretim potansiyeli 170 m³/ton, ayrışma hızı katsayıları 0,35, 0,1 ve 0,05 olarak alınmıştır.

Bu model değişkenlerine göre 2050 yılına kadar sistemin deponi gazı üretim potansiyeli Tablo A.10'da verilmiştir. Modelde sahaya atık dökülmesi ile gaz oluşumu başlangıcı arasındaki süre 1 yıl olarak kabul edilmektedir. Modele göre pik deponi gazı üretim yılı ve gaz üretim miktarı, 2015-2050 yılları içerisinde sistemde oluşması beklenen toplam deponi gazı miktarı ve sahadaki atıklardan oluşacak birim deponi gazı miktarı her bir ayrışma hızı katsayısı için farklı olacak şekilde Tablo 4.7'de gösterilmiştir.

Tablo 4.7: Scholl Canyon modeli deponi gazı üretim verileri

Kategori	k ₁	k ₂	k ₃
Pik yıl gaz üretimi	2017	2025	2031
Pik yıl gaz üretim miktarı (Nm ³)	69.249.510	74.639.971	78.474.798
Toplam gaz üretim miktarı (Nm ³)	546.330.688	1.593.872.880	1.826.821.957
Birim gaz üretim miktarı (Nm ³ /ton)	50,59	147,58	169,15

Scholl Canyon modeli deponi gazı üretim eğrisi Şekil 4.8'de gösterilmiştir.



Şekil 4.8: Scholl Canyon modeli deponi gazı üretim eğrisi

4.4.5 Model Sonuçlarının Karşılaştırılması

Balıkesir Büyükşehir Belediyesi düzenli depolama sahasında oluşacak tahmini deponi gazı miktarının tespiti için Tabasaran-Rettenberger, Multi-Phase ve Scholl Canyon modelleri uygun parametre değerleri ile çalıştırılmıştır. Modellerin çalıştırılması sonucu elde edilen

veriler Tablo 4.8’de gösterilmiştir. Bu verilere göre toplam deponi gazı üretim miktarı ve birim gaz üretim miktarı en çok olan model Tabasaran-Rettenberger modeli, en düşük olan model ise Multi-Phase modelidir. Scholl Canyon modelinin değerleri ise her bir ayrışma hızı katsayısı için diğer iki model değerlerinin arasında yer almaktadır.

Tablo 4.8: Modellerin gaz üretim miktarlarının karşılaştırılması

Modeller	Tabasaran-Rettenberger	Multi-Phase	Scholl Canyon		
			k ₁	k ₂	k ₃
Toplam deponi gazı miktarı (Nm ³)	2.599.021.556	367.285.320	546.330.688	1.593.872.880	1.826.821.957
Pik gaz üretim yılı	2031	2020	2017	2025	2031
Pik yıl gaz üretim miktarı (Nm ³)	196.205.089	20.563.382	69.249.510	74.639.971	78.474.798
Birim gaz üretim miktarı (Nm ³ /ton)	240,64	34	50,59	147,58	169,15

4.5 Deponi Gazı Enerji Değerlendirmesi

Depolama sahalarından elde edilebilecek enerji miktarı sahaya ait metan gazı miktarı ve metanın kalorifik değeri kullanılarak elde edilebilir. Literatürde 1 m³ metan gazının kalorifik değeri 8.500 kcal (35.564 kJ) olarak verilmektedir. Buna göre enerji miktarı aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır (Çakır ve Günerhan, 2012).

$$Brüt\ enerji\ miktarı\ (kWh) = \frac{(M_{CH_4} \times H_{CH_4})}{860 \times 8760} \quad 4.1$$

Burada;

M_{CH₄} : Yıllık metan gazı miktarı (m³ metan/yıl),

H_{CH₄} : Metan gazının kalorifik değeri (8.500 kcal/m³ metan),

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

Deponi gazı kullanılarak elektrik enerjisi üretimine yönelik kurulması planlanan tesislerin dizaynı için yapılacak fizibilite çalışmalarında bilinmesi gereken en önemli veri sistemden çıkacak metan gazının miktarıdır. Literatür çalışmalarında deponi gazı içerisindeki metan oranı %50 olarak kabul edilmektedir. Bunun yanında gaz çıkışı atığın depolanmasından bir süre sonra başlayacaktır, dolayısıyla planlanan yatırım için toplam gaz üretim potansiyeli kadar yıllık üretilen gaz miktarının da bilinmesi gereklidir. Bu bilgiler doğrultusunda Balıkesir Büyükşehir Belediyesi düzenli depolama sahası elektrik enerjisi potansiyeli Tabasaran & Rettenberger modeli için Tablo A.11’de, Multi-Phase modeli için Tablo A.12’de ve Scholl Canyon modeli için Tablo A.13’de verilmiştir. Modellerin çalıştırılması sonucu elde edilen sonuçların karşılaştırılması Tablo 4.9’da gösterilmiştir.

Tablo 4.9: Modellerin enerji üretim potansiyellerinin karşılaştırılması

Modeller	Tabasaran-Rettenberger	Multi-Phase	Scholl Canyon		
			k ₁	k ₂	k ₃
Toplam enerji potansiyeli (kWh)	1.466.439	207.232	308.255	899.307	1.030.743
Pik enerji üretim yılı	2031	2020	2017	2025	2031
Pik yıl enerji potansiyeli (kWh)	110.704	11.602	39.072	42.114	44.278

4.6 Deponi Gazından Elektrik Enerjisi Üretim Tesisi Ekonomik Analizi

4.6.1 İlk Yatırım ve İşletme Maliyetleri

Balıkesir Büyükşehir Belediyesi evsel atıklarından elektrik enerjisi üretimi için yapılacak olan tesiste depo gazının sabit motorlarda yakıt olarak kullanıldığı ve içten yanmalı motorlarda yakılarak enerjiye çevrildiği sistem uygun bulunmuştur. Sahada ilk etapta fore kazık sondajı yöntemiyle imal edilmiş 15 metre derinliğinde 8 adet dikey gaz kuyusu açılacaktır. Bu kuyuları birbirine bağlayan 1 adet manifold ünitesi kurulacaktır. Su, basınçlı hava ve gaz hatları için toplamda 4 km uzunluğunda, 10-20 cm çapında, yüksek yoğunluklu

polietilen (HDPE) borular kullanılacaktır. Boru birleştirmeleri elektrikli alın kaynağı ve elektrofüzyon kaynağı ile yapılacaktır. Üst kaplamalarında 60 cm toprak kullanılacaktır. Ayrıca 1 adet düşük basınçta gaz transferini sağlayan pompa (blower), 1 adet gaz yakma bacası (flare), 1 adet vakum pompası (booster) ve 1 adet jeneratör kullanılacaktır. Toplanan gaz iletim sistemi ile uygun sıcaklık ve nem oranına getirildikten sonra gaz motorları ile elektrik enerjisine dönüştürülecektir. Sistem tasarımında ilk etapta 20 silindirli, 4 zamanlı, buji ateşlemeli, turboşarjlı, 1.500 devirli ve 1,4 MWh kapasiteli 4 adet gaz motoru kullanılması planlanmıştır. Tesis devreye alındıktan sonraki ilk 6 yıl içinde her bir yıl için 1 adet gaz motoru olmak üzere sisteme 6 adet gaz motoru ilave edilerek kapasite artışı yapılması ve toplamda 10 adet gaz motoru ile elektrik üretimi yapılması uygun bulunmuştur. Sahanın işletimi için iş makinesi ihtiyacı 1 adet kompaktör, 1 adet paletli yükleyici, 1 adet ekskavatör, 1 adet traskavatör ve 1 adet çift çeker kamyon olmak üzere toplam 5 adet olarak belirlenmiştir. Sistemin hesaplanan tahmini ilk yatırım maliyet tablosu Tablo 4.10'da gösterilmiştir. Yapılan hesaplamalarda dolar kuru 8,65 ₺, motorin birim fiyatı 6,78 ₺ / \$0.78 olarak kabul edilmiştir. Banka kredisi yıllık faiz oranları Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası ticari kredilere uygulanan faiz oranları baz alınarak %5 kabul edilmiştir. Bütün hesaplamalar dolar cinsi üzerinden gerçekleştirilmiştir.

Tablo 4.10: İlk yatırım maliyet tablosu

Maliyet Kalemi	Faiz Oranı	Geri Ödeme Süresi	Yatırım Maliyeti (faizsiz)	Yatırım Maliyeti (faizli)
Sistemin devreye alınması	%5	20 yıl	\$2,472,500	\$3,986,452
İş makineleri	%5	20 yıl	\$1,500,000	\$2,407,278
Kapasite artışı	%5	10 yıl	\$3,499,200	\$4,531,624
Toplam			\$7,483,200	\$10,925,353

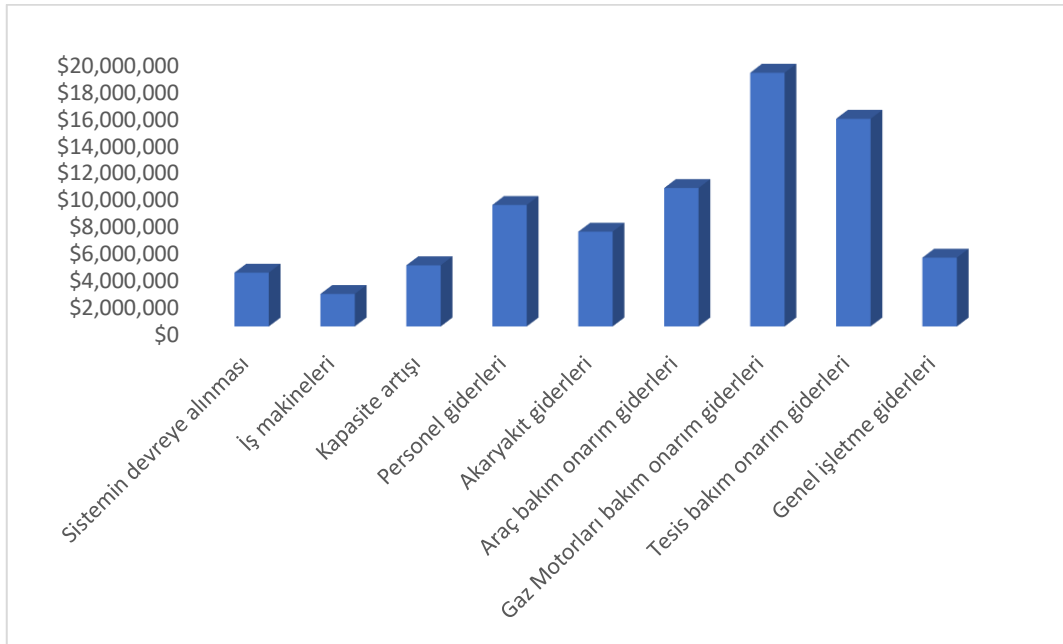
Tesisin işletimi için 30 personel çalıştırılması öngörülmüştür. İş makinelerinin akaryakıt giderleri için aylık 30.000 lt tüketim öngörülmüştür. Araç bakım onarım giderleri için tesisin yıllık gelirinin %6'si, genel işletme giderleri için tesisin yıllık gelirinin %3'ü, gaz motorları bakım onarım giderleri için tesisin yıllık gelirinin %11'i ve tesis bakım onarım giderleri için tesisin yıllık gelirinin %9'unun harcanacağı öngörülmüştür. Tesis bakım onarım giderleri kalemi içerisindeki maliyetler yedek parça temini, arıza tespiti, mekanik ve otomasyon

ekipman bakımları ve saha mühendislik desteği maliyetleridir. Sistemin hesaplanan tahmini işletme giderleri tablosu Tablo 4.11’de gösterilmiştir.

Tablo 4.11: İşletme gider tablosu

Maliyet Kalemi	Birim Maliyet	Miktar	Yıllık Maliyet	Toplam Maliyet
Personel giderleri	\$1,000/ay	30 kişi	\$360,000	\$9,000,000
Akaryakıt giderleri	\$0.78/lt	30.000 lt	\$288,000	\$7,200,000
Araç bakım onarım giderleri	\$23,000/ay	12 ay	\$410,400	\$10,260,000
Gaz motorları bakım onarım giderleri	\$62,600/ay	12 ay	\$751,200	\$18,780,000
Tesis bakım onarım giderleri	\$51,250/ay	12 ay	\$615,000	\$15,375,000
Genel işletme giderleri	\$17,000/ay	12 ay	\$204,000	\$5,100,000
Toplam			\$2,621,400	\$65,535,000

İşletmenin ilk yatırım ve işletme maliyetlerini gösteren grafik Şekil 4.9’da gösterilmiştir.



Şekil 4.9: Toplam maliyet kalemleri grafiği

4.6.2 Gelirler

5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun (YEK)'a göre biyokütleden elde edilen gaz (çöp gazı dahil) uygun elektrik enerjisi üretim kaynağı olarak belirtilmiştir. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması (YEKDEM)'na katılan tesisler YEKDEM Yönetmeliği'nin 8. maddesinde bildirdiği üzere; lisansa derç edilen ilk kurulu gücün işletmeye girdiği tarihten itibaren 10 yıl süre ile bu desteklemeden faydalanabilirler. YEKDEM'e dahil olan tesislere uygulanacak fiyatlar ve yerli katkı fiyatları YEK ile belirlenmiş olup mevcut fiyatlar Tablo 4.12 ve Tablo 4.13'de gösterilmiştir.

Tablo 4.12: YEKDEM elektrik üretim birim fiyatları

Yenilenebilir Enerji Kaynağına Dayalı Üretim Tesis Tipi	Uygulanacak Fiyatlar
a. Hidroelektrik üretim tesisi	7,3 (ABD Doları cent/kWh)
b. Rüzgar enerjisine dayalı üretim tesisi	7,3 (ABD Doları cent/kWh)
c. Jeotermal enerjisine dayalı üretim tesisi	10,5 (ABD Doları cent/kWh)
ç. Biyokütleyle dayalı üretim tesisi (çöp gazı dâhil)	13,3 (ABD Doları cent/kWh)
d. Güneş enerjisine dayalı üretim tesisi	13,3 (ABD Doları cent/kWh)
e. 10/5/2019 tarihinden itibaren bağlantı anlaşmasına çağrı mektubu almaya hak kazanılan yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı lisanssız elektrik üretim faaliyeti kapsamındaki tesisler	EPDK tarafından TL kuruş/kWh olarak ilan edilen kendi abone grubuna ait perakende tek zamanlı aktif enerji bedeli

Tablo 4.13: YEKDEM yerli katkı fiyatları

Tesis Tipi	Yurt İçinde Gerçekleşen İmalat	Yerli Katkı Fiyatları (ABD Doları cent/kWh)
E- Biyokütle enerjisine dayalı üretim tesisi	1- Akışkan yataklı buhar kazanı	0,8
	2- Sıvı veya gaz yakıtlı buhar kazanı	0,4
	3- Gazlaştırma ve gaz temizleme grubu	0,6
	4- Buhar veya gaz türbini	2,0
	5- İçten yanmalı motor veya stirling motoru	0,9
	6- Jeneratör ve güç elektroniği	0,5
	7- Kojenerasyon sistemi	0,4

5346 sayılı YEK'in 6. maddesi "31.12.2020 tarihine kadar işletmeye girmiş veya girecek olan YEK Destekleme Mekanizmasına tabi üretim lisansı sahipleri için, bu Kanuna ekli I sayılı cetvelde yer alan fiyatlar, on yıl süre ile uygulanır." demektedir. 18.09.2020 tarihli, 2949 sayılı Resmi Gazete kararına göre yukarıda belirtilen süre 30.06.2021 tarihine kadar uzatılmıştır. 30.01.2021 tarihli, 3453 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanan Cumhurbaşkanı kararına göre 01.07.2021 tarihinden 31.12.2025 tarihine kadar işletmeye girecek YEK belgeli yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı elektrik üretim tesisleri için uygulanacak fiyatlar ve süreler ile fiyatların güncellenmesine ilişkin karar yürürlüğe konulmuştur. Bu karara göre destek fiyatları değiştirilmiş ve Türk Lirası cinsinden belirlenmiş, destekleme süresi 10 yıl olarak kalmış ve fiyatların kararda belirtilen formül kullanılarak 3'er aylık dönemler halinde güncellenmesine karar verilmiştir. Yeni YEKDEM elektrik üretim birim fiyatları ve yerli katkı fiyatları Tablo 4.14'de gösterilmiştir.

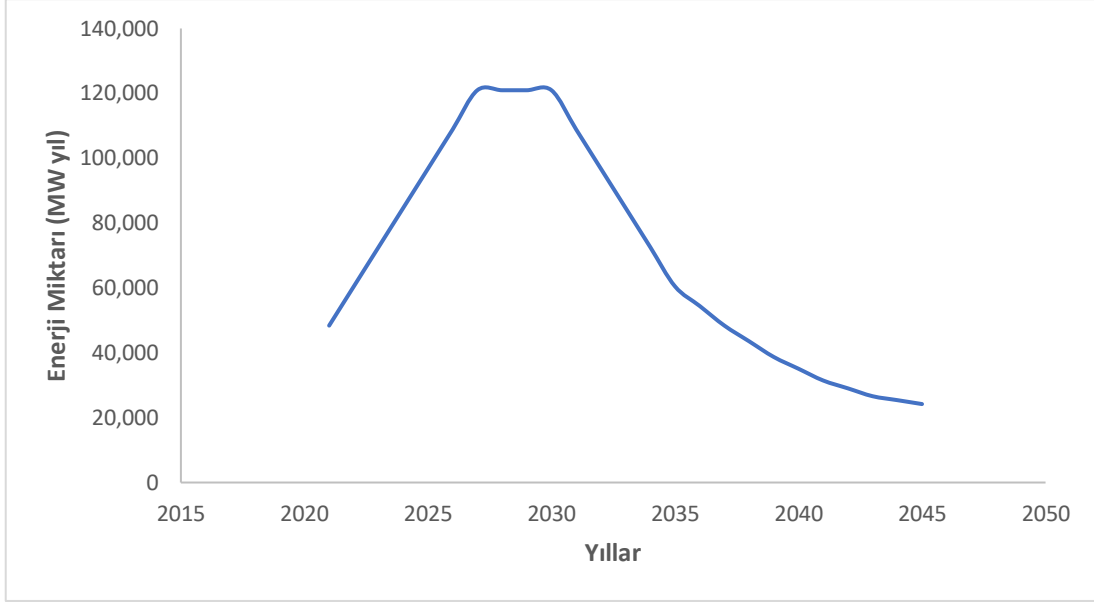
Tablo 4.14: YEKDEM elektrik üretim birim fiyatları ve yerli katkı fiyatları

Yenilenebilir Enerji Kaynağına Dayalı Üretim Tesis Tipi		YEK Destekleme Mekanizması Fiyatı (Türk Lirası kuruş/kWh)	YEK Destekleme Mekanizması Fiyatı Uygulama Süresi (yıl)	Yerli Katkı Fiyatı (Türk Lirası kuruş/kWh)	Yerli Katkı Fiyatı Uygulama Süresi (yıl)
a. Hidroelektrik üretim tesisi		40,00	10	8,00	5
b. Rüzgar enerjisine dayalı üretim tesisi		32,00	10	8,00	5
c. Jeotermal enerjisine dayalı üretim tesisi		54,00	10	8,00	5
d. Biyokütleyle dayalı üretim tesisi	Çöp gazı / Atık lastiklerin işlenmesi sonucu ortaya çıkan yan ürünlerden elde edilen kaynaklar	32,00	10	8,00	5
	Biyometanizasyon	54,00	10	8,00	5
	Termal Bertaraf	50,00	10	8,00	5
d. Güneş enerjisine dayalı üretim tesisi		32,00	10	8,00	5

Enerji sektörünün en önemli unsurlarından biri üretim ve tüketim arasındaki dengenin sağlanmasıdır. Eğer elektrik üretimi tüketim talebinden fazla olursa maliyetler yükselecek ve kaynaklar gereksiz yere tüketilmiş olacaktır. Tam tersi durumda; yani talep üretimden fazla olursa bu da elektrik arzında yetersizliklere ve elektrik kesintileri yaşanmasına sebep olacaktır. Piyasa takas fiyatı (PTF) Enerji Piyasaları İşletme Anonim Şirketi (EPIAŞ)'nin kontrolündeki gün öncesi elektrik piyasalarında arz ve talebin eşleşmesi ile oluşan saatlik referans elektrik enerjisi fiyatıdır. Bu çalışmada piyasa takas fiyatı EPIAŞ verileri baz alınarak 5.6 ABD Doları cent/kWh olarak kabul edilmiştir.

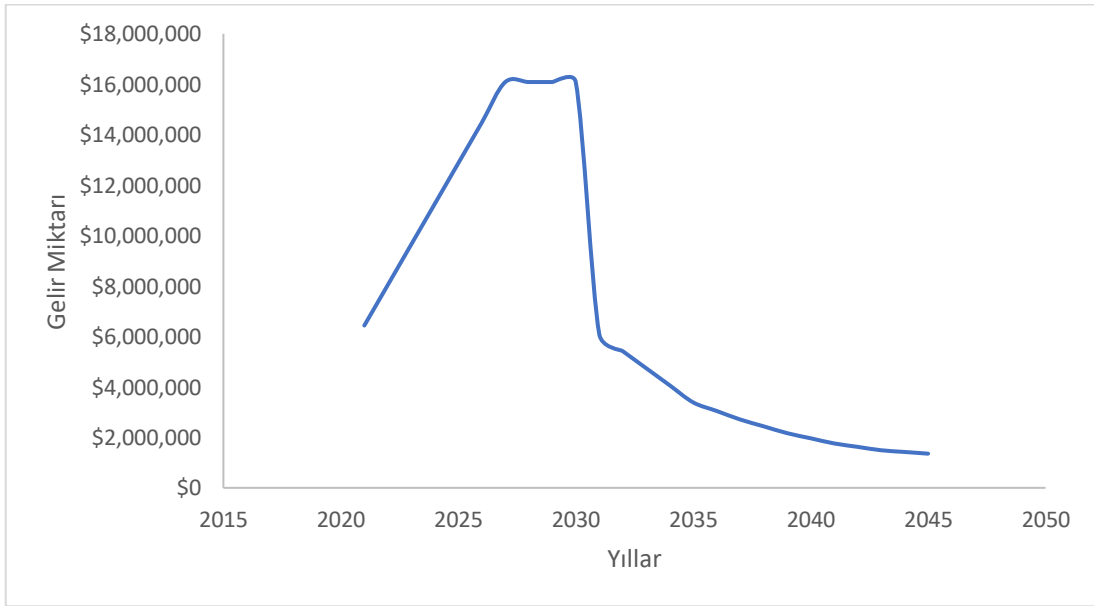
5216 sayılı Büyükşehir Belediyesi Kanununa göre büyükşehir belediyeleri “*katı atık yönetim plânını yapmak, yaptırmak; katı atıkların kaynakta toplanması ve aktarma istasyonuna kadar taşınması hariç katı atıkların yeniden değerlendirilmesi, depolanması ve bertaraf edilmesine ilişkin hizmetleri yerine getirmek, bu amaçla tesisler kurmak, kurdurmak, işletmek veya işlettirmek*”le yükümlüdürler. Balıkesir Büyükşehir Belediyesi, düzenli depolama sahasında depo gazından enerji üretimi amacı ile bir tesis kurdurmak için 2886 sayılı Devlet İhale Kanunu (DİK)'na göre ihalesini gerçekleştirmek durumundadır. Bu tip enerji üretim tesisleri için genel uygulama, ihale yöntemi olarak DİK'in 45. Maddesinde belirtilen açık teklif usulü ile ihale yönteminin tercih edilmesidir. İhale, isteklilerden kira bedeli talep edilmesi veya üretilen enerjiden elde edilen gelirden kuruma pay verilmesi şeklinde gerçekleştirilebilir. Bu çalışmada kuruma ciro üzerinden pay verildiği kabul edilmiştir. İhalenin 2020 yılında gerçekleştirildiği ve toplam işletme süresinin 2021-2045 yılları arasındaki 25 yılı kapsadığı kabul edilmiştir.

Bu bilgiler ışığında kurulması planlanan enerji tesisinin gelirleri ve karlılık oranları hesaplaması için iki farklı senaryo üzerinde çalışılmıştır. Her iki senaryoda da tesise ham madde girişinin kesilmesi sebebi ile 2031 yılından itibaren 5 yıl içerisinde enerji üretiminin hızlı bir biçimde düşmeye başlayacağı ve devamındaki 10 yıl içerisinde azalarak devam edeceği öngörülmüştür. Tesiste yıllara sari üretilecek tahmini enerji üretim grafiği Şekil 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.10: Enerji üretim grafiği

Birinci senaryoya göre enerji satışında 10 yıl süre ile YEKDEM'den faydalandığı, daha sonra 15 yıl süre ile piyasa takas fiyatından satış yapıldığı, herhangi bir yerli katkıdan yararlanılmadığı ve kuruma ciro üzerinden %15 oranında pay verildiği kabul edilmiştir. Bu senaryoya göre tesisin yıllara sari tahmini enerji üretim miktarları ve gelirleri Tablo A.14'de gösterilmiştir. Toplam işletme gelir grafiği Şekil 4.11'da ve tesisin tahmini toplam gelirleri, giderleri ve karlılığı ise Tablo 4.15'de gösterilmiştir.



Şekil 4.11: Birinci senaryoya göre işletme gelir grafiği

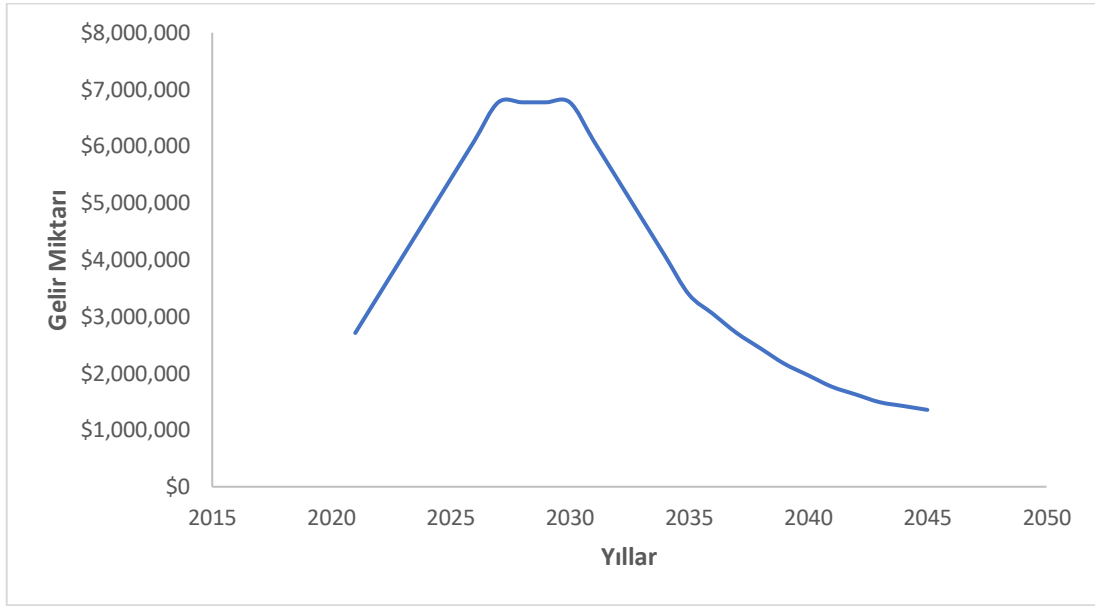
Tablo 4.15: Birinci senaryoya göre toplam işletme gelirleri, giderleri ve karlılığı

Gelir Kalemi	Birim Fiyat	Miktar (MW)	Toplam Gelir
YEKDEM Satış	\$133	955.584	\$127,092,672
Normal Satış	\$56	780.192	\$43,690,752
Toplam Gelir			\$170,783,424
İlk Yatırım Ve İşletme Maliyetleri			\$76,460,353
Belediye Payı			\$25,617,514
Net Kar			\$68,705,557
Kar Oranı			%40,23

Yapılan hesaplamalara göre sistemde üretilecek enerji miktarı ve tesisten elde edilecek gelirleri dört farklı dönemde değerlendirmek doğru olacaktır. Birinci dönem olan 2021-2027 yılları arasında sahaya atık kabulünün devam edecek ve 4 adet motorla üretime başlanacak sisteme 6 yıl boyunca her yıl 1 motor ilavesi olmak üzere 6 adet motor ilavesi yapılacak ve toplamda 10 adet motora ulaşılabacaktır. Bu nedenle üretilecek enerji miktarı ve elde edilecek tesis gelirleri sürekli artış gösterecek ve 2027 yılında en yüksek seviyeye ulaşacaktır. İkinci dönem olan 2027-2030 arasındaki 4 yıllık dönemde enerji üretim miktarı ve tesis gelirleri sabit kalacaktır. Üçüncü dönem olan 2031-2035 yılları arasındaki 5 yıllık dönemde sahaya atık kabulünün durdurulması ve YEKDEM'den faydalanılan 10 yıllık sürenin bitmiş olması sebebi ile hem enerji üretim miktarı hem de tesis gelirleri hızlı bir düşüş gösterecektir. Dördüncü ve son dönem olan 2036-2045 arasındaki 10 yıllık dönemde hem enerji üretim miktarı hem de tesis gelirleri azalmaya devam edecektir. Birinci senaryoya göre işletme süresi olan 25 yıl boyunca tesisten elde edilecek YEKDEM geliri \$127,092,672 ve PTF geliri \$43,690,752 olmak üzere toplam gelir \$170,783,424 olarak gerçekleşecektir. İlk yatırım ve işletme maliyetleri \$76,460,353 ve belediyeye verilecek pay \$25,617,514 olarak gerçekleşecektir. Sistemden elde edilecek net karın \$68,705,557 ve karlılık oranının %40,23 olması beklenmektedir.

İkinci senaryoya göre YEKDEM'den faydalanılmadığı, işletme süresi boyunca piyasa takas fiyatından satış yapıldığı ve kuruma ciro üzerinden %8 oranında pay verildiği kabul edilmiştir. Bu senaryoya göre tesisin yıllara sari tahmini enerji üretim miktarları ve gelirleri

Tablo A.15’de gösterilmiştir. Toplam işletme gelir grafiği Şekil 4.12’de ve tesisin tahmini toplam gelirleri, giderleri ve karlılığı Tablo 4.16’da gösterilmiştir.



Şekil 4.12: İkinci senaryoya göre işletme gelir grafiği

Tablo 4.16: İkinci senaryoya göre toplam işletme gelirleri, giderleri ve karlılığı

Gelir Kalemi	Birim Fiyat	Miktar (MW)	Toplam Gelir
YEKDEM Satış	\$133	-	-
Normal Satış	\$56	1.735.776	\$97,203,456
Toplam Gelir			\$97,203,456
İlk Yatırım Ve İşletme Maliyetleri			\$76,460,353
Belediye Payı			\$7,776,276
Net Kar			\$12,966,826
Kar Oranı			% 13,34

Yapılan hesaplamalara göre sistemde üretilecek enerji miktarı ve tesisten elde edilecek gelirleri birinci senaryodakine benzer şekilde dört farklı dönemde değerlendirmek doğru olacaktır. Birinci dönem olan 2021-2027 yılları arasında sahaya atık kabulünün devam edecek ve 4 adet motorla üretime başlanacak sisteme 6 yıl boyunca her yıl 1 motor ilavesi

olmak üzere 6 adet motor ilavesi yapılacak ve toplamda 10 adet motora ulaşılabacaktır. Bu nedenle üretilecek enerji miktarı ve elde edilecek tesis gelirleri sürekli artış gösterecek ve 2027 yılında en yüksek seviyeye ulaşacaktır. İkinci dönem olan 2027-2030 arasındaki 4 yıllık dönemde enerji üretim miktarı ve tesis gelirleri sabit kalacaktır. Üçüncü dönem olan 2031-2035 yılları arasındaki 5 yıllık dönemde sahaya atık kabulünün durdurulması sebebi ile hem enerji üretim miktarı hem de tesis gelirleri hızlı bir düşüş gösterecektir. Dördüncü ve son dönem olan 2036-2045 arasındaki 10 yıllık dönemde hem enerji üretim miktarı hem de tesis gelirleri azalmaya devam edecektir. İkinci senaryoya göre işletme süresi olan 25 yıl boyunca tesisten elde edilecek PTF geliri toplam gelire eşit olacak ve \$97,203,456 olarak gerçekleşecektir. İlk yatırım ve işletme maliyetleri \$76,460,353 ve belediyeye verilecek pay \$7,776,276 olarak gerçekleşecektir. Sistemden elde edilecek net karın \$12,966,826 ve karlılık oranının %13,34 olması beklenmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Dünyada ve ülkemizde nüfus artışı ve tüketim alışkanlıklarının değişmesi neticesinde her geçen gün daha büyük bir problem haline gelen evsel katı atıklar, insan ve çevre sağlığına olan olumsuz etkilerinin en aza indirilmesi amacıyla geçmiş tecrübeler ışığında oluşturulan mevzuatlar ile belirlenen standartlara uygun şekilde bertaraf edilmelidir. Ülkelerin coğrafi, ekonomik ve iklimsel koşullarına göre değişkenlik gösteren atık bertaraf yöntemleri arasında en sık kullanılan yöntem düzenli depolamadır. Fakat atık bertarafı konusunda çözüm olarak geliştirilen ve temel olarak atıkların belirli bir arazide kontrollü biçimde depolanması olarak tanımlanabilen bu yöntem aynı zamanda bulunduğu bölgede hava, su ve toprak kirliliği gibi farklı problemlerin kaynağı haline gelebilmektedir.

Atıkların içerisinde bulunan biyobozunur maddelerin anaerobik (oksijensiz) ortamda ürettiği ve bileşiminde metan ve karbondioksitin yoğun olarak bulunduğu depo gazları (LFG) sera etkisini şiddetlendirmekte, bu da küresel ısınma ve iklim değişikliği gibi problemlere yol açarak çevrenin kalitesini düşürmekte ve dünyamızın ömrünü kısaltmaktadır. 2005 yılında yürürlüğe giren ve ülkemizin de 2009 yılında kabul ettiği Kyoto Protokolü'nün temel amacı atmosferdeki sera gazı yoğunluğunun iklim koşullarına olumsuz etki yapmayacak seviyelerde bulunmasını sağlamaktır. LFG içerisinde ortalama olarak %50 oranında bulunan metan gazı, karbondioksit gazına oranla atmosferde 21 kat daha fazla sera etkisine sahiptir. Bu sebeple depo gazının herhangi bir işleme tabi tutulmadan serbest olarak atmosfere verilmemesi gerekmektedir. Depo gazlarının kontrollü evsel katı atık depolama sahalarının yönetiminde önemli bir yer tutmaktadır.

Doğal kaynakların hızla tükenmesi ve enerji ihtiyacının artması nedeniyle depo gazları son yıllarda sadece kirletici etkisi bakımından değil aynı zamanda gelişen teknoloji ile birlikte bileşiminde bulunan metan gazının yüksek enerji potansiyeli barındırması sebebiyle enerji kaynağı olarak da değerlendirilmeye başlanmıştır. Bu amaçla depolama sahalarında oluşan metan gazından elektrik üretimine yönelik olarak kurulacak tesisler sera etkisi yaratan gazların atmosfere salınımını önlerken aynı zamanda iyi tasarlanır ve işletilirse ekonomik olarak karlılık yaratan işletmeler haline gelebilirler. Bu çalışmada Balıkesir Büyükşehir Belediyesi sınırları içerisinde oluşacak evsel katı atıklar biyogaz potansiyelleri bakımından değerlendirilmiş ve bu atıkların oluşturduğu depo gazından elektrik enerjisi elde etmeye

yönelik olarak kurulacak tesisin ekonomik ve finansal analizi çıkarılmış ve öneriler geliştirilmiştir.

Balıkesir ili geniş tarım alanlarına, gelişen bir sanayiye ve hem Marmara Denizi'ne hem de Ege Denizi'ne kıyısı bulunması sebebiyle büyük bir kıyı turizmi potansiyeline sahiptir. Bu demografik ve sosyo-ekonomik faktörler bir arada değerlendirildiğinde şehir nüfusunun yıllar içerisinde artış eğilimi göstermesi kaçınılmazdır. Bu kapsamda nüfus projeksiyon çalışması yapılırken yılın 9 ayını içeren kış dönemi ve 3 ayını içeren yaz dönemi için ayrı hesaplamalar yapılmıştır. Bunun sebebi turizm nedeniyle yaz dönemlerinde kıyı şeritlerinde nüfusun dönemsel olarak yoğunlaşmasıdır. Yapılan nüfus değişimi hesaplamalarında kış dönemi için UNDP orta büyüme senaryosu ve yaz dönemi için UNDP düşük büyüme senaryosu değerleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre Balıkesir ili kış nüfusunun 2020-2050 yılları arasında %17,7 oranında artış göstermesi ve 1.239.948 kişiden 1.459.892 kişiye ulaşması beklenmektedir. Yaz nüfusunun 2020-2040 yılları arasında %6,4 oranında artış göstererek 2.918.550 kişiden 3.107.509 kişiye ulaşması ve 2040-2050 yılları arasında ise %1,5 oranında düşüş göstererek 3.061.350 kişiye düşmesi beklenmektedir.

Balıkesir ilinin evsel atık verileri incelendiğinde üretilen atık miktarının kış dönemi için 0,96 kg/kışı-gün, yaz dönemi için 0,94 kg/kışı-gün olduğu belirlenmiştir. Şehrin ekonomisinin gelişmesi ve değişen tüketim alışkanlıkları nedeniyle kişi başı üretilen atık miktarının artış eğilimi göstermesi beklenmektedir. Bu nedenle kişi başı üretilen atık miktarlarının hesaplama yapılırken EHCIP ve KAAP değerleri kullanılarak, geometrik olarak yıllık %1,2 artış göstereceği kabul edilmiştir. Bu durumda 2050 yılında kış dönemi için atık miktarının 1,47 kg/kışı-gün ve yaz dönemi için 1,44 kg/kışı-gün olması beklenmektedir.

Hem nüfusun hem de kişi başı atık üretim miktarının artması Balıkesir il genelinde yıllara sari üretilen evsel katı atık miktarının artması sonucunu doğuracaktır. Yapılan hesaplamalar neticesinde Balıkesir ilinde 2020-2050 yılları arasındaki kış döneminde üretilen atık miktarının %68,3 oranında artış göstererek 1.279 ton/gün değerinden 2.153 ton/gün değerine ulaşması beklenmektedir. Yaz döneminde üretilen atık miktarının ise %50 oranında artış göstermesi ve 2.947 ton/gün değerinden 4.421 ton/gün değerine ulaşması beklenmektedir. Toplam üretilen atık miktarının 2020-2050 yılları arasında %60 artış göstererek 610.469 ton/yıl değerinden 979.279 ton/yıl değerine ulaşması beklenmektedir.

2016 yılında yapılan atık karakterizasyonu çalışmalarında Balıkesir ili evsel katı atıklarının ortalama %50,43 kadarının organik özellikte olduğu tespit edilmiştir. Atıkların içerisinde bu oranda biyobozunur madde bulunması, bu atıkların enerji üretimi için ham madde olarak değerlendirilebilmesini olanaklı kılmaktadır. Balıkesir ilinin, mevcut ve gelecek nüfusu ve oluşturduğu organik içeriği yüksek atık miktarı bir arada değerlendirildiğinde depo gazından elektrik enerjisi elde edilmesi konusunda yüksek bir potansiyele sahip olduğu belirlenmiştir.

Atık depolama sahasına kurulacak depo gazından elektrik enerjisi üretim tesisinin projelendirilebilmesi için öncelikle atıkların enerji potansiyelinin bilinmesi gerekmektedir. Kurulacak gaz toplama sistemi, sahanın gaz üretim potansiyeline göre dizayn edileceği için bu unsur projenin yatırım bütçesini doğrudan etkileyecektir. Eğer proje öncesi yapılan hesaplamalarda, oluşacak gaz miktarının üzerinde bir tahminde bulunulur ve proje buna göre yapılırsa ihtiyaç fazlası bir yatırım gerçekleştirilmiş olacaktır. Tam tersi durumda yani oluşacak gaz miktarının altında bir tahminde bulunulur ve proje buna göre yapılırsa kaynak kaybı yaşanacaktır. Sahadan çıkacak gaz üretim miktarının doğru tahmin edilmesi bu açıdan önemlidir. Sahada oluşacak depo gazı miktarı, atık projeksiyonu ve atık karakterizasyonu çalışmalarından elde edilen veriler kullanılarak çeşitli matematiksel modelleme yöntemleri ile belirlenebilmektedir. Bu yöntemlerin bazıları buldukları bölgelere has özellikler taşırken bazıları ise genel bir denklem üzerinden kullanıldığı bölgeye ait özel parametrelerin hesaplamalara veri olarak girilmesi ile sonuca ulaşırlar. Bütün modeller için depolanacak atığın özellikleri ortak temel girdidir. Bunun yanında sıcaklık, yağış miktarı, organik karbon içeriği ve parçalanma katsayıları gibi farklı ayrışma kinetiklerine bağlı olarak elde edilen çıktılar oluşması beklenen depo gazı miktarı için belirleyici olmaktadır. Bu çalışma içerisinde Tabasaran & Rettenberger modeli, Multi-Phase modeli ve Scholl Canyon modeli kullanılarak 2015-2050 yılları arasında sahada oluşacak gaz miktarları hesaplanmıştır. Tabasaran & Rettenberger modeli organik atıkları birinci dereceden parçalanma yaklaşımı ile ele almaktadır ve modellere ait en yüksek deponi gazı tahmin sonucu 2.599.021.556 Nm³ olmak üzere bu model ile elde edilmiştir. Bunun nedeni modelin atıkları fraksiyonlarına göre ayırmamasıdır. Multi-Phase modeli organik atıkları hızlı, orta ve yavaş parçalanarak olmak üzere 3 farklı fraksiyonda ele almakta ve kümülatif atık miktarı üzerinden hesaplama yapılmasını önermektedir. Modellere ait en düşük deponi gazı tahmin sonucu 367.285.320 Nm³ olmak üzere bu model ile elde edilmiştir. Scholl Canyon modeli deponi gazı oluşumunda mikrobiyal kütleinin büyümesini esas almakta ve atık içerisindeki organik kısmın azalması ile gaz oluşumunun azalacağını önermektedir. Model hesaplamalarında

atıkların yüksek, orta ve düşük hızda parçalanmalarına göre üç farklı sonuç elde edilmiştir. Bu sonuçlar yüksek hızda parçalanma için 1.826.821.957 Nm³, orta hızda parçalanma için 1.593.872.880 Nm³ ve düşük hızda parçalanma için 546.330.688 Nm³ olarak hesaplanmıştır. Üç farklı modelden elde edilen sonuçlar ve oluşan gaz üretim eğrileri bir arada değerlendirildiğinde Scholl Canyon orta hızlı parçalanma modelinden elde edilen verilerin enerji üretim tesisi tasarımında referans olarak kullanılmasında karar kılınmıştır.

Düzenli depolama sahalarında organik atıklardan biyogaz oluşması sürecindeki hidroliz, asit oluşum ve metan oluşum aşamalarında çeşitli mikroorganizma grupları görev yapmaktadır. Bu mikroorganizmaların faaliyetlerini sürdürebilmeleri için gerekli olan anaerobik ortamın oluşumunda sahanın doğru şekilde işletimi önemli bir yer tutmaktadır. Atıkların üzerinin günlük örtü ile örtülerek saha geçirimsizliğinin sağlanması ve atıkların oksijen ile temasının kesilmesi anaerobik ortam oluşumu için gereklidir. Haftalık veya daha uzun periyotlarda örtü işleminin yapılması metan gazı üreten organik maddelerin miktarında azalmaya ve dolayısıyla üretilen gaz miktarında düşüğe sebep olacaktır. Ayrıca geri dönüştürülebilir atıkların kaynakta ayrı toplanması ve depolama sahalarına getirilmemesi hem alan kazancı bakımından hem de organik atıkların sahada daha hızlı ayrışmaları için gerekli olan anaerobik ortamın oluşması bakımından önemlidir. Kuyu etrafında ve bağlantı borularındaki gaz kaçağı noktalarının toprak veya geçirimsiz malzeme ile kapatılarak gaz kaçağının engellenmesi, sızıntı suyu drenajının iyi yapılarak bağlantı borularında suyun gaz ile karışmasının engellenmesi ve sızıntı suyunun geri devri ile sahadaki biyolojik faaliyetlerin artırılması gaz toplama verimini önemli ölçüde yükseltecektir.

Depo gazından elektrik enerjisi üretimine yönelik uygulanması planlanan projelerin sürdürülebilir olması için fayda-maliyet analizinin doğru bir şekilde yapılması ve sistemin buna göre tasarlanması gerekmektedir. Bu analiz için değerlendirilmesi gereken başlıca unsurlar depolama sahasının biyogaz üretim kapasitesi, yapılacak tesisin ilk yatırım ve işletme maliyetleri, potansiyel enerji üretim miktarı ve yereldeki enerji birim satış fiyatlarıdır.

Kurulması planlanan tesisin ilk yatırım giderleri ve işletme giderleri bir arada değerlendirildiğinde 25 yıllık işletme süresi boyunca en çok harcama yapılacak olan maliyet kalemi toplam giderlerin %25'ini oluşturacak olan gaz motorları bakım ve onarım giderleri olarak belirlenmiştir. Tesis bakım onarım giderleri kalemi %20 oran ile ikinci en büyük

maliyet kalemini oluşturacaktır. Saha işletme giderlerinin işletmenin karlılığını artıracak seviyelerde tutulabilmesi için nitelikli işgücü önemli bir unsur olarak ortaya çıkmaktadır. İyi işletilen bir depolama sahası toplam maliyetlerin azalmasını ve gaz toplama veriminin artmasını sağlayacak, bu da işletme karlılığını yükseltecektir. Ayrıca ilk yatırım esnasında uygun faiz oranına sahip kredi kaynaklarının kullanılması maliyetlerin daha düşük olmasını sağlayacaktır.

Tesisten elde edilecek gelir miktarı hesaplanırken üretilen enerji miktarı ve birim satış fiyatları kullanılmaktadır. Sistem tasarımında ilk etapta 1,4 MWh kapasiteli 4 adet gaz motoru kullanılması planlanmıştır. Tesis devreye alındıktan sonraki ilk 6 yıl içinde her bir yıl için 1 adet gaz motoru olmak üzere sisteme yine 1,4 MWh kapasiteli 6 adet gaz motoru ilave edilerek kapasite artışı yapılması ve toplamda 10 adet gaz motoru ile elektrik üretimi yapılması uygun bulunmuştur. Bunun sebebi sahaya 2014-2030 yılları arasında atık kabul edilecek olması ve bu dönem içinde atık miktarının sürekli artış gösterecek olması nedeniyle sistemde kapasite artışına ihtiyaç duyulacak olmasıdır. Bu motorlar ile 25 yıllık işletme süresi boyunca tesiste üretilecek kümülatif enerji miktarı 1.735.776 MW olarak hesaplanmıştır.

Ülkemizde bu tip yatırımları teşvik etmek amacıyla devlet tarafından YEKDEM geliştirilmiştir. Yapılan hesaplamalarda tesisin yatırım ve işletme giderleri sabit kalmak kaydıyla 2 farklı senaryo üzerinde çalışılmıştır. Birinci senaryoya göre tesisin devreye alınmasından itibaren 10 yıl süre ile üretilen enerji YEKDEM birim fiyatından (13.3 ABD Doları cent/kWh) satıldığında ve devamında 15 yıl süre ile PTF birim fiyatından (5,6 ABD Doları cent/kWh) satıldığında elde edilecek toplam gelir \$170,783,424 olacaktır. Bu senaryoya göre net kar \$68,705,557 olacak ve karlılık oranı %40,23'e ulaşacaktır. Bu sonuca göre depo gazından enerji üretim tesisi kurulması karlı bir yatırım olacaktır. İkinci senaryoya göre üretilen enerji 25 yıl boyunca PTF birim fiyatından satıldığında elde edilecek toplam gelir \$97,203,456 olacaktır. Bu senaryoya göre net kar \$12,966,826 olacak ve karlılık oranı %13,34'de kalacaktır. Ayrıca iki senaryo arasında belediyenin elde edeceği gelir miktarında \$17,841,237 miktarında bir kayıp yaşanacağı hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar bir arada değerlendirildiğinde depo gazından elektrik enerjisi üretimi amacı ile kurulacak tesislerde teşvik mekanizmasının hem yatırımcılar hem de belediyeler açısından çok önemli olduğu açıktır. 30.01.2021 tarihli, 3453 sayılı Resmi Gazete'da yayınlanan Cumhurbaşkanı kararına göre YEKDEM destek fiyatları değiştirilmiş ve çöp gazı için verilecek teşvik fiyatı 32

kuruş/kWh olarak belirlenmiş, 3'er aylık dönemlerde belirli bir formül üzerinden teşvik fiyatının güncellenmesi kararı alınmıştır. Bu fiyat güncel dolar kuruna göre eski destek fiyatından %72 oranında azdır. Ayrıca destek fiyatı üst sınırı 5,10 ABD Doları cent/kWh olarak belirlenmiştir.

Mevcut kurulu tesisler YEKDEM fiyat değişiminden etkilenmezken 01.07.2021 tarihinden sonra kurulması planlanan tesisler için yatırım kararının tekrar değerlendirilmesi yatırımcılar için zorunluluk halini almıştır. Her ne kadar yeni fiyatların Türk Lirası üzerinden belirlenmesi sektöre ulusal bir bakış açısı kazandıracak olsa da, depo gazından elektrik enerjisi üretim tesisi yatırımlarını cazip olmaktan çıkarmaktadır. Eğer bu sektördeki yatırımlar durursa ülkemizde mevcut bulunan büyük bir ham madde kaynağının kullanılmayacağı ve ekonomik olarak kayıp yaşanacağı açıktır. Bu nedenle yeni YEKDEM düzenlemesi için uygulanabilecek bazı öneriler aşağıda yer almaktadır.

- YEKDEM fiyatlarının güncellenmesinde kullanılan formüldeki döviz kurları ağırlığının artırılması.
- YEKDEM fiyatları için belirlenen üst sınır uygulamasının getirdiği risklere karşı yatırımcıyı koruyacak düzenlemeler yapılması.
- Yatırımcılara uzun vadeli ve uygun faiz oranına sahip kaynakların yaratılması.
- Sektöre çeşitli KDV ve ÖTV istisnalarının sağlanması.

Balıkesir Büyükşehir Belediyesi düzenli depolama sahası konum itibari ile şehir merkezinde bulunmasına rağmen Edremit, Havran, Burhaniye, Gömeç ve Ayvalık gibi Ege Denizi'ne kıyısı olan körfez ilçeleri ile Bandırma, Gönen ve Erdek gibi Güney Marmara bölgesinde yer alan ilçelere uzaklığı 80-120 km arasında değişmektedir. Bu da toplanan atıkların yönetimi ve depolama sahasına transfer edilmesi için farklı bir operasyon süreci gerektirmekte ve taşıma maliyeti oluşturmaktadır. Bunun yanında atık miktarının yüksekliğine bağlı olarak saha işletimi zorlaşmakta ve organik atıkların aerobik parçalanmaya uğramaları ve gaz üretim veriminin düşmesi kaçınılmaz olmaktadır. Transfer maliyetlerinin azaltılması ve atık yönetiminin daha sağlıklı bir şekilde yürütülebilmesi için Körfez bölgesine ve Güney Marmara bölgesine birer adet düzenli depolama sahası yapımının planlanması düşünülebilir. Bu sahalara aynı zamanda depo gazından enerji üretim tesisi kurulması ilgili bölgelerde istihdamı artırırken, kaynak kaybını engelleyecek ve atık yönetiminin yerelleşmesini sağlayacaktır.

Körfez bölgesi için değerlendirilmesi gereken önemli unsurlardan biri yaz dönemlerinde kıyı şeritlerinde nüfusun yoğunlaşması ve düzenli depolama sahasına gelecek atık miktarının artmasıdır. Sahaya atık getiren araç yoğunluğunun arttığı dönemlerde saha işletiminde çeşitli zorluklar ortaya çıkmaktadır. Bu zorlukların aşılması ve emniyetli bir döküm yapılması için saha içi yolların ve platformların iyi planlanması, atıkların hücreleme metodu ile doldurulması, eğim ve rampaların doğru şekilde ayarlanması gerekmektedir.

Kurulacak enerji üretim tesisinin gelirleri değerlendirildiğinde ilk yatırım yapılırken yerli üretim ekipmanların tercih edilerek birim satış fiyatına yerli katkı destek rakamının eklenmesi, toplam gelirlerin ve net karlılığın artmasını sağlayacak bir unsur olarak öne çıkmaktadır.

Ülkemizde yerli gaz motorlarının üretimi ile ilgili olarak yapılacak sanayi yatırımları ve verilecek teşvikler, bu sektördeki ithalatı azaltacak ve gelişmişlik seviyesi ülkemizden daha düşük olan ülkelere ihracat yapılmasının önünü açacaktır. Böylece dış ticaret açığının azalmasına katkı sağlanacaktır. Ayrıca kurulacak enerji üretim tesisine ısı ve mekanik enerjinin birlikte üretildiği kojenerasyon sisteminin eklenmesi ile açığa çıkan atık ısıdan da faydalanılması düşünülebilir.

Depo gazından enerji üretimi için kurulacak olan tesislerin finansal gelirleri hesaplanırken elektrik satış bedelinden elde edilen gelirler başlıca gelir kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Bunun yanı sıra, Koyoto Protokolü kapsamında zorunlu karbon piyasalarındaki gelir getirici mekanizmalardan faydalanamayan Türkiye, yapısı zorunlu karbon piyasaları gibi olan ama bağımsız olarak işleyen gönüllü karbon piyasaları kapsamındaki ton başına sera gazı emisyon azaltımından kaynaklanan karbon kredilerinin satışından elde edilecek gelirlerden faydalanabilir ve bu durum enerji tesislerine ek bir gelir kaynağı yaratabilir.

Atık yönetimi ile ilgili olarak bu çalışmanın tamamlayıcısı niteliğinde olacak farklı konular üzerinde çalışılabilir. Hem ekonomik hem de ekolojik konuları bir arada değerlendiren ekoverimlilik analizi bu konulardan birisidir. Endüstriyel verimliliğin korunması, doğal kaynak kullanımının ve ham madde tüketiminin azaltılması, daha az atık oluşturulması, yeniden kullanım ve geri dönüşümün artmasına yönelik olarak yapılacak temiz üretim faaliyetlerini

kapsayan eko-verimlilik analizi üzerine yapılacak bir çalışma literatüre katkı sağlayacak ve yol gösterici olacaktır.

6. KAYNAKLAR

7. Ulusal Katı Atık Yönetimi Kongresi. (2015). Gaziantep.

Akpınar, N. (2006). *Kentsel Katı Atıklardan Enerji Üretimi* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 181670).

Akpınar, N., ve Şen, M. (2006). Dünya’da ve Türkiye’de Enerji: Uygulamalar ve Sorunlar. Türkiye 10. Enerji Kongresi Programı. İstanbul.

Alpaslan, M. N. (2005). *Katı Atıkların Yönetimi*. TMMOB Çevre Mühendisleri Odası. İzmir.

Altunbaş, D., ve Palabıyık, H. (2004). *Kentsel Katı Atıklar ve Yönetimi, Çevre Sorunlarına Çağdaş Yaklaşımlar*. İstanbul.

Amini, H. R., Mackie, K. R. and Reinhart, D. (2012). Determination of first-order landfill gas modeling parameters and uncertainties. *Waste Management* (pp. 305-316). Elsevier.

Atık Yönetimi Yönetmeliği. (2015, 2 Nisan). *Resmi Gazete* (Sayı: 29314). Erişim adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2015/04/20150402-2.htm>.

Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik. (2010, 26 Mart). *Resmi Gazete* (Sayı: 27533). Erişim adresi: <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=13887&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>.

Atmaca, K. (2015). *Samsun Katı Atık Düzenli Depolama Sahası Deponi Gazı Enerji Verimliliğinin İncelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 390482).

Aydın, A. (2013). *Türkiye’de Depo Gazından Enerji Yönetimi* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 390482).

Aydoğan, Ö., Bilgili, M. S. ve Varank, G. (2011). Gaziantep Tıbbi Atık Yönetimi. *Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, Sigma 3*, (s. 132-140).

- Aygül, H. H., ve Yıldız, D. (2018). Kentsel Katı Atık Yönetimi Kapsamında “Çevreci Komşu Kart Uygulaması”. *Mediterranean Journal of Humanities*, 8(2), (s. 79-100).
- Ayman, A. F., Reinhart, D. R., and You, H. (2007). First-order kinetic gas generation model parameters for wet landfills. *Waste Management*, 27(7), (s. 946-953). Elsevier.
- Balıkesir Entegre Katı Atık Yönetim Planı. (2016). Balıkesir Büyükşehir Belediyesi, Balıkesir.
- Balıkesir Kent Portalı. (2020). Aralık 30, 2020 tarihinde <http://www.balikesir.com.tr/tr/is-dunyasi/kentin-ekonomisi> adresinden alındı.
- Bilgili, M. Y. (2006). *Katı Atık Düzenli Depo Sahalarında Atıkların Aerobik Ve Anaerobik Ayrışması Üzerine Sızıntı Suyu Geri Devrinin Etkileri*. (Doktora Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 180440).
- Bilgili, M. Y. (2020). Katı Atık Yönetiminde Kullanılan Bazı Kavramlar ve Açıklamaları. *Avrasya Terim Dergisi*, 8(2), (s. 88-97).
- Björnsson, L. (2000). *Intensification of the Biogas Process by Improved Process Monitoring and Biomass Retention*. (Ph. D. Thesis). Department of Biotechnology, Lund University.
- Bocco, G., Buenrostro, O. and Cram, S. (2001). Classification of sources of municipal solid wastes in developing countries. *Resources, Conservation and Recycling*, (pp. 29-41).
- Christensen, T. H. (2011). *Solid Waste Technology & Management*. Blackwell Publishing Ltd.
- Christensen, T. H., and Cossu, R. (1998). Basic Processes in Landfills. Proceedings of the International Training Seminar on Management and Treatment of MSW Landfill Leachate. Cagliari, Italy.
- Çakır, A. K., ve Günerhan, H. (2012). İzmir Harmandalı Deponisindeki Metan Gazı Potansiyelinin Belirlenmesi, Bertaraf Ve Değerlendirme Seçeneklerinin Araştırılması. *TMMOB Mühendis ve Makine Dergisi*, 53(631), (s. 24-34).

- Çalışkan, Y. (2013). *Organik madde içeren katı atıkların enerji üretimi amacıyla anaerobik kompostlaştırılması* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 334449).
- Çelebi, M. (2017). *Belediye Atıklarından Çöp Gazı (LFG-Landfill Gas) Elde Edilerek Elektrik Enerjisi Üretilmesi Ve Ülkemizdeki Örneklerinin İncelenmesi* (Uzmanlık Tezi). İller Bankası Anonim Şirketi.
- Çelik, A. (2005). İstanbul Büyükşehir Belediyesi Evsel Katı Atıklardan Enerji Üretim Faaliyetleri. 11. Uluslararası Kojenerasyon, Kombine Çevrim ve Çevre Konferansı, (s. 76-81). İstanbul.
- Çetindemir, H. M. (2012). *Katı Atık Düzenli Depolama Sahalarında Depo Gazı Tahmin Modellerine Alternatif Model Geliştirilmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 322652).
- Badr, O., Daskalopoulos, E., and Probert, S. D. (1997). An Integrated Approach to Municipal Solid Waste Management. *Resources, Conservation and Recycling* (pp. 33-50).
- Badr, O., Daskalopoulos, E. and Probet, S. D. (1997). Economic and Environmental Evaluations of Waste Treatment and Disposal Technologies for Municipal Solid Waste, 58(4), (pp. 209-255).
- Bilgili, M. S., Debik, E., Demir, A., Günay, A., Kanat, G., Karaaslan, Y. ve Özkaya, B. (2001). "Odayeri Düzenli Katı Atık Depo Sahasında Sızıntı Suyu ve Depo Gazı Oluşumu", Araştırma Projesi Nihai Raporu. İstanbul.
- Demir, İ., Altınbaş, M., ve Arıkan, O. (1999). Katı Atıklar İçin Entegre Yönetim Yaklaşımı. Kent Yönetimi İnsan ve Çevre Sorunları Sempozyumu, (s. 252-262). İstanbul.
- Düzenli Depolama Tesisleri Saha Yönetimi ve İşletme Kılavuzu. (2014). Ankara: T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü.
- Energy Information Administration. (2003). Washington: Voluntary Reporting of Greenhouse Gases.
- Constant, M., Damanet, M. J., Ferrero, G. L., Gendebien, A., Nyns, E. J., Pauwels, M., Willumsen, H. C. (1991). Landfill Gas: From Environment to Energy, Commission of the European Communities, Final Report, Luxembourg.

- Günay, A. (2016). Su Temini Sistemlerinin Tasarımı Ders Notları. Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir.
- Gürel, F. (2015). *Tam Ölçekli Bir Katı Atık Depo Sahasında (Odayeri) Çöp Gazından H₂S Gideriminin Araştırılması* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 457754).
- Güven, E. D. (2019). Ege Bölgesi'nde Kentsel Katı Atık Üretimi ve Atığın Metan Gazı Enerji Potansiyelinin Belirlenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 21(61), (s. 311-322).
- Barlaz, M. A. and Ham, R. K. (2012). Sanitary Landfilling: Process, Technology and Environmental Impact, (pp. 155-166). London: Academic Press Limited.
- Haug, R. T. (1993). The practical handbook of compost engineering. Lewis Publishers, Florida.
- Işık, A. (2014). *Katı Atık Bertaraf Tesislerinde Organik Atıklardan Açığa Çıkan Depo Gazı İle Enerji Elde Edilmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 355485).
- Jacobs, J., and Scharff, H. (2001). Comparison Of Methane Emission Models And Methane Emission Measurements. NV Afvalzorg, Netherlands.
- Kamalan, H., Sabour, M., and Shariatmadari, N. (2011). Review on Available Landfill Gas Models. Journal of Environmental Science and Technology, 4(2), (pp. 79-92).
- Kankılıç, T., ve Topal, H. (2015). Belediye Atıklarından Düzenli Depolama Sahalarında Biyogaz ve Enerji Üretimi. Mühendis ve Makine Dergisi, 56(669), (s. 58-69).
- Kiriş, A., ve Saltabaş, F. (2011). Katı Atık Düzenli Depolama Sahalarında Depo Gazı (LFG) Yönetimi ve İstanbul Uygulamaları. Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, Sigma 3, (s. 209-218).
- Koerner, G. R., and Koerner, R. M. (2006). Long-term temperature monitoring of geomembranes at dry and wet landfills. Geotextiles and Geomembranes, 24, (pp. 72-77).
- Aykanat, S., Çil, A. ve Korkmaz, Y. (2012). Organik Atıklardan Biyogaz ve Enerji Üretimi. Sakarya Üniversitesi Fen Edebiyat Dergisi, (s. 489-497).

- Lisk, D. J. (1991). *Environmental Effects of Landfills: Science Of The Total Environment*, 100, (pp. 415-468). New York.
- Farquhar, G. J., McBean, E. A. and Rovers, F. A. (1995). *Solid Waste Landfill Engineering and Design*. Prentice Hall PTR, New Jersey.
- Özcan, H. K. (2009). *Katı Atık Düzenli Depolama Gazlarının Genetik Algoritmalarla Modellenmesi* (Doktora Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 283136).
- Özçakıl, M. (2001). *Türkiye’de Katı Atık Depo Gazı Geri Kazanım Tesislerinin Değerlendirilmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 104228).
- Öztürk, İ. (1999). *Anaerobik Biyoteknoloji ve Atık Arıtımındaki Uygulamaları*. Su Vakfı Yayınları, İstanbul.
- Öztürk, İ. (2010). *Türkiye'nin İklim değişikliği Ulusal Eylem Planı'nın Geliştirilmesi Projesi, Atık Sektörü Mevcut Durum Değerlendirmesi Raporu*. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Öztürk, M. (2018). *Katı Atık Depolama Alanında Depo Gazı Oluşumu*. Ankara.
- Palabıyık, H. (1998). Çevre Sorunu Olarak Kentsel Katı Atıklar (Çöpler) ve Entegre Katı Atık Yönetimi. *Türk İdaresi Dergisi*, 70(420), (s. 45-64).
- Peavy, H. S., Rowe, D. R., and Tchobanoglous, G. (1985). *Solid Waste. Environmental Engineering* (pp. 573-652). McGraw-Hill Book Company.
- Peters, A. P. (2010). *Concise Chemical Thermochemistry, First Edition*. Taylor & Francis Group, Florida.
- Pichtel, J. (2005). *Waste Management Practices/Municipal, Hazardous, and Industrial*. Taylor & Francis, New York.
- Plan Nüfus Projeksiyon Yöntemleri. (2002). Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara.
- Giroult, E., Prüss, A. and Rushbrook, P. (1999). *Safe management of wastes from health-care activities*. World Health Organization, Genova.
- Khan, M. E., Rajaram, V. and Siddiqui, F. Z. (2012). *From Landfill Gas to Energy-Technologies and Challenges*. Taylor & Francis Group, London.

- Saleh, M. H. (2016). Introductory chapter: introduction to hazardous waste management. *Management of Hazardous Wastes* (pp. 3-12).
- Sancaklı, K. K. (1998). Çöpteki Orman. *Yeşil Atlas Dergisi* (Kasım), (pp. 92-95).
- Sarptaş, H. (2016). Assessment of landfill gas (LFG) energy potential based on estimates of LFG models. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 18(3-54), (pp. 491-501).
- Jacobs, J. and Scharff, H. (2006). Applying guidance for methane emission estimation for landfills, *Waste Management*. (pp. 417-429). Elsevier.
- SCS Engineers (2010). *Comparative Analysis of Landfill Gas Utilization Technologies*. Northeast Regional Biomass Program, Virginia.
- Sel, İ. (2016). *Tam Ölçekli Düzenli Depolama Sahasında Depolanmış Evsel Katı Atıkların Metan Potansiyelinin Stokastik Yöntemlerle Belirlenmesi* (Doktora Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 444784).
- Arıkan, O. A., Çetindemir, M. ve Sel, İ. (2012). Düzenli Depolama Sahası Depo Gazından Elektrik Üretimi: İzaydaş Projesi. 12. Uluslararası Yanma Sempozyumu, Kocaeli.
- Borat, M., Özcan, H. K., Sezgin, N. ve Varınca, K. (2003). Katı Atık Depo Gazından Elektrik Üretiminin Türkiye’de Uygulanabilirliğine İki Örnek: İstanbul Ve Bursa Tesisleri.
- Solak, O. (2015). *Türkiye’deki Katı Atık Deponi Alanlarında Oluşan Gazın Çevresel Ve Ekonomik Açından İncelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 392771).
- Speece, R. E. (1996). *Anaerobic biotechnology for industrial wastewater treatment*. Archae Pres., Tennessee, USA.
- Stegmann, R., and Spendlin, H. H. (1986). Research Activities On Enhancement Of Biochemical Processes In Sanitary Landfill. *Water Quality Research Journal*, 21(4), (pp. 572-591).
- Sürücü, G. (1994). Mevcut Çöplüklerin Rehabilitasyonu ve Düzenli Depolama Esaslarına Göre Yeni Kah Atık Tesislerinin Kurulması Semineri, İstanbul.

- Şenaydın, O. (2018). *Türkiye’de Katı Atıkların Kaynağında Ayrı Toplanmasına ve Geri Dönüşümün Hayata Geçirilmesine İlişkin Sorunlar ve Çözüm Önerileri* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 493705).
- Şengüler, İ., ve Yılmaz, B. (1998). Çöp Depolama Alanlarında Oluşan Deponi Gazı Çevresel Etkileri ve Ekonomik Potansiyeli. Jeoloji Mühendisleri Odası.
- Şükür, F. Z. (2019). *Türkiye’deki Kati Atık Depo Sahalarında Madde ve Alan Geri Kazanım Potansiyelinin Değerlendirilmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 546061).
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., and Vigil, S. (1993). *Integrated solid waste management: Engineering principles and management issues*. McGraw-Hill, New York.
- Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (2017, Ocak 25). Resmi Gazete (Sayı: 29959). <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2017/01/20170125-2.htm> adresinden alındı
- TR22 Güney Marmara Bölge Planı Taslağı 2014-2023. (2013). Güney Marmara Kalkınma Ajansı, Balıkesir.
- Türkiye Belediyeler Birliği (2014). *Düzenli Depolama Sahalarının Tasarımı, Yer Seçimi ve Vahşi Depolama Alanlarının Islahı*. Ankara.
- Achterkamp, M. C., De Visser, B. J. and Van Der Zee, D. J. (2004). *Assessing the Market Opportunities of Landfill Mining, Waste Management*. (pp. 795-804).
- Türkiye İstatistik Kurumu. <https://www.tuik.gov.tr>. Erişim Tarihi: 13.12.2020.
- Ölmez, E. ve Yıldız, Ş. (2008). *Kent Yönetimi İnsan ve Çevre Sorunları Sempozyumu*. İstanbul.
- Bozkurt, Y. ve Yılmaz, A. (2010). *Türkiye’de Kentsel Katı Atık Yönetimi Uygulamaları ve Kütahya Katı Atık Birliği (KÜKAB) Örneği*. Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 15(1), (s. 11-28).
- Yılmaz, M. (2019). *Balıkesir İli Eysel Katı Atıklarının Bertarafında Uygun Termal Yöntemin Seçilmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 600676).

Yolcu, İ. D. (1999). Bursa Katı Atık Yönetimi. Kent Yönetimi İnsan ve Çevre Sorunları Sempozyumu. (s. 300-312). İstanbul.

Zeydan, Ö. (2018). Yağmur suyu ve Kanalizasyon Ders Notları. Bülent Ecevit Üniversitesi, Zonguldak.

EKLER

EKLER

EK A: Projeksiyon ve Modelleme Verileri

Tablo A.1: Nüfus projeksiyonu kış dönemi

Yıl	Nüfus	Yıl	Nüfus
2014	1.189.057	2033	1.365.047
2015	1.186.688	2034	1.373.456
2016	1.196.176	2035	1.381.916
2017	1.204.824	2036	1.388.729
2018	1.226.575	2037	1.395.575
2019	1.228.620	2038	1.402.456
2020	1.239.948	2039	1.409.370
2021	1.250.239	2040	1.416.318
2022	1.260.616	2041	1.421.502
2023	1.271.080	2042	1.426.704
2024	1.281.630	2043	1.431.926
2025	1.292.267	2044	1.437.167
2026	1.301.701	2045	1.442.427
2027	1.311.203	2046	1.445.903
2028	1.320.775	2047	1.449.388
2029	1.330.416	2048	1.452.881
2030	1.340.128	2049	1.456.382
2031	1.348.384	2050	1.459.892
2032	1.356.690		

Tablo A.2: Nüfus projeksiyonu yaz dönemi

Yıl	Nüfus	Yıl	Nüfus
2014	2.801.023	2033	3.071.551
2015	2.829.733	2034	3.079.998
2016	2.847.278	2035	3.088.468
2017	2.864.931	2036	3.092.267
2018	2.882.694	2037	3.096.070

2019	2.900.566	2038	3.099.878
2020	2.918.550	2039	3.103.691
2021	2.932.296	2040	3.107.509
2022	2.946.107	2041	3.105.706
2023	2.959.983	2042	3.103.905
2024	2.973.925	2043	3.102.105
2025	2.987.932	2044	3.100.306
2026	2.999.525	2045	3.098.507
2027	3.011.163	2046	3.091.040
2028	3.022.847	2047	3.083.591
2029	3.034.575	2048	3.076.159
2030	3.046.350	2049	3.068.746
2031	3.054.727	2050	3.061.350
2032	3.063.128		

Tablo A.3: Kişi başı üretilecek atık miktarı kış dönemi

Yıl	Atık miktarı (kg/gün-kişi)	Yıl	Atık miktarı (kg/gün-kişi)
2014	0,96	2033	1,20
2015	0,97	2034	1,22
2016	0,98	2035	1,23
2017	0,99	2036	1,25
2018	1,01	2037	1,26
2019	1,02	2038	1,28
2020	1,03	2039	1,29
2021	1,04	2040	1,31
2022	1,06	2041	1,32
2023	1,07	2042	1,34
2024	1,08	2043	1,36
2025	1,09	2044	1,37
2026	1,11	2045	1,39
2027	1,12	2046	1,41
2028	1,13	2047	1,42
2029	1,15	2048	1,44

2030	1,16	2049	1,46
2031	1,18	2050	1,47
2032	1,19		

Tablo A.4: Kişi başı üretilecek atık miktarı yaz dönemi

Yıl	Atık miktarı (kg/gün-kişi)	Yıl	Atık miktarı (kg/gün-kişi)
2014	0,94	2033	1,18
2015	0,95	2034	1,19
2016	0,96	2035	1,21
2017	0,97	2036	1,22
2018	0,99	2037	1,24
2019	1,00	2038	1,25
2020	1,01	2039	1,27
2021	1,02	2040	1,28
2022	1,03	2041	1,30
2023	1,05	2042	1,31
2024	1,06	2043	1,33
2025	1,07	2044	1,34
2026	1,08	2045	1,36
2027	1,10	2046	1,38
2028	1,11	2047	1,39
2029	1,12	2048	1,41
2030	1,14	2049	1,43
2031	1,15	2050	1,44
2032	1,17		

Tablo A.5: Atık projeksiyonu kış dönemi

Yıl	Atık Miktarı (ton/gün)	Yıl	Atık Miktarı (ton/gün)
2014	1.141	2033	1.644
2015	1.153	2034	1.674
2016	1.176	2035	1.704
2017	1.199	2036	1.733

2018	1.235	2037	1.763
2019	1.252	2038	1.793
2020	1.279	2039	1.823
2021	1.305	2040	1.854
2022	1.331	2041	1.883
2023	1.359	2042	1.913
2024	1.386	2043	1.943
2025	1.415	2044	1.973
2026	1.442	2045	2.004
2027	1.470	2046	2.033
2028	1.498	2047	2.063
2029	1.527	2048	2.092
2030	1.557	2049	2.123
2031	1.585	2050	2.153
2032	1.614		

Tablo A.6: Atık projeksiyonu yaz dönemi

Yıl	Atık Miktarı (ton/gün)	Yıl	Atık Miktarı (ton/gün)
2014	2.633	2033	3.622
2015	2.692	2034	3.675
2016	2.741	2035	3.730
2017	2.791	2036	3.779
2018	2.842	2037	3.829
2019	2.894	2038	3.880
2020	2.947	2039	3.931
2021	2.996	2040	3.983
2022	3.047	2041	4.029
2023	3.098	2042	4.075
2024	3.150	2043	4.121
2025	3.202	2044	4.168
2026	3.253	2045	4.216
2027	3.305	2046	4.256
2028	3.358	2047	4.297

2029	3.411	2048	4.338
2030	3.466	2049	4.379
2031	3.517	2050	4.421
2032	3.569		

Tablo A.7: Atık projeksiyonu

Yıl	Atık Miktarı (ton/yıl)	Yıl	Atık Miktarı (ton/yıl)
2014	545.170	2033	769.781
2015	553.549	2034	782.692
2016	564.230	2035	795.822
2017	574.872	2036	808.086
2018	589.260	2037	820.541
2019	598.499	2038	833.191
2020	610.469	2039	846.038
2021	621.959	2040	859.087
2022	633.667	2041	871.040
2023	645.597	2042	883.163
2024	657.754	2043	895.458
2025	670.142	2044	907.929
2026	682.137	2045	920.578
2027	694.349	2046	932.019
2028	706.781	2047	943.608
2029	719.438	2048	955.346
2030	732.323	2049	967.236
2031	744.600	2050	979.279
2032	757.085		

Tablo A.8: Tabasaran & Rettenberger modeline göre deponi gazı potansiyeli

Yıl	Deponi Gazı Miktarı (Nm ³ /yıl)	Yıl	Deponi Gazı Miktarı (Nm ³ /yıl)
2015	14.496.865	2034	32.223.568
2016	40.758.926	2035	28.719.286
2017	63.501.135	2036	25.596.090

2018	83.181.257	2037	22.812.539
2019	100.607.056	2038	20.331.697
2020	115.273.743	2039	18.120.644
2021	128.248.704	2040	16.150.041
2022	139.477.172	2041	14.393.739
2023	149.279.224	2042	12.828.434
2024	157.868.732	2043	11.433.354
2025	165.431.661	2044	10.189.987
2026	172.129.547	2045	9.081.836
2027	177.983.257	2046	8.094.194
2028	183.217.783	2047	7.213.958
2029	187.940.105	2048	6.429.447
2030	192.242.636	2049	5.730.251
2031	196.205.089	2050	5.107.091
2032	40.567.069	Toplam	2.599.021.556
2033	36.155.438		

Tablo A.9: Multi-Phase modeline göre oluşacak deponi gazı potansiyeli

Yıl	Deponi Gazı Miktarı (Nm ³ /yıl)	Yıl	Deponi Gazı Miktarı (Nm ³ /yıl)
2015	7.800.241	2034	8.040.138
2016	13.179.771	2035	7.152.972
2017	16.743.069	2036	6.397.821
2018	18.935.142	2037	5.753.285
2019	20.132.168	2038	5.201.520
2020	20.563.382	2039	4.727.637
2021	20.460.157	2040	4.319.210
2022	19.981.191	2041	3.965.865
2023	19.251.292	2042	3.658.935
2024	18.364.706	2043	3.391.177
2025	17.391.745	2044	3.156.534
2026	16.384.060	2045	2.949.939
2027	15.377.620	2046	2.767.147
2028	14.398.939	2047	2.604.604

2029	13.465.883	2048	2.459.327
2030	12.589.770	2049	2.328.813
2031	11.777.027	2050	2.210.958
2032	10.318.294	Toplam	367.285.320
2033	9.084.982		

Tablo A.10: Scholl Canyon modeline göre deponi gazı potansiyeli

Yıl	Deponi Gazı Miktarı (Nm ³ /yıl)			Yıl	Deponi Gazı Miktarı (Nm ³ /yıl)		
	k ₁ =0,35	k ₂ =0,1	k ₃ =0,05		k ₁ =0,35	k ₂ =0,1	k ₃ =0,05
2015	45.716.812	16.771.871	8.815.892	2034	1.171.972	49.696.013	67.543.885
2016	64.927.313	30.584.869	16.900.754	2035	825.875	44.966.812	64.249.731
2017	69.249.510	41.886.061	24.332.330	2036	581.984	40.687.654	61.116.234
2018	65.668.946	51.001.915	31.146.940	2037	410.117	36.815.712	58.135.560
2019	58.461.490	58.300.186	37.429.460	2038	289.005	33.312.234	55.300.256
2020	49.918.628	63.919.934	43.141.443	2039	203.658	30.142.156	52.603.230
2021	41.445.930	68.144.246	48.350.644	2040	143.515	27.273.750	50.037.740
2022	33.707.194	71.161.242	53.080.049	2041	101.134	24.678.310	47.597.371
2023	26.984.380	73.148.763	57.360.048	2042	71.268	22.329.858	45.276.020
2024	21.335.517	74.262.802	61.219.331	2043	50.221	20.204.891	43.067.882
2025	16.700.508	74.639.971	64.684.978	2044	35.390	18.282.142	40.967.437
2026	12.964.500	74.399.699	67.782.545	2045	24.939	16.542.366	38.969.431
2027	9.993.714	73.640.369	70.530.567	2046	17.574	14.968.151	37.068.870
2028	7.657.744	72.454.186	72.952.407	2047	12.384	13.543.744	35.261.000
2029	5.837.674	70.921.199	75.070.090	2048	8.727	12.254.886	33.541.300
2030	4.430.325	69.110.721	76.904.369	2049	6.150	11.088.679	31.905.472
2031	3.349.087	67.082.601	78.474.798	2050	4.334	10.033.452	30.349.424
2032	2.360.062	60.698.847	74.647.537	Toplam	546.330.688	1.593.872.880	1.826.821.957
2033	1.663.107	54.922.588	71.006.934				

Tablo A.11: Tabasaran & Rettenberger modeline göre elektrik enerjisi potansiyeli

Yıl	Enerji Miktarı (kWh)	Yıl	Enerji Miktarı (kWh)
2015	8.180	2034	18.181
2016	22.997	2035	16.204
2017	35.829	2036	14.442
2018	46.933	2037	12.871
2019	56.765	2038	11.472
2020	65.041	2039	10.224
2021	72.361	2040	9.112
2022	78.697	2041	8.121
2023	84.227	2042	7.238
2024	89.074	2043	6.451
2025	93.341	2044	5.749
2026	97.120	2045	5.124
2027	100.423	2046	4.567
2028	103.376	2047	4.070
2029	106.041	2048	3.628
2030	108.469	2049	3.233
2031	110.704	2050	2.882
2032	22.889	Toplam	1.466.439
2033	20.400		

Tablo A.12: Multi-Phase modeline göre elektrik enerjisi potansiyeli

Yıl	Enerji Miktarı (kWh)	Yıl	Enerji Miktarı (kWh)
2015	4.401	2034	4.536
2016	7.436	2035	4.036
2017	9.447	2036	3.610
2018	10.684	2037	3.246
2019	11.359	2038	2.935
2020	11.602	2039	2.667
2021	11.544	2040	2.437
2022	11.274	2041	2.238

2023	10.862	2042	2.064
2024	10.362	2043	1.913
2025	9.813	2044	1.781
2026	9.244	2045	1.664
2027	8.676	2046	1.561
2028	8.124	2047	1.470
2029	7.598	2048	1.388
2030	7.103	2049	1.314
2031	6.645	2050	1.247
2032	5.822	Toplam	207.232
2033	5.126		

Tablo A.13: Scholl Canyon modeline göre elektrik enerjisi potansiyeli

Yıl	Enerji Miktarı (kWh)			Yıl	Enerji Miktarı (kWh)		
	k=0,35	k=0,1	k=0,05		k=0,35	k=0,1	k=0,05
2015	25.795	9.463	4.974	2034	661	28.040	38.110
2016	36.634	17.257	9.536	2035	466	25.372	36.251
2017	39.072	23.633	13.729	2036	328	22.957	34.483
2018	37.052	28.777	17.574	2037	231	20.772	32.802
2019	32.986	32.895	21.119	2038	163	18.796	31.202
2020	28.165	36.065	24.342	2039	115	17.007	29.680
2021	23.385	38.449	27.281	2040	81	15.389	28.233
2022	19.019	40.151	29.949	2041	57	13.924	26.856
2023	15.225	41.273	32.364	2042	40	12.599	25.546
2024	12.038	41.901	34.542	2043	28	11.400	24.300
2025	9.423	42.114	36.497	2044	20	10.315	23.115
2026	7.315	41.978	38.245	2045	14	9.334	21.988
2027	5.639	41.550	39.795	2046	10	8.445	20.915
2028	4.321	40.881	41.162	2047	7	7.642	19.895
2029	3.294	40.016	42.357	2048	5	6.915	18.925
2030	2.500	38.994	43.392	2049	3	6.257	18.002
2031	1.890	37.850	44.278	2050	2	5.661	17.124
2032	1.332	34.248	42.118	Toplam	308.255	899.307	1.030.743

2033	938	30.989	40.064				
------	-----	--------	--------	--	--	--	--

Tablo A.14: Birinci senaryoya göre yıllara sari enerji üretim miktarları ve gelirler

Yıl	Motor Sayısı	Enerji Üretim Miktarı (MW)	Gelirler
2021	4	48.384	\$6,435,072
2022	5	60.480	\$8,043,840
2023	6	72.576	\$9,652,608
2024	7	84.672	\$11,261,376
2025	8	96.768	\$12,870,144
2026	9	108.864	\$14,478,912
2027	10	120.960	\$16,087,680
2028	10	120.960	\$16,087,680
2029	10	120.960	\$16,087,680
2030	10	120.960	\$16,087,680
2031	10	108.864	\$6,096,384
2032	10	96.768	\$5,419,008
2033	10	84.672	\$4,741,632
2034	10	72.576	\$4,064,256
2035	10	60.480	\$3,386,880
2036	10	54.432	\$3,048,192
2037	10	48.384	\$2,709,504
2038	10	43.546	\$2,438,554
2039	10	38.707	\$2,167,603
2040	10	35.078	\$1,964,390
2041	10	31.450	\$1,761,178
2042	10	29.030	\$1,625,702
2043	10	26.611	\$1,490,227
2044	10	25.402	\$1,422,490
2045	10	24.192	\$1,354,752
Toplam		1.735.776	\$170,783,424

Tablo A.15: İkinci senaryoya göre yıllara sari enerji üretim miktarları ve gelirler

Yıl	Motor Sayısı	Enerji Üretim Miktarı (MW)	Gelirler
2021	4	48.384	\$2,709,504
2022	5	60.480	\$3,386,880
2023	6	72.576	\$4,064,256
2024	7	84.672	\$4,741,632
2025	8	96.768	\$5,419,008
2026	9	108.864	\$6,096,384
2027	10	120.960	\$6,773,760
2028	10	120.960	\$6,773,760
2029	10	120.960	\$6,773,760
2030	10	120.960	\$6,773,760
2031	10	108.864	\$6,096,384
2032	10	96.768	\$5,419,008
2033	10	84.672	\$4,741,632
2034	10	72.576	\$4,064,256
2035	10	60.480	\$3,386,880
2036	10	54.432	\$3,048,192
2037	10	48.384	\$2,709,504
2038	10	43.546	\$2,438,554
2039	10	38.707	\$2,167,603
2040	10	35.078	\$1,964,390
2041	10	31.450	\$1,761,178
2042	10	29.030	\$1,625,702
2043	10	26.611	\$1,490,227
2044	10	25.402	\$1,422,490
2045	10	24.192	\$1,354,752
Toplam		1.735.776	\$97,203,456

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Umut GÜLTEKİN
Doğum tarihi ve yeri : 09.11.1984/ESKİŞEHİR
e-posta : umut_gultekin26@hotmail.com

Öğrenim Bilgileri

Derece	Okul/Program	Yıl
Lisans	İstanbul Üniversitesi/Çevre Mühendisliği	2002-2008
Lise	Eskişehir Fatih Anadolu Lisesi	1995-2002