

**T.C.**  
**KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIM VE TABİİ BİTKİ KAYNAKLARI**  
**ANA BİLİM DALI**



**KASTAMONU İLİ DÜZENLİ DEPOLAMA ALANINDAKİ**  
**BİYOĞAZ ÜRETİM POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI**

**SÜHA ÖZATA**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DR. ÖĞR. ÜYESİ GÖKÇE DİDAR DEĞERMENCİ**

**OCAK - 2022**

**KASTAMONU**



## TAAHHÜTNAME

*Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu; ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını, bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini bildirir ve taahhüt ederim.*

**Süha ÖZATA**

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

#### KASTAMONU İLİ DÜZENLİ DEPOLAMA ALANINDAKİ BİYOGAZ ÜRETİM POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI

SÜHA ÖZATA

KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIM VE TABİİ BİTKİ KAYNAKLARI ANA BİLİM  
DALI

DANIŞMAN:DR. ÖĞR. ÜYESİ GÖKÇE DİDAR DEĞERMENCİ

Son yıllarda Dünya da ve ülkemizde artan nüfus ile beraber tüketim alışkanlıklarının değişkenlik göstermesi sebebi ile katı atık miktarı ve bileşimleri de değişmektedir. Nüfus projeksiyonları katı atık üretim miktarlarını önemli derece de etkilemektedir. Bu çalışmada, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) Kastamonu ili nüfus bilgilerinden faydalanarak gelecek yıllara ait nüfus projeksiyonları İller Bankası yöntemi ile hesaplanmıştır. Sonrasında 2018-2020 yıllarına ait günlük kişi başı katı atık üretim miktarı, merkez ve ilçelerden gelen yıllık atık miktarı ve nüfus değerleri kullanılarak 0,96 kg/kişi.gün olarak bulunmuştur. Hesaplanan bu değer Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının 2023 yılı Ulusal Atık Yönetimi ve Eylem Planı çerçevesinde kişi başı atık miktarı ile örtüştüğü görülmüştür. Katı atık düzenli depolama tesisinde oluşacak gaz miktarlarını hesaplamak için EPA (LandGEM) ve Tabasaran/Rettenberg matematiksel modeller kullanılmıştır. Kastamonu Mahalli İdareler Birliği'nden temin edilen yıllık katı atık verileri kullanılarak EPA (LandGEM) ve Tabasaran/Rettenberg kinetik modelleri ile gelecek yıllarda oluşacak biyogaz ve metan gazı miktarları tahmin edilmiştir. Uygulanan EPA kinetik modelinin CAA ve AP-42 için gaz oluşumu 153 ve 90 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ton bulunmuştur. Tabasaran/Rettenberger kinetik modeline göre hesaplandığında ise birim ton atık başına oluşan metan gazı hacmi 102 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ton bulunmuştur. Kastamonu Deponi Gazı Elektrik Üretim Tesisi işletmesinden alınan deponi gazının CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>S değerleri sırasıyla %46, %36, %2 ve 3 ppm ölçülmüştür. Bu veriler kullanılarak 1 m<sup>3</sup>/saat deponi gazının enerji değeri, birim dönüştürmeler yapıldığı da (1 kW<sub>s</sub> ise 860 kkal) 3909 kkal = 4,54 kW<sub>s</sub> olarak hesaplanmıştır.

**ANAHTAR KELİMELER:** Katı atık, Deponi gazı, Tabasaran ve Rettenberg, LandGEM, Kastamonu

Ocak 2022, 58 Sayfa

## ABSTRACT

### MSC THESIS

#### INVESTIGATION OF THE BIOGAS PRODUCTION POTENTIAL IN THE LANDFILL AREA IN KASTAMONU

#### SÜHA ÖZATA

KASTAMONU UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE  
DEPARTMENT OF SUSTAINABLE AGRICULTURE AND NATURAL  
PLANT RESOURCES  
SUPERVISOR:ASSIST. PROF. GÖKÇE DİDAR DEĞERMENCİ

In recent years, due to the fact that consumption habits have changed with the increasing population in the world and in our country, the amount and composition of solid waste has also changed. Population projections significantly affect the amount of solid waste production. In this study, population projections for the next years were calculated using the Provincial Bank method by using the population information of Kastamonu province. After that, the amount of solid waste production per person for 2018-2020 was found to be 0.96 kg/person.day, and this calculated value coincided with the amount of waste per person within the framework of the National Waste Management and Action Plan of the Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change for 2023. Mathematical models have been used to calculate the amount of gas that will be generated in a solid waste landfill facility. Using solid waste data obtained from the Kastamonu Local Administrations Association, the amount of solid waste for the coming years was calculated using the EPA and Tabasaran/Rettenberg kinetic models and the amount of landfill gas and methane gas to be formed was estimated. The gas formation for CAA and AP-42 of the applied EPA kinetic model was found to be 153 and 90 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ton. When calculated according to the Tabasaran/Retenberger kinetic model, the volume of methane gas formed per unit ton of waste was found to be 102 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ton. The CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S values of the landfill gas taken from the Kastamonu Landfill Gas Power Generation Plant were measured at 46%, 36%, 2% and 3 ppm, respectively. Using these data, the energy value of 1 m<sup>3</sup>/hour storage gas was calculated as 3909 kcal = 4.54 kWh when unit conversions were made (860 kcal if 1 kWh).

**KEYWORDS:** Solid waste, Landfill gas, Tabasaran and Rettenberg, LandGEM, Kastamonu

January 2022, 58 Page

## TEŞEKKÜR

Ciddi bir emek ve özveri ile hazırladığım yüksek lisans tezimi tamamlamanın heyecanımı ve gururunu yaşıyorum. Bu bölümü bendenize yardımlarını esirgememiş ve teşvik etmiş insanlara teşekkür etmek için bir fırsat olarak kullanacağım. Öncelikle danışmanlığımı üstlenen, konu seçiminden araştırmanın yürütülmesine dek beni sınırlamayıp özgür bırakan hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Gökçe Didar DEĞERMENCİ' ye danışmanlığı için çok teşekkür ediyorum.

Tez çalışmamda değerli görüşleri ile araştırmanın şekillenmesini sağlayan Sayın Dr. Öğr. Üyesi Nejdet DEĞERMENCİ hocamıza da teşekkürü borç bilirim.

Benim bugünlere gelmemde en büyük rol oynayan aileme sonsuz teşekkür ederim.

SÜHA ÖZATA

Kastamonu, 2022

# İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>TEZ ONAYI</b> .....	<b>ii</b>
<b>TAAHHÜTNAME</b> .....	<b>iii</b>
<b>ÖZET</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>v</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>vi</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>vii</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>ix</b>
<b>TABLolar DİZİNİ</b> .....	<b>x</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	<b>xi</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. KATI ATIK HAKKINDA GENEL BİLGİ</b> .....	<b>3</b>
2.1 Katı Atıkların Sınıflandırılması.....	4
2.1.1 Birleşimleri ve Özelliklerine Göre Katı Atık Türler .....	4
2.1.2 Kaynaklarına Göre Katı Atık Türleri.....	5
2.1.2.1 Evsel katı atıklar .....	5
2.1.2.2 Endüstriyel atıklar .....	6
2.1.2.3 Tehlikeli atıklar .....	7
2.1.2.4 Tıbbi atıklar .....	7
2.1.2.5 Tarımsal, hayvansal ve bahçe atıkları .....	7
2.1.2.6 Hafriyat toprağı, inşaat ve yıkıntı atıkları.....	8
2.1.2.7 Elektronik atıklar .....	8
2.2 Katı Atık Bertaraf Yöntemleri.....	8
2.2.1 Geri Kazanma .....	9
2.2.2 Kompostlaştırma.....	9
2.2.3 Yakma.....	9
2.2.4 Piroliz .....	10
2.2.5 Düzenli Depolama .....	10
2.3 Katı Atık Parametreleri .....	11
2.4 Katı Atık Yöntemi.....	12
2.4.1 Entegre Katı Atık Yöntemi.....	12
2.4.2 Kentsel Katı Atık Yönetimi.....	13
2.4.2.1 Türkiye’de ve dünyada kentsel katı atık yönetimi ve uygulamaları... 15	
2.4.2.1.1 Dünyada kentsel katı atık yönetimi ve uygulamaları.....	15
2.4.2.1.2 Türkiye’de kentsel atık yönetimi .....	17
2.5 Katı Atık Düzenli Depolama Alanlarında Sızıntı Suyu ve Deponi Gazı Oluşumu ve Özellikleri .....	18
2.5.1 Sızıntı Suyu Oluşumu ve Özellikleri .....	18
2.5.2 Sızıntı Suyu Miktarı .....	19
2.5.3 Sızıntı Suyu Karakterizasyonu .....	20
2.5.3.1 Faz 1: aerobik bozunma fazı.....	22
2.5.3.2 Faz 2: geçiş fazı .....	23
2.5.3.3 Faz 3: asit oluşum fazı .....	23
2.5.3.4 Faz 4: metan oluşum fazı.....	23
2.5.3.5 Faz 5: olgunluk fazı .....	24

2.6	Depo Gazının Oluşumunu Etkileyen Faktörler .....	25
2.6.1	pH ve Alkalinite .....	26
2.6.2	Sıcaklık .....	27
2.6.3	Nem/ Su Muhtevası .....	27
2.6.5	Besi Maddeleri (Nütrientler) .....	28
2.6.6	İnhibitörler .....	28
2.6.7	Oksijen.....	28
2.6.8	Hidrojen.....	29
<b>3.</b>	<b>MATERYAL VE YÖNTEM .....</b>	<b>30</b>
3.1	Kastamonu İli ve Katı Atık Yönetimi .....	30
3.1.1	Kastamonu'nun Coğrafik Konumu, Topografyası, İklim ve Bitki Örtüsü, Nüfus ve Ekonomik Yapısı.....	30
3.1.2	Kastamonu İli Kentsel Katı Atık Yönetim Sistemi .....	30
3.2	Kastamonu İli Düzenli Depolama Sahası.....	33
3.3	Kastamonu Deponi Gazı Elektrik Üretim Tesisinin Tanıtımı.....	35
3.4	Kastamonu Deponi Gazı Modellemesi İçin Gerekli Verilerin Hesaplanması .....	37
3.4.1	Nüfus Tahmin Yöntemi .....	37
3.4.1.1	İller bankası yöntemi .....	38
3.4.2	Deponi Gazı Kinetik Modelleri .....	39
3.4.2.1	EPA (LandGEM) modeli.....	39
3.4.2.2	Tabasaran ve Rettenberger modeli .....	40
<b>4.</b>	<b>BULGULAR .....</b>	<b>41</b>
4.1	Kastamonu İli Nüfus Tahmini ve Yıllık Enerji Tüketimi .....	41
4.2	Katı Atık Miktarı .....	42
4.3	Deponi Alanında oluşacak Deponi Gazının Ölçülmesi.....	44
4.3.1	Deponi Gazının EPA (LandGEM) Modeli ile Tahmini .....	44
4.3.2	Deponi Gazının Tabasaran/Rettenberger Modeli ile Tahmini .....	47
4.4	Kastamonu Deponi Gazının Enerji Potansiyeli.....	49
<b>5.</b>	<b>SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>51</b>
	<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>53</b>
	<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>58</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Şekil 2.1 Katı atıkların sınıflandırılması .....	4
Şekil 2.2 Birleşimleri ve özelliklerine göre sınıflandırılan katı atıklar.....	5
Şekil 2.3 Katı atık türlerine göre sınıflandırma.....	5
Şekil 2.4 Evsel katı atıkların genel kaynakları.....	6
Şekil 2.5 Düzenli depolama sahası .....	10
Şekil 2.6 Katı atık yönetim sistemi hiyerarşisi .....	11
Şekil 2.7 Entegre atık yönetimi akış diyagramı .....	13
Şekil 2.8 Katı atık yönetim sistemi .....	14
Şekil 2.9 Bölgelere göre atık üretimi .....	16
Şekil 2.10 Dünya da katı atık yönetimi.....	17
Şekil 2.11 Atık bertaraf ve geri kazanım tesisleri istatistikleri .....	18
Şekil 2.12 Stabilizasyon fazları, depo gazı bileşenleri ve sızıntı suyu özellikleri .....	25
Şekil 2.13 Deponi gazı üretimini etkileyen faktörler .....	26
Şekil 3.1 Kastamonu düzenli depolama tesisinin işletmeye alınmadan önceki hali .....	34
Şekil 3.2 Kastamonu düzenli depolama tesisinin işletmede ki hali .....	35
Şekil 3.3 Kastamonu ili deponi gazı elektrik üretim tesisi.....	37
Şekil 4.1 Kastamonu ili, ilçe, belde ve köylerin nüfus artışları .....	42
Şekil 4.2 Deponi gazı oluşumu a) CAA ve b) AP-42 Modeli.....	46
Şekil 4.3 Tabasaran/Rettenberg modeline göre oluşan depo gazı ve metan gazı oluşumu.....	49

## TABLolar DİZİNİ

### Sayfa

Tablo 2.1 Literatürde sızıntı suyu parametreleri ve değerleri .....	20
Tablo 3.1 Kastamonu merkez ili ve ilçe çöplükleri .....	31
Tablo 3.2 Kastamonu ilinde 2020 yılında toplanan belediye atıkları .....	32
Tablo 3.3 Yıllara göre Kastamonu ilinde toplanan katı atık miktarları .....	33
Tablo 3.4 Planlanan düzenli depolama alanı lotları, kapasiteleri, hizmet yılları .....	35
Tablo 3.5 Kastamonu ili geçmiş nüfus verileri .....	38
Tablo 4.1 Kastamonu ili yıllara göre nüfus artışı.....	41
Tablo 4.2 Türkiye ve Kastamonu geneli yıllık enerji tüketimi .....	42
Tablo 4.3 Kastamonu ili düzenli depolama alanına gelen yıllara göre katı atık miktarı ve kişi başı ortalama katı atık miktarı .....	43
Tablo 4.4 Kişi başına üretilen evsel katı atık miktarı tahminleri .....	43
Tablo 4.5 LandGEM modeli CAA ve AP-42 için biyogaz miktarları .....	44
Tablo 4.6 LandGEM model sonuçlarının 200 yıllık karşılaştırılması .....	47
Tablo 4.7 Tabasaran/Rettenberg modeline göre oluşan biyogaz .....	47
Tablo 4.8 Tabasaran/Rettenberg modeline göre 200 yıllık birim metan oluşumu, toplam deponi ve metan gazı oluşumu .....	49
Tablo 4.9 Deponi gazının yanması sonucu oluşan CO <sub>2</sub> emisyonu .....	50
Tablo 4.10 Kinetik modellere göre açığa çıkan CO <sub>2</sub> emisyonu miktarları.....	50

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

<b>L</b>	: Çöp sızıntı suyu oluşumu ( $m^3/yıl$ )
<b>P</b>	: Yağış miktarı ( $m^3/m^2/yıl$ )
<b>S1</b>	: Çöp sahası tesirli drenaj alanı ( $m^2$ )
<b>J</b>	: Geri dönen sızıntı suyu miktarı ( $m^3$ )
<b>R</b>	: Yüzeysel akış ( $m^3$ )
<b>E</b>	: Su tüketim hızı ( $m^3/m^2/yıl$ )
<b>S2</b>	: Ortalama çöp bertaraf alanı (düzenli depolama) ( $m^2$ )
<b>U</b>	: Atığın su muhtevası
<b>W</b>	: Düzenli depolamada çöpleri sıkıştırma esnasında çöpten sızan su ( $m^3$ )
<b>Iw</b>	: Sıkıştırma esnasında çöpten sızan birim su ( $m^3/L$ çöp)
<b>T</b>	: Aylık ortalama sıcaklık ( $^{\circ}C$ )
<b>B</b>	: Biyolojik bozunmada üretilen veya tüketilen su miktarı ( $1,6x(\dot{I}/100)+0,5$ )
<b>C</b>	: Katsayı
<b>P</b>	: Nüfus artış hızı
<b>Ng</b>	: Gelecekteki Nüfus Değeri
<b>Ns</b>	: Son Nüfus Değeri
<b>Ni</b>	: İlk Nüfus Değeri
<b>tg</b>	: Gelecekteki nüfus değerine karşılık gelen yıl
<b>ts</b>	: Son nüfus sayımının yapıldığı yıl
<b>ti</b>	: İlk nüfus sayımının yapıldığı yıl
<b>QLFG</b>	: yıl içerisindeki metan üretim miktarı ( $m^3 CH_4/yıl$ )
<b>i</b>	: 1 yıllık artış
<b>n</b>	: Hesaplama yılı atık kabulünün yapıldığı yıl
<b>j</b>	: 0,1 yıllık zaman artışı
<b>k</b>	: metan üretim hızı ( $yıl^{-1}$ )
<b>Lo</b>	: potansiyel metan üretim kapasitesi ( $m^3/ton$ )
<b>Mi</b>	: i.yılda kabul edilen atık miktarı (ton)
<b>tij</b>	: t.yılda depolanan atığın yaşı (yıl)
<b>Gt</b>	: t. yıla kadar üretilen gaz miktarı ( $Nm^3$ )
<b>Corg</b>	: Organik karbon içeriği (kg/ton atık)
<b><math>\theta</math></b>	: Sıcaklık ( $^{\circ}C$ )
<b>t</b>	: İlk atık depolama yılından başlayarak geçen süre (yıl)
<b>k</b>	: Deponi gazı oluşum hızı sabiti ( $yıl^{-1}$ )
<b>Mt</b>	: t. yılda depolanan atık miktarı (ton)

### Kısaltmalar

<b>EPA</b>	: Çevre Koruma Ajansı
<b>CO<sub>2</sub></b>	: Karbondioksit
<b>CH<sub>4</sub></b>	: Metan

<b>C/N</b>	: Karbon/Azot
<b>H<sub>2</sub>S</b>	: Hidrojen Sülfür
<b>AB</b>	: Avrupa Birliği
<b>TÜİK</b>	: Türkiye İstatistik Kurumu
<b>NH<sub>3</sub></b>	: Amonyak
<b>KASMB</b>	: Kastamonu Mahalli İdareler Birliği
<b>LFG</b>	: Deponi gazı
<b>CAA</b>	: Temiz hava yasası
<b>AP-42</b>	: Hava kirletici faktörleri

## 1. GİRİŞ

Geçmişten günümüze yapılan araştırmalara göre toplumların sosyo-ekonomik yapıları değişmektedir. Bu sosyo-ekonomik farklılığa bağlı olarak üretim ve tüketim alışkanlıkları da farklılık göstermektedir. Nüfusun, artan yaşam standartlarının ve hızlı değişkenlik gösteren teknolojik gelişmelerin büyük ölçüde artması, aynı zaman da insan ve çevre arasındaki dengenin sağlanamaması, sürdürülebilir yaşamın bir o kadar göz ardı edilmesi sonucu ortaya çıkan evsel, endüstriyel vb. kirlilik parametrelerinin çeşitliliğini de arttırmaktadır (Atmaca, 2015).

Kirlilik parametrelerinin sonucu olarak küresel ısınmaya neden olan çevre ve insan sağlığına zarar veren sera gazları son yıllarda hızlı bir şekilde artmaktadır. Atmosferde sera gazlarının içeriğini ilk sırada karbondioksit (CO<sub>2</sub> yaklaşık % 9-26'sını), ikinci sırada ise metan (CH<sub>4</sub> %4-9'unu) oluşturmaktadır (EPA, 2006).

Küresel ölçekte artan sanayi ve nüfusun yanı sıra artan yaşam standartları nedeni ile katı atık üretim hızı da doğru orantılı olarak artmaktadır (Shen vd., 2018). Geçmişte çöpün rastgele atıldığı vahşi depolama alanlarının yerine günümüzde düzenli depolama sahaları yapılmaktadır. TÜİK verilerine göre ülkemiz de düzenli depolama alanlarında katı atık miktarı 2014 yılında 41 milyon ton iken 2018 yılında ise 56 milyon ton atık tespit edilmiştir (URL-4, 2020).

Düzenli depolama alanları büyük miktarda organik madde içerdiğinden anaerobik parçalanma sonucu büyük bir kısmını CO<sub>2</sub> ve CH<sub>4</sub> gazı oluşturmaktadır. Bu düzenli depolama alanları, CH<sub>4</sub> emisyonlarının başlıca antropojenik kaynaklarından biri olarak görülmektedir (Shen vd., 2018).

Düzenli depolama sahalarında açığa çıkan biyogazın büyük bir miktarı CH<sub>4</sub> gazı olup küresel ısınmaya neden olmasına rağmen yenilebilir enerji kaynağıdır. Enerji kaynağı olarak sağladığı faydanın yanı sıra aynı zamanda hammadde kaynağını oluşturmaktadır. Fosil yakıtların azlığı ve ham petrol fiyatlarında ki artış yeni enerji kaynaklarının arayışına acil hale getirmekte ve bunun sonucun da temiz ve yenilebilir enerji kaynaklarının kullanımını teşvik etmekte ve sera gazı emisyonlarını

azaltılmasında olanak sağlamaktadır (Da Silva vd., 2020). Türkiye’de de düzenli depolama sahalarından elde edilen enerji miktarı her geçen gün artmaktadır (Kale ve Gökçek, 2020).

Bu tez çalışması, TÜİK’den elde edilen nüfus verileri kullanılarak Kastamonu iline ait gelecek yılların nüfus projeksiyonlarının hesaplanmasını, 2015 yılı itibari ile işletmeye alınan Kastamonu İli Katı Atık Düzenli Depolama Tesisi için depolanan evsel katı atık miktarları yardımıyla kişi başı ortalama katı atık miktarının belirlenmesini, gelecek yıllar için oluşabilecek biyogaz ve metan gazı miktarlarının matematiksel modeller (EPA ve Tabasaran/Rettenberg) kullanılarak hesaplanmasını ve üretilebilecek elektrik enerjisi miktarının hesaplanmasını içermektedir. Ayrıca, oluşabilecek metan gazı ve karbondioksit salınımları, katı atık tesisinden alınan veriler ile kıyaslanarak değerlendirilmesini içermektedir.

## 2. KATI ATIK HAKKINDA GENEL BİLGİ

Dünya genelinde hızlı nüfus artışı ile beraber kentleşmelerde bu oranda artış göstermiştir. Kentleşmelerin ülke ekonomisine sağladığı katkının yanı sıra büyük miktarlarda oluşturdukları atık nedeni ile güvenli atık yönetimlerine yönelimlerine ihtiyaç duyulmuştur (Babu vd., 2021). 2016 yılında Dünya genelinde yıllık 2,01 milyar ton kentsel katı atık üretildiği tahmin edilmekte ve bu katı atığın %33'ünün toplanmadığı belirtilmektedir. Ayrıca toplam katı atık miktarının 2050 yılına kadar 3,40 milyar tona çıkması beklenmektedir (Guo vd., 2021).

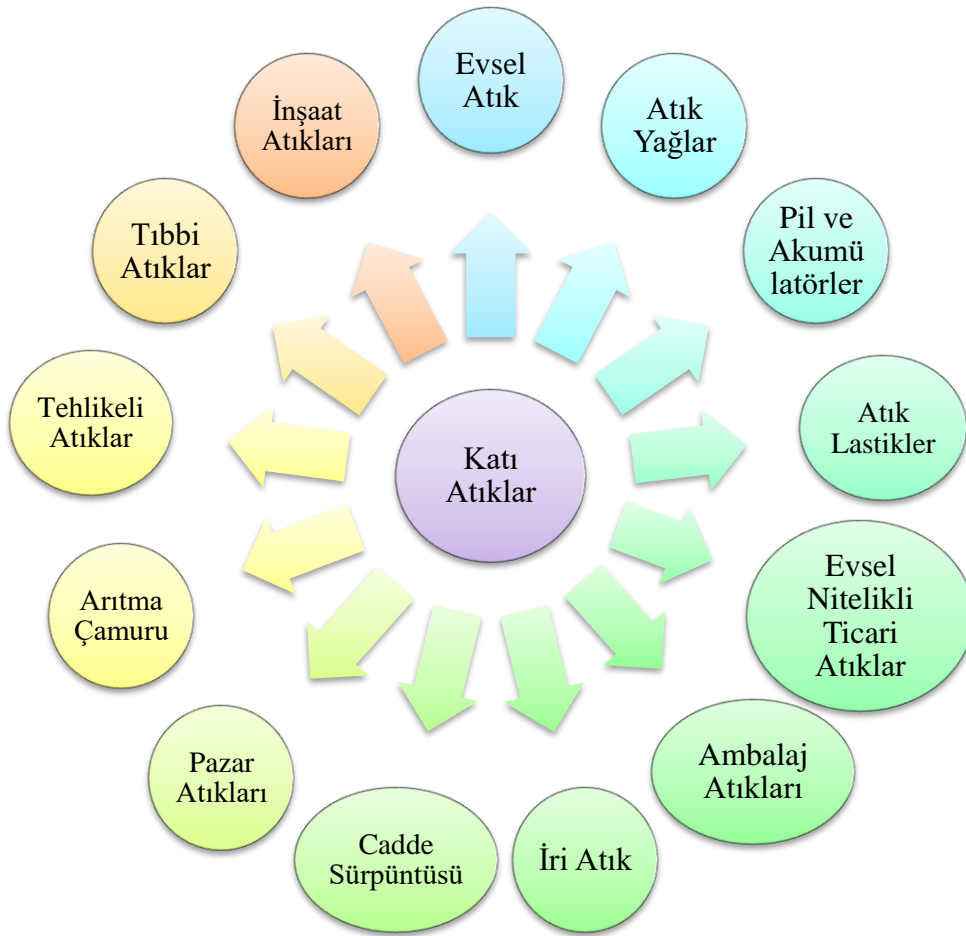
Atık kavramı literatüre bakıldığında tanımlayana göre değişmektedir. Mühendisler için, belediye katı atıkları konut ve ticari kaynaklardan atılan malzemeler veya sahibi için değeri kalmayan malzeme olarak tanımlanır. Antropologlar ise çöpün bir kültürün olgusal kanıtı olduğunu, “insanların sahip oldukları ve attıkları, yaşadıkları hayatlar hakkında düşünülenden daha etkili, bilgilendirici ve doğru bir şekilde bilgi alınabileceğini” savunuyorlar. Atıkların kullanım alanlarına göre değerleri oluşmaktadır. Örneğin düzenli depolama sahasına götüren işçiler için değersiz malzeme olarak muamele görürken atık toplayıcılar için ona cevhermiş gibi muamele edilmektedir (Guo vd., 2021).

Ülkemiz mevzuatında atık kavramı 2872 sayılı Çevre Kanunu'nda “*Üreticisi tarafından atılmak istenen ve toplumun huzuru ile özellikle çevrenin korunması bakımından, düzenli bir şekilde bertaraf edilmesi gereken katı maddeleri ve arıtma çamurunu, (iri katı atık, evsel katı atık, bu Yönetmelikte “katı atık” olarak anılmaktadır)*” tanımlanmaktadır (URL-1, 2021).

Atıklar çeşitli kriterlere göre sınıflandırılabilir. Bunlar, fiziki duruma göre (katı, sıvı, gaz), fiziki özelliklerine göre (yanabilir, kompostlaştırılabilir, geri kazanılabilir vb.), madde grubuna göre (cam, kağıt, plastik, metal vb.), orijinal kullanıma göre (ambalaj atığı, mutfak atığı vb.); kaynağına göre (kentsel, ticari, kurumsal, zirai, endüstriyel vb.) veya emniyet düzeyine göre (tehlikeli, tehlikesiz, inert vb.) sınıflandırılabilir (Öztürk, 2015).

## 2.1 Katı Atıkların Sınıflandırılması

Katı atıkları gruplandırma yapılırken tek başlık altında toplamaktan ziyade fiziksel, kimyasal ve teknik özellikleri bakımından birçok tür ve çeşide ayrılmaktadır. Bu sebeple katı atıkları, sahip oldukları ortak özelliklere göre farklı gruplara ayırıp bir gruplandırma yapmak gerekir. Bu gruplandırma sonucu katı atıklar; birleşimleri ve özelliklerine ile kaynaklarına göre katı atıklar olmak üzere iki grupta incelenmektedir (Kolukısa, 2013). Şekil 2.1’de katı atıkların sınıflandırılması verilmiştir.



Şekil 2.1 Katı atıkların sınıflandırılması

### 2.1.1 Birleşimleri ve Özelliklerine Göre Katı Atık Türler

Katı atıkları; birleşim ve özelliklerine göre kendi içerisinde organik katı atıklar ve inert katı atıklar olarak iki gruba ayırabiliriz (Şekil 2.2).

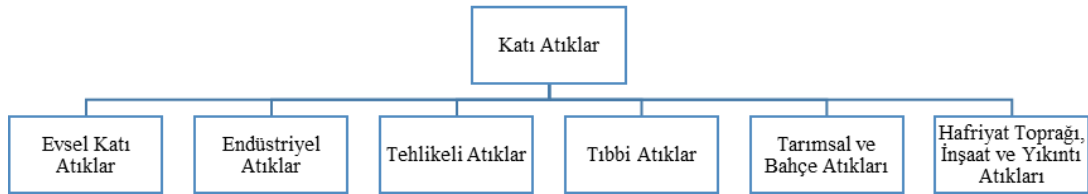
## Birleşimleri ve özelliklerine göre sınıflandırılan katı atıklar

- Evsel Çöpler
- Organik
  - Mutfak atıkları, yemek atıkları, kağıt, dokuma, ambalaj malzemeleri
- İnorganik
  - Kül ve cüruf, ev eşyası kırıklar (cam, porselen, toprak, demir)
- İri Hacimli Çöpler
  - Eski ev eşyası, büyük ambalaj, büyük bahçe atıkları
- Bahçe Atıkları
  - Bitki atıkları, yaprak, ağaç dalları
- Sokak Atıkları
  - Organik
    - Pazaryeri atıkları, yaprak ve dal atıkları, hayvan pisliği, kağıt atıkları
  - İnorganik
    - Kısmı serpilmiş maddeler, uçucu kül ve toz, cadde yüzeyi aşınımları
- Esnaf, İşleme ve Sanayi Atıkları
  - Organik
    - Besin endüstrisi üretim atıkları, dokuma fabrikası, ambalaj maddesi, karton, plastik ahşap
  - İnorganik
    - Kül ve cüruf, ambalaj malzemesi, çelik, toprak kap
- Ahır ve Mezbaha Atıkları
- İnşaat Molozları ve Harfiyat Toprağı
  - Organik
    - Yapı kısmı ahşap ve plastik
  - İnorganik
    - Taş, toprak, metal parçası

Şekil 2.2 Birleşimleri ve özelliklerine göre sınıflandırılan katı atıklar (Karpuzcu, 2012)

### 2.1.2 Kaynaklarına Göre Katı Atık Türleri

Çevremizde bulunan katı atıkları türleri aşağıdaki (Şekil 2.3) gibi sınıflandırılabilir (Koç, 2015).



Şekil 2.3 Katı atık türlerine göre sınıflandırma

#### 2.1.2.1 Evsel katı atıklar

EPA (Environmental Protection Agency)'nın tanımına göre evsel katı atıklar; dayanıklı ve dayanıksız eşyalar, yiyecek atıkları, kutular ve paketler, ticari ve

endüstriyel kaynaklardan oluşan çeşitli organik atıklar olarak tanımlanmaktadır (Çakır, 2012).

Katı atıklar kontrolü yönetmeliğinde tanımlandığı gibi evsel katı atıklar, “Konutlardan atılan tehlikeli ve zararlı atık kavramına girmeyen, bahçe, park ve piknik alanları gibi yerlerden” gelen atıklardır (Şekil 2.4) (URL-1, 2021). Evsel katı atık miktarı toplam katı atık üretimi içerisinde oldukça büyük bir paya sahip olup insan sağlığı bakımından da önemli bir yer tutmaktadır. Bu atıkların toplanmadan önce biriktirildiği alan ve toplandıktan sonraki alanların hastalık taşıyıcı organizmalar için uygun bir üreme ortamı olduğu için toplumun sağlığı bakımından büyük bir sorun oluşturmaktadır.



Şekil 2.4 Evsel katı atıkların genel kaynakları (URL-1, 2021)

### 2.1.2.2 Endüstriyel atıklar

Endüstriyel atık, her türlü endüstriyel faaliyet sonucu açığa çıkan ve istenmeyen katı maddelerdir. Endüstriyel işlemler sırasında veya sonucunda oluşan atıkları kapsamaktadır (Alpaydın, 2014).

Endüstriyel katı atıklar da kendi içerisinde kaynaklarına göre iki gruba ayrılmaktadır. Bunlardan birincisi endüstriyel birim, işlem ve süreçlerden kaynaklanmayan atıklar, ikincisi de endüstriyel işlemler sonucu ortaya çıkan atıklardır. Birinci gruba örnek

olarak; metal, tahta, cam ve kağıt, inşaat ve moloz atıkları ile çeşitli ambalaj atıklarını oluşturmaktadır. İkinci gruba ise; tehlike yaratabilecek özellikler taşıyan her türlü toksik, kimyasal, biyolojik, patlayıcı, yanıcı ve radyoaktif katı atıklar ile içerisinde kirletici bulunan bazı külleri örnek olarak verilebilir (Kolukısa, 2013).

### **2.1.2.3 Tehlikeli atıklar**

Tehlikeli Atık, insan veya çevre üzerine zararlı etkiye sahip atıklardır. Bu atıklar endüstriyel üretim süreci atıklarından pillere kadar birçok kaynaktan oluşarak katı, sıvı ve gaz şeklinde açığa çıkabilir (USEPA, 2021).

Tehlikeli atıkları boya ve vernik kalıntıları, eski piller ve aküler, organik solventler, pestisitler, floresan lambalar, kartuş ve tonerler, asbest içeren maddeler, tehlikeli madde ile kirlenmiş bez, eldiven gibi atıklar, atık yağlar, boyalar ve tehlikeli kimyasallar olarak sınıflandırmaktadır.

### **2.1.2.4 Tıbbi atıklar**

Tıbbi atık, tüm sağlık birimlerden kaynaklanan patolojik atık ve kesici, delici atık, enfeksiyöz atıkları ifade etmektedir. Tıbbi atıkların oluşumundan başlayarak; toplama, geçici depolama, taşıma, son depolamaya kadar kademelerin her birinin izlenip denetlenmesi gerekmektedir. Aynı zamanda radyoaktif hastane atıklarının diğer atıklardan ayrı olarak toplanıp üzerlerine içerikleriyle ilgili etiketlerin bulunduğu kaplara biriktirilmesi ve uzmanların görüşleri doğrultusunda işleme tabi tutulması gerekmektedir (Ten, 2017).

### **2.1.2.5 Tarımsal, hayvansal ve bahçe atıkları**

Tarımsal atık; bitkisel ve hayvansal ürünlerin elde edilmesi ve işlenmesi sonucunda ortaya çıkan ve tekrar kullanımı mümkün olmayan atıklardır. Oluşan katı atıkların miktarı ve içerik özellikleri insanların sosyoekonomik özellikleri, beslenme alışkanlıkları, coğrafya, gelenekler, iklim gibi değişik şartlardan dolayı farklılık gösterir (Çil, 2013).

Bahçe atıkları; bahçelerden, parklardan oluşan atıklar, senenin belirli dönemlerinde budanan ağaç dalları, yaprak süprüntüleri gibi atıklardır.

#### **2.1.2.6 Hafriyat toprağı, inşaat ve yıkıntı atıkları**

İnşaat alanlarının yapımı esnasında arazini hazırlanmasında kazı ve benzeri çalışmalar sonucu hafriyat, tadilat sırasında açığa çıkan inşaat ve yıkıntı atıklarını ifade etmektedir (Koç, 2015).

#### **2.1.2.7 Elektronik atıklar**

Elektronik atıklar bileşikler, polimer ve bazı elementleri içermektedir. Bu materyaller tüm bilgisayar ve bilgi işlem araçlarının ve aksesuarlarının, her türlü veri depolama aygıtının, televizyon / ekran, mikrodalga fırın gibi mutfak aletleri, buzdolabı ve induksiyon ocak, elektronik olarak desteklenmiş müzikal nesiller, hoparlörler, karıştırıcılar ve klima gibi ev aletleridir. Hızlı gelişen teknolojinin olumsuz bir sonucu da, toplumun taleplerinin değişmesi, ürün fiyatlarının düşmesi ve kullanım ömrünün azalması ile kullanım ömrünü henüz yarılamadan atık olarak atılan elektrikli ve elektronik cihazlardır. Bu elektronik atıkların sadece %13'ü geri dönüştürebilmektedir (Nigam vd., 2021).

### **2.2 Katı Atık Bertaraf Yöntemleri**

Katı atık yönetimi, amacına hizmet etmediğı veya yararlı olmadığı için atılan katı maddelerin toplanması, işlenmesi ve bertarafı işlemidir. Belediye katı atıklarının uygun olmayan şekilde imha edilmesi, sağlıksız koşullar oluşturur ve bu koşullar da çevre kirliliğine ve vektör kaynaklı hastalıkların kemirgenler ve böcekler tarafından yayılan hastalıkların salgınlarına yol açabilir (Nathanson, 2010).

Katı atık yönetimi, amacına hizmet ettiği veya artık yararlı olmadığı için atılan katı maddelerin toplanması, işlenmesi ve bertarafıdır.

Katı atık yönetimi dikkat edilmesi ve üzerinde çalışılması gereken önemli bir konudur. Bu konuda yapılan veya yapılacak olan çalışmaların ertelenmesi ya da yapılmaması

hem çevre için hem de insanlar için geri dönüşü olmayan ciddi problemlere sebep olmaktadır. Bu nedenle kuruluşlar ve vatandaşlar üstlerine düşün çalışmalarını zamanında ve gerektiği gibi yapılmasına özen göstermelidir (Sedef, 2016).

Katı atıkların giderilmesi bertaraf edilmesi ve değerlendirilmesi yaygın olarak beş ana metod kullanılır. Bunlar; geri kazanma, kompostlaştırma, yakma, piroliz ve düzenli depolama'dır.

### **2.2.1 Geri Kazanma**

Değerlendirilebilir katı atıkların aynı ya da başka bir amaç için kullanılması amacıyla ayıklanarak hammadde olarak kullanılmaktadır. Günümüzde hammadde sıkıntısı olması ve hammaddenin maliyet bakımından yüksek olması ekonomiyi etkilediğinden yeniden kullanımını sağlayarak ekonomiye katkı sağlanabilmektedir.

### **2.2.2 Kompostlaştırma**

Organik maddeler mikroorganizmalar tarafından biyokimyasal oksidasyon sonucu bitkiler için iyi bir gübre olan humus içeren bir kütleye dönüşmektedir. Atıkların ayrışması sırasında açığa çıkan sıcaklık kendiliğinden yükselmektedir ve ortamda penisilin türü mantarlar üretilmektedir. Bu mantarlar antibiyotik özelliğe sahiptirler ve bu sayede patojen mikroorganizmalar dezenfekte olmaktadır. Kompostlaştırma için malzemenin su içeriği %45-55 arasında, C/N (Karbon/Azot) oranı ise 20-50 arasında olması gerekmektedir.

### **2.2.3 Yakma**

Yakma yöntemi katı atıkların hacimlerini %70-80 azaltan ve katı atıkları stabil hale getiren bir yöntemdir. Bu proses genelde atıkların kalorifik değerleri kendi kendini yakmaya uygun olduğu takdirde geçerlidir. Yakma sonrasında oluşacak hava kirlenmesi ve oluşan küller uzaklaştırılırken içerisinde bulunan toksik maddelerin olumsuz etkileri içinde önlemler alınması gerekmektedir.

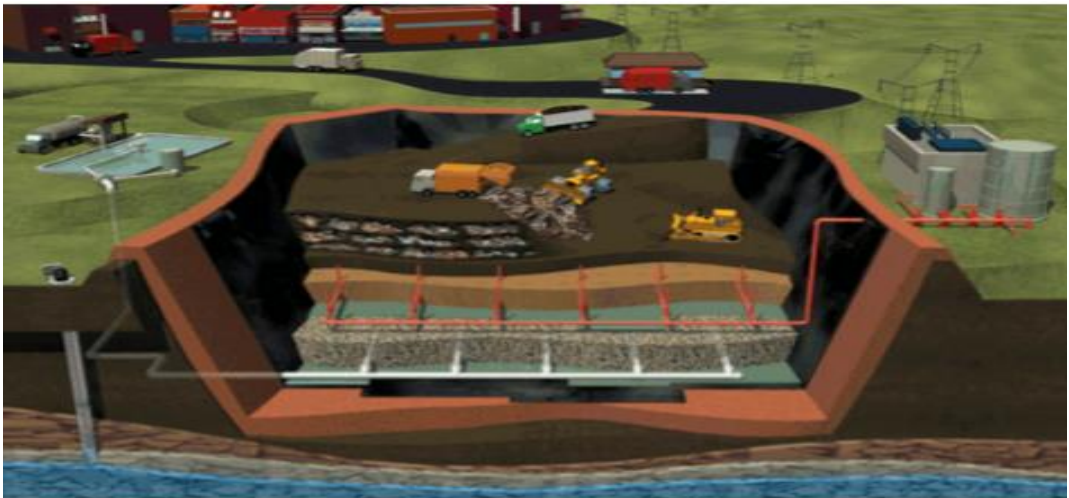
#### 2.2.4 Piroliz

Katı atıkların oksijensiz reaktörde yüksek sıcaklıklarda ısıl parçalanması olayına piroliz denir. Bu yöntem atıkları biyoyağ, biyokömür ve gazlara dönüştürmesi daha az kül oluşturması nedeni ile yakma işlemine göre daha çevreci bir yaklaşıma sahiptir. Piroliz katı atık bertarafı amacıyla ülkemizde çok yaygın kullanılmasa da ABD ve İngiltere de hurda ve plastik atıklar için kullanılmaya başlanmıştır.

#### 2.2.5 Düzenli Depolama

Kentsel katı atıkların bertaraf edilmesi için oluşturulan büyük dolgu sahalarıdır. Bu alanlar özel membranlar ile kapatılırlar ve atıklardan oluşan çöp sızıntı sularının yer altı sularına karışması engellenmektedir. Oluşan bu sızıntı suları drenaj sistemi ile toplanmaktadır ve içerdiği yüksek kirlilik konsantrasyonu nedeniyle ileri arıtma yöntemlerine tabi tutulmaktadır (Renou vd., 2008).

Düzenli depolama tesislerinde, sahaya boşaltılan atıklar belirli bir yoğunluğa geldiklerinde iş makinaları ile sıkıştırılır. Sahalar tamamen doldurulduğunda üzerleri inert maddeler ile tamamen kapatılır. Kapatılmış olan çöp sahalarında biyobozunma olduğundan açığa gazlar ( $CH_4$ ,  $H_2S$ ,  $CO_2$ ) çıkacaktır ve bu gazlar herhangi bir patlamaya sebep olmasın diye sahalar yerleştirilmiş olan gaz bacaları ile toplanmaktadır (Çil, 2013).



Şekil 2.5 Düzenli depolama sahası (Akpınar, 2006)

Şekil 2.6’da katı atık yönetiminin hiyerarşisi gösterilmiştir. Buna göre; katı atık yönetiminin ilk basamağı atıkları kaynağında önlemek oluşturmaktadır ve burada en büyük sorumluluk genellikle üretici firmalar ve fabrikalarda bulunmaktadır. Diğer bir basamak ise minimizasyon olup ve oluşan katı atığın azaltılması gerekmektedir. Bu basamakta üreticiden son tüketiciye kadar herkesin sorumluluğu vardır. Katı atık yönetiminin en önemli basamağını üçüncü ve dördüncü basamaklar oluşturmaktadır. Çünkü atıkların geri dönüşümü ve kazanımı ile hem çevrenin korunması hem de ekonomi bakımından ön plana çıkmaktadır.



Şekil 2.6 Katı atık yönetim sistemi hiyerarşisi

Kompostlaştırma ve enerji kazanım da bir nevi geri kazanım olup, özellikle tarım alanında yararlı bir işlem bütünüdür. Son olarak depolama, geri dönüşümü, kullanımı mümkün olmayan ve işe yaramayan atıkların doğaya ve insanlara zarar vermeyecek şekilde bertaraf edilmesi işlemlerinin gerçekleştiği basamaktır (Kolukısa, 2013).

### 2.3 Katı Atık Parametreleri

Katı atıkları ifade ederken birim hacim ve spesifik ağırlık parametreleri kullanılmaktadır. Bu ölçekler belirlendikten sonra katı atık yönetimindeki fonksiyonel elemanların tasarımı için günlük, haftalık ve yıllık çöp ağırlığı ve hacmi hesaplanır.

Katı atık miktarları bazı dönemlerde değişiklik gösterebilir, bu değişim genellikle kış aylarında meyve ve sebze atıklarından kaynaklanmaktadır. Katı atıklar, hacimleri cinsinden ifade edilirken ve aynı zamanda katı atığın birim hacim ağırlığına bakılabilir. Atıkların birim hacim ağırlığı kış aylarında 0,37 kg/L, yaz aylarında ise 0,33 kg/L olabilmektedir (Çakır ve Gunerhan, 2012).

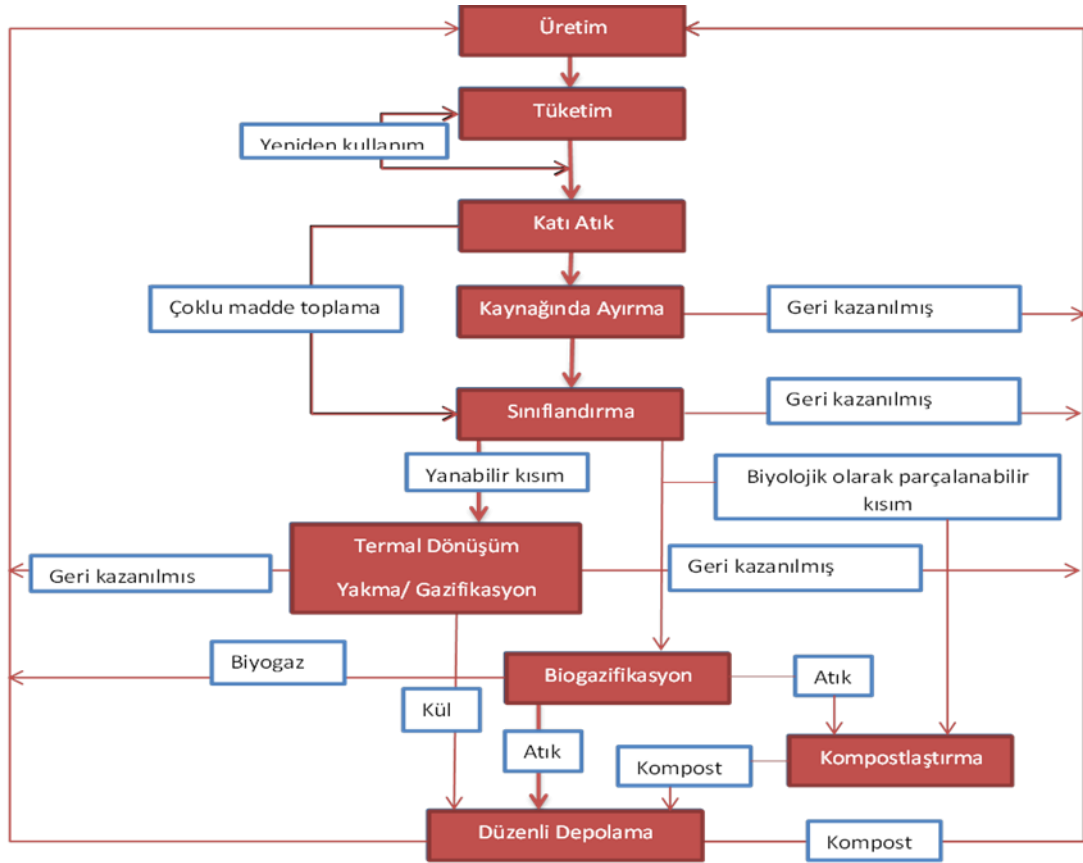
Katı atık miktar ve hacmini bilmek çok önemli bir parametredir. Çünkü katı atık biriktirme kaplarının hesabında, toplama ve taşıma araçlarının belirlenmesinde, atıkların depolanacağı alanın hesabında, kompost ve yakma tesisi tasarımı yapılırken atık baz alınarak hesaplanır. Bu hesaplar yapılırken ölçüm yapılan şartlar mutlaka belirtilmeli, çünkü katı atık hacmi sıkışma durumuna göre değiştii için her bir bölüm için farklı değerlerdedir (Çakır ve Gunerhan, 2012).

## **2.4 Katı Atık Yöntemi**

### **2.4.1 Entegre Katı Atık Yöntemi**

Entegre katı atık yöntemi, atığın yönetim amacına ve hedefine uygun yöntemle toplanarak ayrıştırılması, geri dönüştürme ve kazanımı uygun yöntem belirlenerek bertarafını sağlayan tek firma tarafından yapılması olarak tanımlanmaktadır. Aynı zamanda ilgili yasal mevzuatta belirtilen hususların sağlanmasını da kapsamaktadır. Günümüzde entegre katı atık yönetimi için 4 esas strateji vardır (Şekil 2.7) (Kemirtlek, 2007; Mersin Büyükşehir Belediyesi, 2019). Belirtilen bu stratejiler birbirinden bağımsız olmayıp birbirleri ile ilişki içindedir ve öncelik sıralamasına göre uygulanması öngörülmektedir. Bu stratejiler:

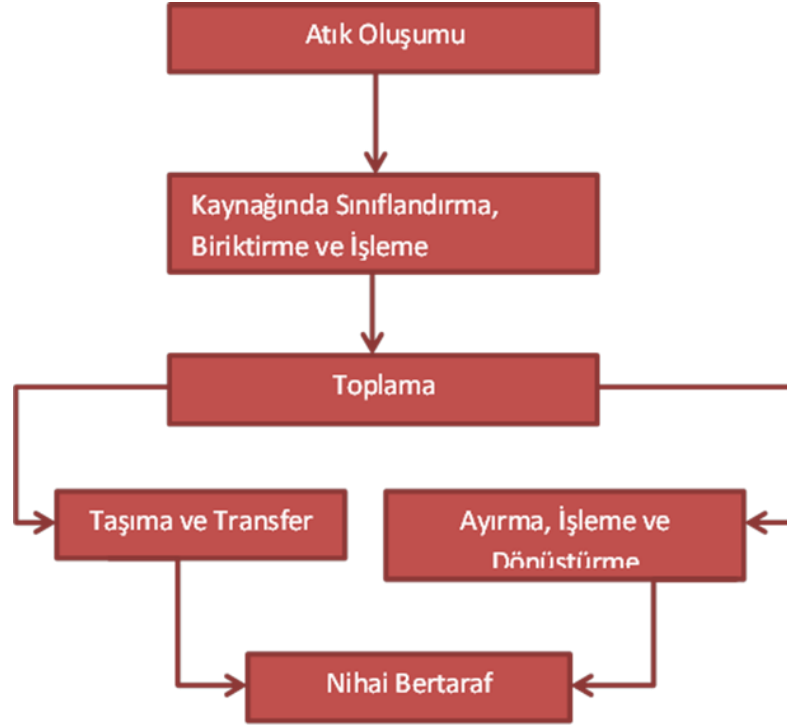
- Atık azaltma
- Maddesel geri dönüşüm
- Enerji geri kazanımı, termal dönüşüm
- Düzenli depolama



Şekil 2.7 Entegre atık yönetimi akış diyagramı

#### 2.4.2 Kentsel Katı Atık Yönetimi

Kentsel katı atık, endüstriler, hastaneler, okullar ve evlerden atılan cam, gıda atıkları, metaller, tekstil, ahşap, plastik ve kâğıttan oluşan biyokütle atık türlerinden oluşur (Noor vd., 2020). Katı atık toplumun menfaati gereği ömrünü tamamlamış sahibinin istemediği atıklardır. Bu atıkları uygun şartlarda toplanıp, bilim esaslarına ve mühendislik prensiplerine göre çevreye zarar vermeden veya çevre de en az olumsuz etki oluşturacak şekilde bertaraf edilmesi gerekmektedir (Yılmaz, 2012). Meydana gelen katı atıkların mühendislik esaslarına uygun şekilde sürdürülebilir bir yapılandırma ile devamlılığı sağlanabilmesi için toplanması, geçici olarak depolanması, taşınması, geri kazanılması, kompost, yakma, düzenli depolama ve benzeri işlemlere tabi tutulmasını kapsamaktadır (Çil, 2013)



Şekil 2.8 Katı atık yönetim sistemi (Kemirtlek, 2007)

Genel olarak katı atıkların doğaya hiçbir işlem yapılmadan toplanarak tabiata geliş güzel dökülmesi sonucunda meydana gelen olumsuzlukların bazıları şunlardır:

- Vahşi depolama alanına giren hayvanlar ortamda bulunan hastalıkların konakçısı durumuna gelir.
- Çöpler bu vahşi depolama alanların da şartların kontrol edilmediği için dağılarak kirlilik yayılır ve görüntü kirliliğine yol açar.
- Çöplerin, hava şartlarından rüzgârın etkisi ile kâğıt, pet, ince naylon gibi atıkları çevreye yayılmaktadır.
- Vahşi depolama sahaları fare, sinek ve diğer zararlı canlılar için yaşam ve üreme yeri oluşturur.
- Metan gazının yanabilmesi için %5-15 oranında havaya karışması halinde yanma olayı gerçekleşmektedir. Kontrolsüz depolama alanlarında oluşan metan gazının hava ile karışımı patlamaya sebebiyet verebilir ve yangınlara sebep olur.

- Vahşi depolama alanları oluşan kötü kokular bu depolama alanlarına yakın çevrede ikametgâh edenleri olumsuz yönde etkilemektedir.
- Vahşi depolama alanlarında oluşan sızıntı suları yer altı ve yer üstü su kaynaklarını kirletmektedir (Eraslan, 2012).

#### **2.4.2.1 Türkiye’de ve dünyada kentsel katı atık yönetimi ve uygulamaları**

##### **2.4.2.1.1 Dünyada kentsel katı atık yönetimi ve uygulamaları**

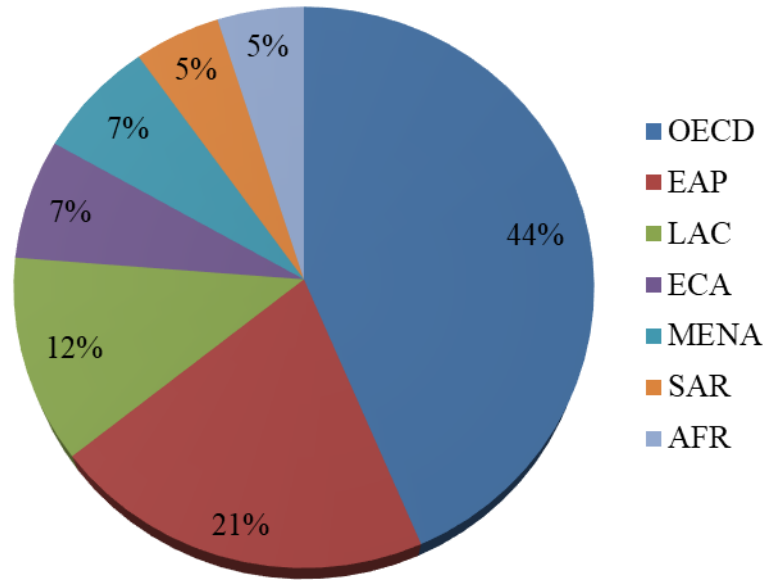
Son zamanlarda nüfus artışı, kentleşme ve yaşam şartlarının artması nedeniyle kentsel alanlarda atık üretimi artmıştır. Dünya çapında üretilen kentsel atık yılda yaklaşık 2,01 milyar ton olup en %33’ü güvenli bir şekilde atık yönetimi yapılamamaktadır. Dünya bankasının tahminine göre 2025 yılına kadar günde 6,1 milyon tona, 2050 yılına kadar ise 3,4 milyar tona ulaşması beklenmektedir. Atık üretimi gelir düzeyi ile orantılı olup düşük ve orta gelirli ülkelere kıyasla yüksek gelir düzeyli ülkelerin 2050’ye kadar %19 daha fazla atık üretimi olacağı beklenilmektedir (URL-3, 2021).

Dünya atık oluşumunun %44’ünü Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü (OECD) üyesi ülkeler üretmektedir. Dünya atık üretiminin %23’ünü Çin’in içinde bulunduğu Doğu Asya ve Pasifik (EAP) ülkeleri oluşturmaktadır. Bunu %12 ile Latin Amerika ve Karayip (LAC) ülkeleri, %7’sini Türkiye’nin de içinde bulunduğu Doğu ve Orta Asya ülkeleri (EAC), %6’sini Orta Doğu ve Kuzey Afrika ülkeleri (MENA), %5’ini Güney Asya ülkeleri (SAR) ve %5’ini diğer Afrika ülkeleri (AFR) takip etmektedir (Altuntop vd., 2014; URL-3, 2021).

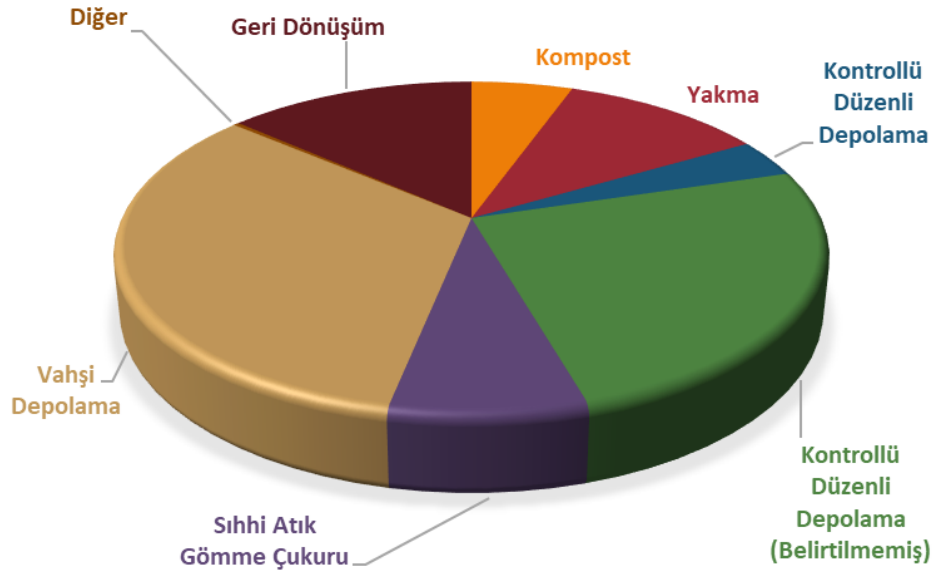
Yüksek geliri bulunan ülkelerde atık yönetim planları yapılırken olabildiğince çevre ve insan sağlığını tehdit eden unsurların minimum olacak şekilde geri dönüşüm uygulamaları yapılarak ekonomiye kazandırılmakta ve çevreye zarar vermeyecek şekilde bertaraf edilmektedir. Doğal kaynakların gelecek nesillere sürdürülebilirliği sağlamak ve ortaya çıkan atıkların çevre ve insan sağlığı için bir tehdit olmaktan çıkarılarak ekonomiye katkıda bulunmasını hedefleyen atık yönetim stratejileri, bütün dünyada giderek birincil bir politika hedefi olarak kabullenilen “sürdürülebilir kalkınma” yaklaşımının temelini oluşturmaktadır (Kolukısa, 2013).

Atık bileşimi ülkenin gelir seviyesine göre farklılık göstermektedir. Yüksek gelirli ülkelerin %51 geri dönüştürülebilir atık üretirken %32 ise gıda ve yeşil (park bahçelerden kaynaklı) atık kısmını oluşturmaktadır. Düşük ve orta gelirli ülkeler için ise gıda ve yeşil atıkların miktarı %53 seviyelerine artarken, geri dönüştürülebilir atıklar (%20) daha az oluşmaktadır.

Genelde ülkeler atık depolama da vahşi depolama ya da düzenli depolama alanlarını tercih etmektedir. Düzenli depolama alanlarının sadece % 8'inde deponi gazı toplama sistemleri olan deponi alanlarını, % 37'si ise düzenli depolama alanlarında atıklar bertaraf edilmektedir (URL-3, 2021).



Şekil 2.9 Bölgelere göre atık üretimi



Şekil 2.10 Dünya da katı atık yönetimi

#### 2.4.2.1.2 Türkiye’de kentsel atık yönetimi

Ülkemizde ise dünya genelinde meydana gelen artan nüfus ve tüketim alışkanlıklarının değişmesi ile artan atık miktarı ve çeşitliliği doğayı ve insan sağlığını tehdit edebilecek niteliğe ulaşmıştır. Son yıllarda artan çevre bilinci, yapılan uluslararası sözleşmeler ve Avrupa Birliği (AB) üyelik süreci kapsamında olan çevre politikalarının birbiri ile olan uyumluluğu gereği Türkiye’de çevre konusunda yeniden düzenlemeler yapılmaktadır. Ülkemizde 1983 yılında Çevre Bakanlığı, ülkedeki çevresel durumu iyileştirmek için ilk aşama olarak 2872 sayılı Çevre Kanunu’nu yayımladı. Ancak yasada Katı atık yönetimi için yeterli olmadığından 1991 yılında Katı Atık Kontrolü Yönetmeliği yürürlüğe girmiştir. Yönetmelikte katı atıkların toplanması, depolanması, taşınması ve bertaraf edilmesin de temel rol oynamıştır. Yönetmelikler güncellemeler yapılmıştır sonrasında 1993 yılında tıbbi atıklar ve 1995 yılında tehlikeli atıklar için yönetmelikler yürürlüğe girmiştir. Yapılan bu düzenlemeler arasında atık yönetimine büyük bir yer ayrılmış ve gerek görülen birçok mevzuat (tehlikeli atık, tıbbi atık vb) çıkartılmıştır.

Belediye katı atığının yasal tanımı, normalde katı olan ve işe yaramaz veya istenmeyen olarak atılan insan faaliyetlerinden kaynaklanan tüm atıkları içerir. Belediye katı atıkları genellikle konutlardan ticari alanlara, endüstrilere, parklara ve caddelere kadar üretilen atıklardan oluşur (Turan vd., 2009).

Türkiye’de katı atıkların insan sağlığına ve doğaya zarar vermeden mevzuatlara uygun olarak üretilmesinden nihai bertarafına kadar uygulanan süreçten, atık üreten kuruluşlar ve yerel yöneticiler sorumludurlar (Kolukısa, 2013).

Türkiye’de TUIK 2018 verilerine göre lisanslı veya geçici faaliyet belgeli tüm atık bertaraf ve geri kazanım tesisleri (düzenli depolama, yakma ve kompost) toplamda 2223 adet olup 166’sı atık bertaraf tesisi ve 2057’si ise geri kazanım tesisini oluşturmaktadır. Şekil 2.11’de Türkiye’de atık bertaraf ve geri kazanım tesisleri istatistikleri verilmiştir (URL-4, 2021).

	2016		2018	
	Tesis sayısı	İşlem gören atık miktarı (Ton)	Tesis sayısı	İşlem gören atık miktarı (Ton)
Atık bertaraf ve geri kazanım tesisleri	1 698	80 774 248 <sup>(r)</sup>	2 223	104 452 603
Atık bertaraf tesisleri	140	44 125 262	166	56 372 769
Düzenli depolama tesisi	134	43 815 135	159	55 878 883
Yakma tesisi	6	310 127	7	493 885
Atık geri kazanım tesisleri	1 558	36 648 986 <sup>(r)</sup>	2 057	48 079 834
Kompost tesisi	7	140 467	8	138 054
Beraber yakma (ko-insinerasyon) tesisi	35	738 908	40	1 069 360
Diğer geri kazanım tesisleri <sup>(1)</sup>	1 516	35 769 611 <sup>(r)</sup>	2 009	46 872 420

Tablodaki rakamlar yuvarlamadan dolayı toplamı vermeyebilir.

(1) Metal, plastik, kağıt, mineral vb. atıkların geri kazanımını yapan tesisleri içermektedir.

(r) Revize edilmiştir.

Şekil 2.11 Atık bertaraf ve geri kazanım tesisleri istatistikleri (2016 ve 2018 yılına ait)

## 2.5 Katı Atık Düzenli Depolama Alanlarında Sızıntı Suyu ve Deponi Gazı Oluşumu ve Özellikleri

### 2.5.1 Sızıntı Suyu Oluşumu ve Özellikleri

Toplanmış olan katı atık içerisinde çoğu organik madde biyolojik olarak parçalanabilir olup anaerobik ve aerobik mikroorganizmalar tarafından daha basit bileşiklere parçalanarak sızıntı suyu oluşturur. Sızıntı suyunun iki önemli kaynağı; depolanan atığın nem içeriği ve depo sahasına dışarıdan giren su miktarıdır (Civan, 2014).

Genel anlamıyla sızıntı suyu, depolama sahalarına biriktirilen atığın nem içeriğinin (Alver, 2012), kimyasal, fiziksel ve biyolojik parçalanma reaksiyonlarının ve depo sahasına düşen yağmur sularının karışımı ile oluşur. Bu reaksiyonlar sonucu atığın çürümesi esnasında ortaya çıkan organik, inorganik bileşikler (Öztürk, 2011) ve atığın içerisindeki çözünebilen maddeleri bünyelerine alarak ilerlerler. Sahalarda oluşan sızıntı suları, atıkların nem tutma kapasitesi ile doğrudan ilişkilidir ve sızıntı suyu, depolama sahalarında su tutma kapasitesi aşıldığı anda oluşmaya başlamaktadır (Alver, 2012).

Sızıntı suyunun oluşumu çöp bozulması, direkt çökme, suyun varlığı, yüzeysel akış ve sıvı atıkların hepsini bir arada uzaklaştırmayı kapsamaktadır (Sakarya, 2018).

Katı atık depolama sahalarında sızıntı suyu oluşumu pek çok faktöre bağlıdır. Bu faktörler;

- Depo sahasındaki atığın özellikleri: Parçacık büyüklüğü, yoğunluk, başlangıç nem içeriği, geçirgenlik, atık yaşı
- Sahada yapılan işlemler ve işletme koşulları: Bitki örtüsü, üst örtü toprağı, plastik membranlar, yan duvarlar, sulama, sızıntı suyu geri devri, atık ön arıtımı
- İklim şartları ve hidrojeolojik özellikler: Yeraltı suyunun karışımı, yağış, kar erimesi.
- Dahili işlemler: Organik madde ayrışması, atığın yerleşimi, gaz - ısı üretimi ve nakliyesi olarak sıralanabilir (Alver, 2012).

### 2.5.2 Sızıntı Suyu Miktarı

Katı atık depolama alanında dikkat edilmesi gereken konulardan biride su kontrolüdür ve oluşan sızıntı suyunun miktarının bilinmesi için önemlidir. Eşitlik 2.1'de depo sahalarında oluşan sızıntı suyunun teorik olarak hesaplaması verilmiştir.

$$L = P \times S_1 + W + J - E \times S_2 - R \pm B \pm U \quad (2.1)$$

L: Çöp sızıntı suyu oluşumu ( $m^3/yıl$ ), P: Yağış miktarı ( $m^3/m^2/yıl$ ),  $S_1$ : Çöp sahası tesirli drenaj alanı ( $m^2$ ), J: Geri dönen sızıntı suyu miktarı ( $m^3$ ), R: Yüzeysel akış ( $m^3$ ), E: Su tüketim hızı ( $m^3/m^2/yıl$ ),  $S_2$ : Ortalama çöp bertaraf alanı (düzenli depolama) ( $m^2$ ), U: Atığın su muhtevası, W: Düzenli depolamada çöpleri sıkıştırma esnasında çöpten sızan su ( $m^3$ ).

$$W: I_w \times Q \quad (2.2)$$

$I_w$ : Sıkıştırma esnasında çöpten sızan birim su ( $m^3/L$  çöp)

Aylık su tüketimi;

$$E = 16 \times C \times (10 \times (T/\dot{I}))^b \quad (2.3)$$

$$\dot{I} = \left(\frac{T}{5}\right)^{1,514} \quad (2.4)$$

T: Aylık ortalama sıcaklık ( $^{\circ}C$ ), b: Biyolojik bozunmada üretilen veya tüketilen su miktarı ( $1,6 \times (\dot{I}/100) + 0,5$ ), C: Katsayı (Esen, 2019).

### 2.5.3 Sızıntı Suyu Karakterizasyonu

Sızıntı suyu; Birçok atık su türüne kıyasla geniş kirlilik yüküne sahiptir ve kalitesi sürekli değişmekte olan bir atık sudur. Literatüre bakıldığı zaman sızıntı suyunun içeriği değişkenlik göstermektedir. Tablo 2.1’de literatürde bir sızıntı suyunun parametrelerine ait değerleri verilmiştir (Özkan, 2018).

Tablo 2.1 Literatürde sızıntı suyu parametreleri ve değerleri

PARAMETRE	DEĞER (mg/L)
BOİ <sub>5</sub>	17.750
KOİ	26.183
BOİ <sub>5</sub> / KOİ	0,66
pH	8,4
Bulanıklık	40-500 (Jackson Birimi)
İletkenlik	2.500-35.000 ( $\mu s/cm$ )

Tablo 2.1'in devamı

Sıcaklık	19,7
Alkalinite	0-20.850 (Toplam CaCO <sub>3</sub> )
Sertlik	0,1-225.000 (CaCO <sub>3</sub> )
Toplam Askıda Katı Madde (TSS)	2-140.900
Toplam Çözünmüş Karı Madde	584-55.000
Toplam Katı Madde	2.000-60.000
Toplam Organik Karbon (TOC)	30-29.000
Toplam Uçucu Asitler	0-19.000
Alüminyum	0,5-85
Azot (Amonyak)	0-2.200
Azot (Toplam Kjeldahl)	2-3.320
Azot (Nitrat)	0-9,8
Azot (Nitrit)	0-1,46
Azot (Organik)	14-2.500
Bakır	0-10
Baryum	0-12,5
Cıva	0-3
Çinko	0-1.000
Demir	3-5.500
Fenol	0,17-6,6
Florür	0,1-1,3
Fosfat	0,01-154
Fosfor	0,1-23
Kalsiyum	10-7.200
Klorür	150-4.500
Krom	0-22,5
Kurşun	0-14,2
Magnezyum	30-15.000
Mangan	3-5.500
Potasyum	50-3.700
Siyanür	0-6
Sodyum	70-7.700
Sülfat	8-7.750

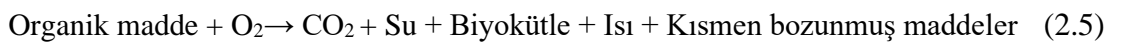
Sızıntı suyu bileşenlerinin depo yaşına bağlı olarak değişime uğramaktadır. Katı atık depolama sahalarında oluşan çöp sızıntı suyunun karakteristiği bölgesel olarak farklılık göstereceği gibi ülkelerin gelişmişlik durumu, iklim ve yağış durumu, atık yönetimi depolama sahası işletimi, yaşam kültürüne göre değişkenlik gösterir.

Deponi gazı organik atık katılar, yiyecekler (yani etler, sebzeler), bahçe atıkları (yani yaprak ve bahçe atıkları), ahşap ve kağıt ürünleri, atıkta ve toprakta doğal olarak bulunan bakteriler tarafından parçalandığında meydana gelen bakteriyel bozunma, buharlaşma ve kimyasal reaksiyonlar ile üretilmektedir. Genel olarak anaerobik koşullar altında deponi gazının bileşimi eser miktarda azot, oksijen, hidrojen sülfür, hidrojen ve metan olmayan organik bileşikler ile birlikte yaklaşık % 40-60 metan ve karbondioksittir. Depolama sahasında ne kadar organik atık ve nem bulunursa bakteriyel ayrışma sırasında o kadar deponi gazı üretilir (Gökçek, 2017; URL-2, 2021).

Biyolojik bozunma, aerobik ve anaerobik olmak üzere iki grupta ele alınır. Aynı zamanda atıkların biyolojik bozunması beş fazda gerçekleştiği düşünülmektedir. Bu fazlar; aerobik bozunma fazı, geçiş fazı, asit oluşum fazı metan oluşum fazı ve olgunluk fazı olarak sıralanabilir.

### **2.5.3.1 Faz 1: aerobik bozunma fazı**

Bozunmanın ilk aşamasında aerobik bakteriler ortamdaki oksijeni tüketerek organik atıkları kompleks karbonhidratların, proteinlerin ve lipidlerin uzun moleküler zincirlerini parçalar. Bu işlemin birincil yan ürünü karbondioksittir. Azot içeriği bu aşamanın başında yüksektir, ancak depolama sahası dört aşamadan geçerken azalır. 1. Faz, mevcut oksijen tükenene kadar devam eder. 1.Faz ayrışması, atık depolama sahasına atıldığında ne kadar oksijen bulunduğuyla ilgili olarak günler veya aylarca sürebilmektedir. Oksijen seviyeleri, atığın gömüldüğü sırada ne kadar gevşek veya sıkıştırılmış olduğu gibi faktörlere göre değişmektedir (Akpınar, 2006):



### **2.5.3.2 Faz 2: geçiş fazı**

Depolama sahasındaki oksijen tükendikten sonra başlar. Anaerobik ortamda bakteriler, aerobik bakteriler tarafından oluşturulan bileşikleri asetik, laktik ve formik asitlere ve metanol ve etanol gibi alkollere dönüştürmektedir. Bu şartlarda depolama sahası oldukça asidik hale gelmektedir. Asitler, depolama sahasında bulunan nem ile karışıkça, belirli besinlerin çözünmesine neden olarak, depolama sahasında giderek daha çeşitli bakteri türleri için azot ve fosforu kullanılabilir hale getirirler. Bu işlemlerin gaz halindeki yan ürünleri karbondioksit ve hidrojenidir. Depolama sahası bozulursa veya depolama sahasına bir şekilde oksijen verilirse, mikrobiyal süreçler 1.Faz'a dönecektir (URL-3, 2021).

### **2.5.3.3 Faz 3: asit oluşum fazı**

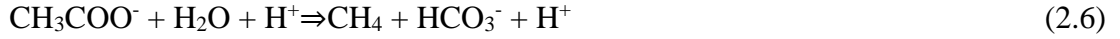
İkinci fazda başlayan mikroorganizma aktivitesi bu fazda hızlanmaktadır ve ilk kez bu safhada CH<sub>4</sub> oluşur, zaman geçtikçe de artar (Akpınar, 2006). Bu fazda hidrolize olmuş organik bileşikler düşük miktarda H<sub>2</sub>'e, yüksek oranda CO<sub>2</sub>'e ve yağ asitlerine dönüşürler (Öztürk, 2006). Bu faz da ki bakteriler asetojenler ve asit oluşturan bakteriler olarak adlandırılır. Birinci ve ikinci safhaların tamamlanması 10-50 gün arasında gerçekleşirken, bu faz 200-500 gün arasında gerçekleşir. Ayrışma süreleri arasındaki bu değişiklikler, ayrışmanın her zaman gerçekleştiğini fakat ayrışmanın tamamlanması için gerekli zamanının yerel şartlara bağlı olarak çok fazla değişiklik göstermektedir (Öztürk, 2018). Bu faz da birçok önemli nütrient sızıntı suyuna çıkar ve bu sızıntı suyunun geri devri yapılmaz ise sistem için gerekli nütrientler kaybedilecektir (Öztürk, 2006).

### **2.5.3.4 Faz 4: metan oluşum fazı**

Bu fazda gaz üretimi ve bileşenleri hemen hemen sabit olup, bir önceki fazda oluşan asit ve hidrojen gazı bakteriler tarafından % 40 -70 CH<sub>4</sub>'ten, % 60-30 CO<sub>2</sub>'den oluşmaktadır. Bu oluşumları gerçekleştiren mikroorganizmalar ise metanojenler olarak adlandırılan anaerobik bakterilerdir (Akpınar, 2006; Öztürk, 2018). Metanojen bakteriler ihtiyaç duydukları enerjiyi iki temel reaksiyondan elde ettiklerinden,

metanojenler fizyolojik olarak asetat ya da H<sub>2</sub> kullanan metanojenler olarak iki grupta toplanabilir.

**Asetat kullanan metanojenler:** Asetofilik bakteriler aşağıdaki reaksiyona bağlı olarak asetik asit (CH<sub>3</sub>COOH) ya da asetatı (CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup>) direkt olarak CO<sub>2</sub> ve CH<sub>4</sub>'e dönüştürürler (Eşitlik 2.6).



**H<sub>2</sub> kullanan metanojenler:** Hidrojenofilik bakteriler, daha önceki fazlarda üretilen H<sub>2</sub>'i kullanarak CO<sub>2</sub> ve CH<sub>4</sub> oluştururlar (Eşitlik 2.7) (Atmaca, 2015).

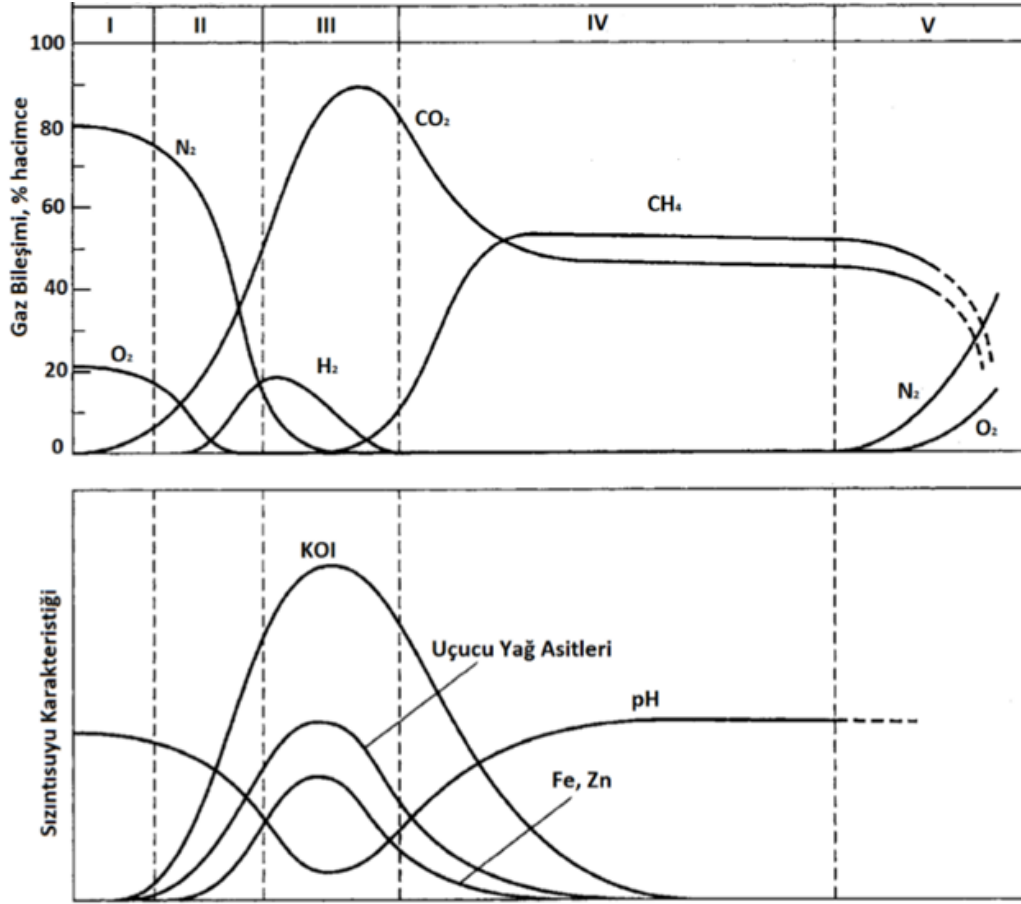


Bu safhada asit ve hidrojen gazı metan ve karbondioksite dönüştüğünden depo alanındaki pH artış göstererek 6,8-8 değerlerinin üstüne çıkmaktadır (Öztürk, 2006).

#### 2.5.3.5 Faz 5: olgunluk fazı

Metan oluşumunda son faz olgunluk fazı olup ortamda bulunan kolay ayrışabilen organik maddeleri, CH<sub>4</sub>'e ve CO<sub>2</sub>'ye dönüştürüldükten sonra başlamaktadır. Bu fazda ayrışma ve depo gazı üretimi önemli ölçüde azalmaktadır. Çünkü atık içerisinde nemin hareket etmesi, nütrientlerin sızıntı suyu ile ortamdan ayrılması ve depo alanında yavaş ayrışan substratların bulunması gaz üretimini önemli ölçüde etkilemektedir (Akpınar, 2006; Öztürk, 2018).

Deponi gazını oluşturan stabilizasyon fazları ve sızıntı suyu özellikleri (Öztürk, 2006) Şekil 2.12'de verilmiştir.

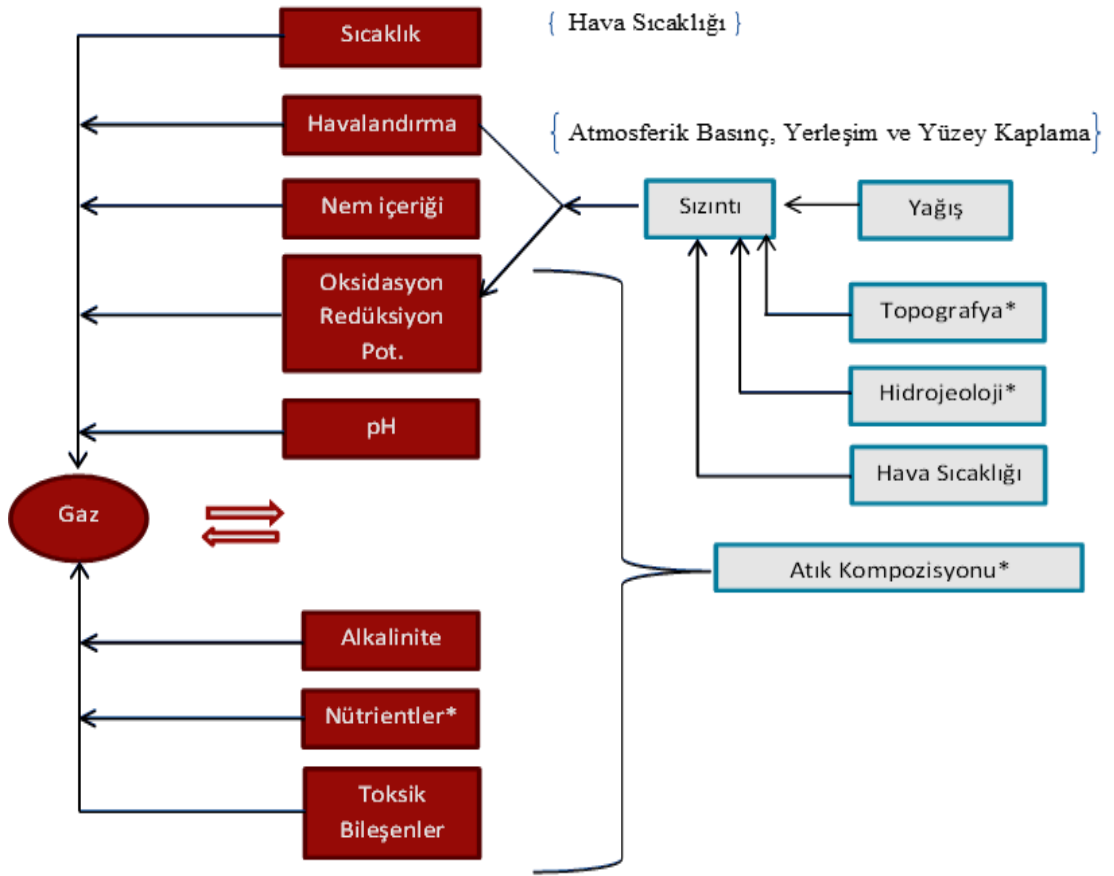


Şekil 2.12 Stabilizasyon fazları, depo gazı bileşenleri ve sızıntı suyu özellikleri

Genel olarak katı atık depolama sahalarında oluşan gazın büyük bir kısmı metan (CH<sub>4</sub>) ve karbondioksitten (CO<sub>2</sub>) gazları oluşturmaktadır (Alpaydın, 2014). Bunların yanında H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub> ve N bileşikleri de oluşmaktadır. Metan gazına hiçbir işlem yapmadan atmosfere verilmesi halinde sera gazı oluşumuna ve iklim değişimlerinin görülmesine büyük bir katkı sağlanmış olur (Altuntop vd., 2014).

## 2.6 Depo Gazının Oluşumunu Etkileyen Faktörler

Depolama sahalarında oluşacak depo gazının miktarı, depolanacak atığın organik madde muhtevasına bağlıdır. Metan ve atık stabilizasyon oluşumu; pH ve alkalinite, sıcaklık, nem/ su muhtevası, dane boyutu, besi maddesi (nütrientler), inhibitörler, oksijen, hidrojen ve sülfat gibi abiyotik faktörler ile atık bertarafında kullanılan farklı yöntemlerde oldukça fazla etkilenmektedir (Çakır ve Gunerhan, 2012). Şekil 2.13'de deponi gazı oluşumunu etkileyen bu faktörler gösterilmektedir.



Şekil 2.13 Deponi gazı üretimini etkileyen faktörler (Arslan, 2015)

### 2.6.1 pH ve Alkalinite

Metan oluşum bakterileri genellikle pH 6-8 aralığında faaliyet göstermektedir (Çakır ve Gunerhan, 2012). Genel olarak bütün depolama sahalarında pH nötr olduğu durumlarda yüksek depo gazı üretimi görülmektedir. Depo gazı oluşum ortamında pH değerinin 6'nın altına düşmesi yani asidik pH'nın hakim olması CH<sub>4</sub> bakterileri üzerinde toksik etki gösterebilir ve CH<sub>4</sub> üretiminde gecikme yaşanabilir (Çetindemir, 2012; Solak, 2015).

Alkalinite ise, pH değerinin metan üretimi için gerekli seviyenin altına düşmesine sebep olan uçucu ve diğer asitleri tamponlama kapasitesini gösterir. Yüksek alkalinite sistemi düzensiz pH değişimlerine karşı korurken, düşük alkalinite ortamındaki asitler pH değerinin düşmesine sebep olarak biyolojik aktiviteyi durdurur (Çakır ve Gunerhan, 2012).

### **2.6.2 Sıcaklık**

Mikrobiyolojik aktivite gösteren tüm proseslerde sıcaklık önemli bir parametredir. Metanojenik metan bakterileri, 30-35 °C sıcaklık aralığında mezofilik ve 45-65°C sıcaklık aralığında termofilik bir grup oluşturmaktadır (Yochim vd., 2016). Termofilik bakterilerin olduğu ortamlarda daha fazla metan üretimi söz konusu iken depolama sahalarında sıcaklıklar genellikle mezofilik aralıkta çalışmaktadır. Sıcaklıklar depolama sahasında aerobik aktivitenin başlamasına takiben 45 gün sonra maksimum değere ulaşırken anaerobik aktivite ile beraber sıcaklık düşmeye başlar (Saltabaş ve Yalçın, 2004).

### **2.6.3 Nem/ Su Muhtevası**

Depo gazı oluşumunu ve atığın ayrışmasını etkileyen önemli etkenlerden biri atığın nem ve su muhtevasıdır. Atık içerisindeki nem mikroorganizmaların büyümesini desteklediği gibi mikroorganizma ve besin maddelerini atık içerisinde dolaşımını da sağlar (Sel, 2016; Yochim vd., 2016).

Gaz miktarını maksimize etmek için ihtiyaç duyulan optimum nem içeriği %50-70 aralığında olmalıdır (Çetindemir, 2012). Nem içeriğinin gerekenden düşük olması anaerobik parçalanmayı yavaşlatıcı ve kısıtlayıcı etki göstererek gaz üretim potansiyelini düşürmektedir ve hatta katıların ayrışmasının 100 yıl kadar geniş bir zaman diliminde gerçekleşmesine sebep olmaktadır (Sel, 2016).

### **2.6.4 Dane Boyutu**

Deponi davranışları inceleyen birçok laboratuvar ölçekli test vardır. Malzeme yoğunluğunun ve partikül boyutunun metan üretiminde etkisini lizimetre kullanarak incelemek mümkündür. Lizimetreler, hemen hemen tüm verilerin ölçümlerini yapabilen laboratuvar ölçekli test hücreleridir (Çakır, 2012). Atığın dane büyüklüğü ve yoğunluğu, besin maddesi transferi ile nemin depo gövdesi içindeki hareketi açısından oldukça önemlidir. Depo gazı oluşum oranını küçük dane boyutları arttırmaktadır. Atık yüksekliğine bağlı olarak atık yoğunluğunun çok yüksek olduğu bölgelerde depo gazı toplama sisteminde sorunlar yaşanabilmektedir. Atığın dane

büyüklüğü 250 mm'den 10mm'ye düşürüldüğünde ayrışma hızının 4,4 kat arttığı belirtilmiştir (Sel, 2016).

### **2.6.5 Besi Maddeleri (Nütrientler)**

Katı atıkların anaerobik bozulmasına katılan mikroorganizmalar, büyümeleri için çeşitli besinleri gerektirir. Bu besinler karbon, hidrojen, oksijen, azot, fosfor, sodyum, potasyum, kalsiyum, magnezyum ve diğer eser malzemeleri içerir. Bu besinler çoğu çöplükte bulunur.

Bununla birlikte, atığın yetersiz homojenleştirilmesi, besleyici sınırlı bir çevreye neden olabilir. Ağır metaller gibi toksik materyaller bakteri üremesini yavaşlatabilir ve sonuç olarak gaz üretimini geciktirebilir. Sindirilen besinlerin miktarı arttıkça, gaz üretim hızı da artar (Warith, 2003).

### **2.6.6 İnhibitörler**

Hidrojen, oksijen ve sülfatın metan oluşumu üzerinde bir inhibisyon etkisi olduğu bilinmekte ve uçucu yağ asitlerinin metan oluşumu üzerine etkisi birçok araştırmaya konu olmuştur. Depolama sahasında bütirik asit, propiyonik asit ve asetik asitin toplam konsantrasyonlarının 6000 mg/l'nin üzerinde olmaması gerekir (Çakır, 2012).

### **2.6.7 Oksijen**

Metanojenik bakteriler, oksijen varlığına özellikle duyarlıdır. Geniş gaz geri kazanım pompalaması, depolama sahasında önemli miktarda bir vakum oluşturarak havayı içeri girmeye zorlayabilir. Bu durumda, atık depolama alanındaki aerobik bölgeyi uzatacak ve sonunda bu tabakalarda metan oluşumunu önleyecektir. Normal şartlar altında, depolama sahasının tepesindeki aerobik bakteri katı atığın kolayca oksijen tüketmesine ve sıkıştırılmış atığın aerobik bölgesini sınırlandırmasına neden olacaktır (Warith, 2003).

### 2.6.8 Hidrojen

Fermantatif ve asetojenik bakteriler tarafından üretilir ve üretilen hidrojen basıncı biyokimyasal reaksiyonları etkiler. Fermantasyon bakterileri hidrojen basıncı düşük olduğunda CO<sub>2</sub> ve asetik asit üretirken yüksek hidrojen basınçlarında ise H<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub> üretirler. Etanol, butirik asit ve propiyonik asit gibi organik bileşikler hidrojen basıncı çok yüksek değilse asetojenik bakteriler tarafından da oluşturulabilir. Propiyonik asidin oluşabilmesi için hidrojen basıncının  $9 \times 10^{-5}$  atm değerinin altında olması gerekir. Yani, hidrojen basıncı yüksek ise propiyonik ve butirik asit oluşacak, fakat bu bileşikler daha fazla ayrışmayacaktır. Hidrojen, metanojenik ve sülfat indirgeyen bakteriler tarafından tüketilir.  $10^{-5}$  atm'den düşük basınçlar, H<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub>'den CH<sub>4</sub> oluşumu için uygundur (Çakır, 2012).

### 2.6.9 Sülfat

Sülfat ve CH<sub>4</sub> bakterileri asetik asit ve H<sub>2</sub>'in ayrışmasını sağlar. Yapılan deneysel ve pilot ölçekli çalışmalar, ortamda SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> mevcut iken CH<sub>4</sub> üretiminin önemli ölçüde azaldığını göstermiştir. Düzenli depolama alanlarında sülfat içeren atıkların depolanmasına dikkat edilmelidir. CH<sub>4</sub> oluşumu ile SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> konsantrasyonlarında azalma aynı anda meydana gelmektedir. Yani atık içerisindeki sülfat hidrojen sülfüre dönüşmeden organik maddeleri metana dönüşümü engellenmektedir.

CH<sub>4</sub> oluşumunun SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> ile ilişkisi, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>'in metanojenik bakteriler üzerindeki herhangi bir toksik etkisiyle bağdaştırılmamış, sadece substrat rekabetiyle ilişkilendirilmiştir. CH<sub>4</sub> bakterilerinin az olduğu kültürlerde SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, CH<sub>4</sub> oluşumunu etkilemez, ancak eğer ortamda Desulfovibrio cinsi gibi SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> indirgeyen bakteri grupları varsa, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>'in indirgenmesi çok fazla enerji gerektiren bir reaksiyon olduğundan bir sınırlandırma söz konusudur (Öztürk, 2018).

### **3. MATERYAL VE YÖNTEM**

#### **3.1 Kastamonu İli ve Katı Atık Yönetimi**

##### **3.1.1 Kastamonu'nun Coğrafi Konumu, Topografyası, İklim ve Bitki Örtüsü, Nüfus ve Ekonomik Yapısı**

Kastamonu ili ülkemizin topraklarının %1,7'sini oluşturmaktadır. Batı Karadeniz bölgesinde 41 derece 21' kuzey enlemi ile 33 derece 46' doğu boylamları arasında yer alır. Yüzölçümü 13.108,1 km<sup>2</sup> ve denizden yüksekliği 775 m'dir (URL-5, 2021).

Türkiye istatistik kurumuna göre 378.050 nüfusa sahip olan Kastamonu İl'inde kuzeyde Karadeniz iklimi, güneyinde İç Anadolu iklimi olmak üzere iki ayrı iklim tipinin egemen olduğu görülmektedir. İlin iklimini biçimlendiren etkenlerin en önemlilerinden biri yeryüzü şekilleridir. İlin kuzeyinde Batı Karadeniz Dağları bulunmakta ve çoğunlukla engebeli arazilerden oluşmaktadır. İl merkezinin kuzeyinde Karadeniz sahiline paralel olarak Küre Dağları, güneyinde ise doğu batı uzantılı Ilgaz dağları yer almaktadır (URL-5, 2021). İlin iç kesimlerine doğru Karadeniz ikliminin etkisi azalmakta, yerini İç Anadolu ikliminin sert ve karasal özelliklerini almaktadır. Bunu da güneyden kible-lodos, kuzeyden yıldız rüzgârları izlemektedir. Aynı zamanda yağışında aylara dağılımı oldukça düzenlidir ve kış dönemindeki yağışlar yıllık yağışın %18'ini, yaz yağışları ise %27'sini oluşturmaktadır (URL-6, 2021).

##### **3.1.2 Kastamonu İli Kentsel Katı Atık Yönetim Sistemi**

Kastamonu merkez ve ilçeler de 2015 yılına kadar evsel katı atıklar vahşi depolama alanlarında biriktiriliyordu. Vahşi depolama alanları kontrolsüz boşaltım yapılması nedeniyle yeraltı ve yüzey su kirliliği, toprak kirliliği, gaz sıkışmaları sonucu patlama gibi başlıca sıkıntılar oluşturarak insan sağlığı ve çevreye büyük zararlar vermesi nedeniyle il ve ilçelerden toplanan evsel atıkların 2015 yılı itibari ile Kastamonu Mahalli İdareler Birliği tarafından 30,12 hektarlık alanda "2. Sınıf Katı Atık Düzenli Depolama Tesisi" kurulmuştur (URL-5, 2021).

Tosya, Taşköprü, İnebolu (Doğanyurt-İnebolu-Abana-Bozkurt), Azdavay (Azdavay - Pınarbaşı), Cide (Cide-Şenpazar) ve Araç (Araç-İhsangazi) Aktarma İstasyonları tarafından Kastamonu ilinde oluşan belediye atıkları Katı Atık Bertaraf Tesisine transfer edilmektedir. Bu ilçelerin dışında kalan Kastamonu- Daday- Küre- Seydiler- Ağlı-Devrekani ve İl Özel İdaresi belediye atıklarını Katı Atık Bertaraf Tesisine kendileri taşımaktadır (URL-5, 2021).

İlde vahşi depo olarak kullanılmış 21 adet çöplük bulunmaktadır. Bunlar ulusal ve AB mevzuatı gereği kapatılmaları ve ıslah edilmeleri gerekmektedir. İldeki çöplükler aşağıda Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1 Kastamonu merkez ili ve ilçe çöplükleri

İlçe	Kirlenmiş Alanın Yaklaşık Yüzölçümü (m <sup>2</sup> )	Tahmini Atık Miktarı (m <sup>3</sup> )	Kullanıldığı Yıl
Merkez	92.000	732.150	33
Devrekani	29.000	25.000	33
Daday	3.900	20.000	30
Taşköprü	44.000	80.000	40
Tosya	42.000	125.000	12
Tosya (Ortalıca)	2.550	5.000	15
İnebolu	8.500	15.000	
Doğanyurt	2.500	7.000	
Abana-Bozkurt	4.000	5.000	
Cide	7.000	12.500	
Ağlı	3.250	10.000	
Seydiler	2.000	5.000	
Şenpazar	2.500	17.000	
Azdavay	7.000	12.000	

Kastamonu İlinde 2020 yılı katı atık miktarı 82.851,18 ton oluşmaktadır. Katı atık miktarı kişi başına üretilen miktar ise 0,95 kg/gün’dür. Kastamonu ili ve Kastamonu mahalli idareler birliğine dahil olan ilçe belediyelerinin katı atıklarına ilişkin bilgiler Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2 Kastamonu ilinde 2020 yılında toplanan belediye atıkları

	ADI	2020 YILI KATI ATIK MİKTARLARI												TOPLAM
		OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK	
1	İL ÖZEL İDARESİ	160,31	196,54	222,93	223,17	197,32	341,73	483,29	482,04	359,10	328,62	268,91	291,14	3555,10
2	KASTAMONU BELEDİYESİ	3316,15	2830,65	3611,20	2916,00	2872,20	3032,85	4058,9	3677,50	3533,25	3219,25	3413,45	3128,50	39609,90
3	TOSYA BELEDİYESİ	785,72	779,47	863,48	777,16	789,44	620,80	998,18	1062,00	993,40	968,52	848,98	873,44	10360,59
4	TAŞKÖPRÜ BELEDİYESİ	498,08	540,34	560,62	448,70	473,08	576,20	623,38	641,50	622,96	579,98	531,58	500,92	6597,34
5	HANÖNÜ BELEDİYESİ	63,26	57,80	57,02	54,32	52,60	70,88	82,98	77,30	76,92	67,00	77,20	65,12	802,40
6	ABANA BELEDİYESİ	90,26	87,00	90,12	88,08	84,18	125,46	219,64	217,56	160,32	121,66	105,06	114,88	1504,22
7	ARAÇ BELEDİYESİ	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	44,16	12,28	0,00	84,76	147,86	192,32	205,00	686,38
8	İHSANGAZİ BELEDİYESİ	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21,10	5,82	0,00	20,44	23,66	31,42	46,28	148,72
9	İNEBOLU BELEDİYESİ	350,24	333,18	401,92	355,18	354,10	398,98	475,34	475,38	416,57	385,20	393,84	422,32	4762,25
10	DOĞANYURT BELEDİYESİ	28,18	24,06	30,42	25,36	26,72	33,04	46,72	43,78	41,00	29,56	31,78	31,04	391,66
11	BOZKURT BELEDİYESİ	174,14	122,42	181,68	154,18	107,54	138,68	136,84	149,86	146,63	166,38	166,04	167,02	1811,41
12	PINARBAŞI BELEDİYESİ	55,88	38,40	67,28	64,60	63,00	82,66	81,16	69,02	76,32	92,22	77,32	71,66	839,52
13	AZDAVAY BELEDİYESİ	81,44	36,26	87,90	83,04	81,62	96,40	92,60	43,02	90,58	101,54	97,16	93,50	985,06
14	CİDE BELEDİYESİ	206,65	82,40	205,12	204,04	221,12	324,72	466,76	481,26	321,00	290,32	256,06	222,42	3281,87
15	ÇATALZEYİN BELEDİYESİ	64,00	159,10	0,00	71,25	45,00	68,63	306,20	32,95	169,05	95,45	368,35	239,20	1619,18
16	ŞENPAZAR BELEDİYESİ	31,85	7,88	29,04	29,06	28,20	40,72	49,84	53,38	37,78	34,26	29,66	27,76	399,43
17	KÜRE BELEDİYESİ	103,05	101,40	109,45	94,75	86,30	95,55	110,90	104,30	91,80	93,00	109,45	107,80	1207,75
18	AĞLI BELEDİYESİ	27,05	34,30	46,95	46,25	42,00	51,90	76,55	94,55	54,65	48,30	55,70	60,85	639,05
19	SEYDİLER BELEDİYESİ	52,85	50,10	70,00	60,60	57,95	71,80	92,30	108,95	67,30	81,00	69,85	74,15	856,85
20	DEVREKANI BELEDİYESİ	143,65	144,80	175,05	167,20	164,75	216,55	240,85	249,70	185,75	192,75	171,95	165,50	2218,50
21	ILGAZALT YAPI BİRLİĞİ	5,45	6,25	2,95	3,10	3,45	14,95	4,40	4,55	4,65	4,65	5,65	5,05	65,10
22	KRONOSPAN	46,05	24,45	85,30	17,15	27,20	26,55	31,65	41,20	35,30	72,45	34,15	37,35	478,80
23	CENGİZ İNŞ.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,00	4,50	14,40	11,20	30,10
	<b>GENEL TOPLAM</b>	<b>6284,26</b>	<b>5656,80</b>	<b>6898,43</b>	<b>5883,19</b>	<b>5777,77</b>	<b>6494,31</b>	<b>8696,58</b>	<b>8109,8</b>	<b>7589,53</b>	<b>7148,13</b>	<b>7350,28</b>	<b>6962,1</b>	<b>82851,18</b>

Tablo 3.3 Yıllara göre Kastamonu ilinde toplanan katı atık miktarları

Yıl	İl ve İlçe Belediyelerden Gelen Atık Miktarı (ton/yıl)
2001	116.274
2002	119.896
2003	118.581
2004	125.881
2006	121.429
2008	113.397
2010	113.968
2012	128.115
2014	129.901
2015	81.939
2016	66.393
2017	71.206
2018	85.522
2019	80.367
2020	82.851

### 3.2 Kastamonu İli Düzenli Depolama Sahası

Düzenli depolama sahasında atıkların depolanacağı alanın taban zemini 50 cm kalınlığın da geçirimsizlik katsayısı (permeabilite)  $1.10^{-9}$  m/sn'den küçük sıkıştırılmış kil ile kaplanarak geçirimsiz olarak inşa edilmiştir. Oluşan sızıntı sularının toplamak için jeotekstil üzerine drenaj boruları (çapı min 200 mm ve borulardaki minimum eğim % 1 olacak şekilde) ve HDPE membran tabaka üzerinde 50 cm çakıl dren tabakası yerleştirilmiştir ve depolama alanının nihai hali Şekil 3.1'de verilmiştir. Her gün toplama araçlarıyla depolama sahasına getirilen atıklar kompaktör ile sıkıştırılarak yayılıp ve günün sonunda oluşan atığın üzeri 15 cm kalınlığında günlük örtü ile kaplanarak hücre dolduktan sonra üzeri yönetmeliğe uygun şekilde kapatılmaktadır.



Şekil 3.1 Kastamonu düzenli depolama tesisinin işletmeye alınmadan önceki hali

Katı atık düzenli depolama sahası için hazırlanan ÇED Raporuna göre Düzenli Depolama Sahasının 4 lottan oluşması planlanmıştır. Ancak uygulama projesi aşamasında topografik yapı kontrol ve servis yolları eğimleri de dikkate alınarak yapılan planlamada düzenli depolama sahasının 3 lottan oluşturulması hem teknik hem de ekonomik yönden uygun görülmüştür. Bu lotlar sırasıyla 2,61; 2,79 ve 3,98 ha'dan oluşmaktadır. Düzenli depolama alanının ön proje çalışmasına göre atık yüzeyinin 1/3 şevli olarak biriktirilmesi kabulü ile 3 lotun 2010-2030 yılları arası hizmet verebileceği hesaplanmıştır. Birim atık kabulü ve nüfus projeksiyonları sonucu 2030 yılı itibari ile hesaplanan kümülatif atık hacmi 0,84 yoğunluk tahmini ile 2.199.266 m<sup>3</sup>'dür. Tesis vaziyet planının oluşması sonucu oluşturulan 3 lotta 2030 yılı itibari ile depolanabilecek kümülatif atık hacmi ise 2.000.000 m<sup>3</sup>'dür. Buna göre alanın 2030 hedef yılına kadar yeterli olduğu görülmektedir.

Her bir lotta hesaplanan atık miktarı ise Tablo 3.4'de verilmiştir. Düzenli depolama tesisinde sabit hizmet yapıları (idari bina, tıbbi atık sterilizasyon binası, atölye binası, tekerlek yıkama ünitesi, kantar ve güvenlik binası, ambalaj atıklarını toplama ve ayırma ünitesi, garaj) ile atık depolama hücreleri bulunmaktadır. Bu yapılara ulaşım mevcut köy yolları üzerinden sağlanmaktadır.



Şekil 3.2 Kastamonu düzenli depolama tesisinin işletmede ki hali

Tablo 3.4 Planlanan düzenli depolama alanı lotları, kapasiteleri, hizmet yılları

Depo Alanı Lotları	Lot Alanı (Ha)	Hesaplanan Atık Hacmi (m <sup>3</sup> )	Alanın Kapasitesi (m <sup>3</sup> )	Hizmet Yılı
1. Kademe	2,61	742.287	750.000	2011-2017
2. Kademe	2,79	749.462	700.000	2017-2024
3. Kademe	3,98	707.516	750.000	2024-2030
<b>Toplam</b>	<b>9,38</b>	<b>2.199.266</b>	<b>2.200.000</b>	<b>2010-2030</b>

Sabit tesislerinin yerleşimlere uzaklıkları Kadıköy Mah. 1.040 m, Aşağı Küpler Mah. 600 m, Küpler Mah. 900 m, Sipahiler Köyü'ne 1600 m, Yolasığmaz Mah. 1.500 m, Sarıyonca Köyü'ne 2250 m ve Devrekani İlçesi'ne ise 7250 m uzaklıktadır.

### 3.3 Kastamonu Deponi Gazı Elektrik Üretim Tesisinin Tanıtımı

Katı atık düzenli depolama sahalarında depolanan katı atıkların havasız ortamda üreyen anaerobik bakteriler yardımı çürümesi sonucunda oluşan gaza Depo Gazı veya Deponi Gaz (LFG) denir. Depo gazı içeriği genellikle CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> ve diğer gazlardan oluşmaktadır.

Düzenli depolama sahalarındaki gazın oluşumu katı atık içerisindeki organik atık miktarı ile orantılı olarak değişebilir. Açığa çıkan bu depo gazı uygun tekniklerle

toplanıp değerlendirme yoluna gidilmezse yanıcı ve patlayıcı özelliğinden dolayı tehlikeler oluşturarak insan ve doğa için riskler oluşturabilmektedir. Depo gazının bu zararlı etkilerinin ortadan kaldırılması için uygun tekniklerle toplanıp yakılarak veya enerji üretimi amacıyla kullanılarak bertaraf edilmesi gerekmektedir. Depo gazının zararlı etkileri nedeniyle Depo Gazı Yönetimi oluşturulmalıdır. Yakılmaması durumunda açığa çıkan CH<sub>4</sub> gazı CO<sub>2</sub>'e göre 23 kat daha tehlikeli sera etkisine neden olabilmektedir. Yakılması durumunda hem çevre hem de enerji kaynağı olması nedeni ile avantaj sağlamaktadır.

Kastamonu İlindeki katı atık düzenli depolama sahasında yapılan inceleme ve araştırmalar sonucunda burada oluşan depo gazının çevre ve insan sağlığına olumsuz etkilerinin giderilmesinin yanında, oluşan bu gazın değerlendirilmesi suretiyle ekonomik bir değer haline getirilebileceği tespit edilmiştir.

Bu çerçevede KASMİB, Katı Atık Düzenli Depolama Sahasında oluşan depo gazının bertaraf edilmesi ve aynı zamanda değerlendirilmesi amacıyla "Düzenli Depolama Sahasında Oluşan Metan Gazından Elektrik Üretimi" projesi başlatılmıştır.

KASMİB tarafından "KASMİB Katı Atık Düzenli Depolama Tesisinde Oluşan Metan Gazının Elektrik Enerjisine Dönüştürülmesi İşİ"ne ait ihale 06.09.2017 tarihinde yapılmış, ihaleye ilişkin 10 yıllık süreyi kapsayan sözleşme 09.10.2017 tarihinde imzalanmıştır.

31.10.2018 tarihinde Yap-İşlet modeliyle, kurulu gücü saatte 1,56 Megawatt (1.560 kilowatt/saat) olan Deponi Gaz (LFG) Elektrik Üretim Tesisi faaliyete geçirilmiştir. Uygulamada 1.100 Kilowatt/saat civarında elektrik üretimi gerçekleştirilmektedir.

Deponi Gaz (LFG) Elektrik Üretim Tesisi, 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun gereğince YEKDEM (Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması) sözleşmesinden yararlanmaktadır.

İlgili firma ile yapılan sözleşme gereği, yüklenici firma tarafından satılan elektriğin hasılatı üzerinden % 57,25 oranındaki pay alınmakta, elde edilen bu payın % 80'i katkı atık bertaraf maliyetlerinin karşılanmasında kullanılmaktadır.



Şekil 3.3 Kastamonu ili deponi gazı elektrik üretim tesisi

### **3.4 Kastamonu Deponi Gazı Modellemesi İçin Gerekli Verilerin Hesaplanması**

#### **3.4.1 Nüfus Tahmin Yöntemi**

Kastamonu düzenli depolama tesisi 2015 yılında işletmeye alınmış olup 21 yıl hizmet verilmesi planlanarak projelendirilmiştir. Bu proje süresi sonunda atık miktarını etkileyecek olan önemli bir parametre nüfus değerleri olup bu değerlerin hesaplanmasında pek çok metot kullanılmaktadır. Ülkemizde proje hazırlayan kurumlarında kullandığı nüfus tahmin yöntemlerinden İller Bankası yöntemi ile nüfus değerleri hesaplanmıştır. Kastamonu iline ait geçmiş yıllara ait nüfus değerleri Tablo 3.5'de verilmiştir.

Tablo 3.5 Kastamonu ili geçmiş nüfus verileri (URL-7, 2021)

Yıl	Nüfus
2007	360.366
2008	360.424
2009	359.823
2010	361.222
2011	359.759
2012	359.808
2013	368.093
2014	368.907
2015	372.633
2016	376.945
2017	372.373
2018	383.373
2019	379.405
2020	376.377
2021	378.050

### 3.4.1.1 İller bankası yöntemi

İller Bankası yöntemi aşağıdaki formüllerle hesaplanır.

$$P = \left( \sqrt[a]{\frac{N_s}{N_i}} - 1 \right) \times 100 \quad (3.1)$$

$$N_g = N_s \times \left( 1 + \frac{P}{100} \right)^{t_g - t_s} \quad (3.2)$$

$$a = t_s - t_i \quad (3.3)$$

Burada; P: Nüfus artış hızı, N<sub>g</sub>: Gelecekteki Nüfus Değeri, N<sub>s</sub>: Son Nüfus Değeri, N<sub>i</sub>: İlk Nüfus Değeri, t<sub>g</sub>: Gelecekteki nüfus değerine karşılık gelen yıl, t<sub>s</sub>: Son nüfus sayımının yapıldığı yıl, t<sub>i</sub>: İlk nüfus sayımının yapıldığı yıldır.

Nüfus değerleri hesaplanırken ilk olarak artış hızı hesaplanır. Artış hızı 1'den küçük ise P değeri 1 alınır. 1 ile 3 arasında bulunan değerlerde P değeri aynen alınır. 3'den büyük ise P değeri 3 alınır.

### 3.4.2 Deponi Gazı Kinetik Modelleri

Katı atık düzenli depolama tesisinde oluşacak gaz miktarlarını hesaplamak için kullanılan matematiksel modeller mevcuttur. Bu metotlardan bazıları monod kinetiği, 1.derece kinetik, Sheldon-Arleta, Palos Verdes, School Canyon, EPA (LandGEM) ve Tabasaran/Rettenberger modelleri ile gerekli hesaplamalar yapılmaktadır. Bu modellerden EPA (LandGEM) ve Tabasaran/Rettenberger modellerinden faydalanılacaktır.

#### 3.4.2.1 EPA (LandGEM) modeli

EPA modeli birinci derece denkleme dayanmakta olup, katı atık düzenli depo sahalarında oluşan ve hava kirliliğine yol açan gaz emisyonlarının tahmininde kullanılmak için geliştirilmiştir. Birinci dereceden bir denkleme dayalı olarak deponi gazı üretiminin modellenmesinde kullanılan iki önemli parametre vardır. Bunlar metan üretim hızı sabiti,  $k$  ( $\text{yıl}^{-1}$ ) ve metan üretim potansiyeli,  $L_0$  ( $\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{ton}$ ) dir (Çakır ve Gunerhan, 2012).

$$Q_{LFG} = 2x \sum_{i=1}^n \sum_{j=0.1}^1 kL_0 \left(\frac{M_i}{10}\right) e^{-kt_{ij}} \quad (3.4)$$

Burada  $Q_{\text{CH}_4}$ : Yıl içerisindeki metan üretim miktarı ( $\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{yıl}$ ),  $i$ : 1 yıllık artış,  $n$ : hesaplama yılı-atık kabulünün yapıldığı yıl,  $j$ : 0,1 yıllık zaman artışıdır,  $k$ : Metan üretim hızı ( $\text{yıl}^{-1}$ ),  $L_0$ : Potansiyel metan üretim kapasitesi ( $\text{m}^3/\text{ton}$ ),  $M_i$ :  $i$ .yılıda kabul edilen atık miktarı (ton),  $t_{ij}$ :  $t$ .yılıda depolanan atığın yaşı (yıl) olarak tanımlanmaktadır.

Atığın metan potansiyeli biyolojik olarak parçalanabilen atık miktarına, ayrıştırma düzeyine, mikrobiyal kullanım oranlarına, uçucu katılara, nem ve sıcaklık gibi iklim koşullarına bağlıdır (Fallahizadeh vd., 2019).

Bu modelin kullanımı belli avantaj ve dezavantajlara sahiptir (Klimov vd., 2018).

### **Avantaj:**

- Düzenli depolama sahasında biyogaz miktarını belirlenmesine olanak sağlar ve anlaşılması kolaydır,
- Depolama sahasının bağlı olarak metan oluşum potansiyelini hesaplarken atığın morfolojik bileşimini hesaba katar,
- Bu model US EPA hesaplamalarında aktif olarak kullanılmaktadır.

### **Dezavantaj:**

- Bu model gelişmiş ülkelerin iklim koşulları için geliştirilmiştir,
- Yüksek atık bertaraf standartlarına sahip ülkeler için geliştirilmiştir.

#### **3.4.2.2 Tabasaran ve Rettenberger modeli**

Bu modelde bir depolama alanından çıkan toplam deponi gazı miktarını kümülatif olarak aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$G_t = 1,868 \times C_{org} \times (0,014\theta + 0,28) \times (1 - 10^{-kt}) \times M_t \quad (3.4)$$

$G_t$ : t. yıla kadar üretilen gaz miktarı ( $Nm^3$ ),  $C_{org}$ : Organik karbon içeriği (kg/ton atık),  $\theta$ : Sıcaklık ( $^{\circ}C$ ), t: İlk atık depolama yılından başlayarak geçen süre (yıl), k: Deponi gazı oluşum hızı sabiti ( $yıl^{-1}$ ),  $M_t$ : t. yılda depolanan atık miktarı (ton) olarak tanımlanmaktadır.

Bu modelin avantajı ise bir ton atık başına belirli biyogaz miktarını ve belirli bir zamanda oluşan toplam miktarını belirlemeyi sağlarken, dezavantajı ise hesaplama için daha fazla veri gerektirmesidir (Klimov vd., 2018).

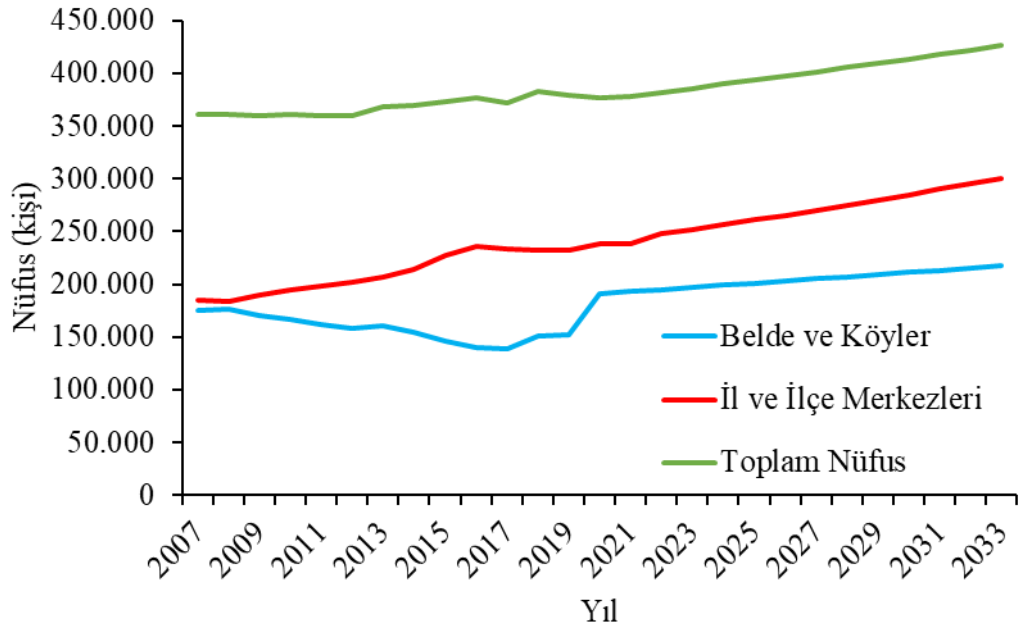
## 4. BULGULAR

### 4.1 Kastamonu İli Nüfus Tahmini ve Yıllık Enerji Tüketimi

Materyal ve yöntemde ifade edildiği denklemler kullanılarak nüfus artış projeksiyonları hesaplanmıştır. Nüfus artış miktarını hesaplamak için geçmiş veriler kullanılmıştır. TUİK'ten 2007-2021 arası verilerden yararlanılıp Kastamonu ili için gelecek yıllar için iller bankası yöntemi ile hesaplanmıştır (Tablo 4.1). Elde edilen sonuçlar Şekil 4.1'de verilmiştir. Türkiye ve Kastamonu Geneli Yıllık Enerji Tüketimi bilgileri TUİK'ten temin edilmiş olup Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.1 Kastamonu ili yıllara göre nüfus artışı

Yıllar	Belde ve Köyler	İl ve İlçe Merkezleri	Toplam Nüfus
2007	175.681	184.685	360.366
2008	176.196	184.228	360.424
2009	169.839	189.984	359.823
2010	166.163	195.059	361.222
2011	162.055	197.704	359.759
2012	157.802	202.006	359.808
2013	161.048	207.045	368.093
2014	154.719	214.188	368.907
2015	145.765	226.868	372.633
2016	140.582	236.363	376.945
2017	138.559	233.814	372.373
2018	150.703	232.670	383.373
2019	152.210	232.670	379.405
2020	191.294	238.902	376.377
2021	193.207	238.902	378.050
2022	195.139	247.488	381.831
2023	197.090	251.896	385.649
2024	199.061	256.382	389.505
2025	201.052	260.949	393.400
2026	203.062	265.597	397.334
2027	205.093	270.327	401.308
2028	207.144	275.142	405.321
2029	209.215	280.042	409.374
2030	211.308	285.030	413.468
2031	213.421	290.107	417.602
2032	215.555	295.274	421.778
2033	217.710	300.533	425.996



Şekil 4.1 Kastamonu ili, ilçe, belde ve köylerin nüfus artışları (2007-2033)

Tablo 4.2 Türkiye ve Kastamonu geneli yıllık enerji tüketimi (URL-7, 2021)

Yıl	Kastamonu		Türkiye	
	Elektrik Tüketimi (MWsa)	Kişi Başına Toplam Elektrik Tüketimi (KWsa)	Elektrik Tüketimi (MWsa)	Kişi Başına Toplam Elektrik Tüketimi (KWsa)
2015	683.970	1.836	217.312.250	2.760
2016	873.793	2.318	231.203.746	2.897
2017	934.941	2.511	249.022.646	3.082
2018	1.002.662	2.615	258.232.177	3.149
2019	997.013	2.628	257.273.130	3.094

#### 4.2 Katı Atık Miktarı

Kastamonu İli düzenli depolama tesisine 2015 yılı itibari ile atık kabulü başlanmıştır. Atık miktarları düzenli depolama tesislerine gelen çöp kamyonlarının kantar ölçümleri alınarak kontrollü olarak atıkların bertarafı gerçekleştirilmektedir. KASMİB'ten temin edilen Tablo 4.3'te 2015-2020 yılı atık miktarları ve yıllara göre kişi başına atık miktarları Tablo 4.4'te ise kişi başına üretilen evsel katı atık miktarı tahminleri (2015-2033) verilmiştir. 2015 yılı katı atık miktarının düşük olmasının nedeni Düzenli depolama tesisinin işletmeye alınması belli bir aydan sonra olması kaynaklı olup bu nedenle kişi başına düşen atık miktarı da düşük çıkmıştır.

Tablo 4.3 Kastamonu ili düzenli depolama alanına gelen yıllara göre katı atık miktarı ve kişi başı ortalama katı atık miktarı

Yıl	Katı Atık Miktarı (ton)	Kişi Başına Düşen Katı Atık Miktarı (kg/kişi.gün)
2015	22.607	0,27
2016	66.393	0,77
2017	71.207	0,83
2018	85.522	1,01
2019	80.367	0,93
2020	82.851	0,95

Tablo 4.3 incelendiğinde de ilk üç yıl il ve ilçe merkezlerinden toplana atığın az olması nedeni ile kişi başı atık miktarları düşük çıkmaktadır. 2018-2020 kişi başı atık miktarları baz alındığında 0,96 kg/kişi gün olarak hesaplanmaktadır. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının 2023 yılı Ulusal Atık Yönetimi ve Eylem Planı çerçevesinde kişi başı atık miktarı ise 0,96 kg/kişi.gün olarak kabul edilmiştir (URL-8, 2021). Bu nedenle gelecek yıllarda 0,96 kg/kişi.gün değeri kullanılarak yıllık atık miktarları hesaplanmıştır.

Tablo 4.4 Kişi başına üretilen evsel katı atık miktarı tahminleri (2015-2033)

Yıl	İl ve İlçe Merkezleri Nüfus (kişi)	Katı Atık Miktarı (ton/yıl)
2015	226.868	22.607
2016	236.363	66.393
2017	233.814	71.207
2018	232.670	85.522
2019	236.814	80.367
2020	238.902	82.851
2021	243.157	85.202
2022	247.488	86.720
2023	251.896	88.264
2024	256.382	89.836
2025	260.949	91.436
2026	265.597	93.065
2027	270.327	94.723
2028	275.142	96.410
2029	280.042	98.127
2030	285.030	99.875
2031	290.107	101.653
2032	295.274	103.464
2033	300.533	105.307

### 4.3 Deponi Alanında oluşacak Deponi Gazının Ölçülmesi

#### 4.3.1 Deponi Gazının EPA (LandGEM) Modeli ile Tahmini

Materyal ve yöntem de verilen depo gazı hesaplama formüllerinden yararlanılmıştır. Hesaplamalarda kullanılan metan üretim hız sabiti olan k sabitinin hesaplanmasında Kastamonu'ya düşen yıllık yağış miktarının bilinmesi önemlidir. Meteoroloji genel müdürlüğünden alınan 1930-2020 yılı arası verilerde Kastamonu ili 482,3 mm yıllık yağış miktarı almaktadır (URL-9, 2021). Buna göre k sabiti değeri aşağıda ki gibi hesaplanmaktadır (Şentürk ve Yildirim, 2020).

$$k = [3,2 \times 10^{-5} \times \text{yıllık yağış miktarı (mm)}] + 0,01 \quad (4.1)$$

Kastamonu ili için yıllık yağış miktarı 482,3 mm değeri için k sabiti 0,0254 yıl<sup>-1</sup> olarak bulunmuştur.

EPA LandGEM modelinde iki ayrı fonksiyonel hesaplama modeli olan CAA (Clean Air Act) ve AP-42 (USEPA Compilation of Air Pollutant Emission Factors) kullanılmaktadır. Burada ki değişkenler Lo ve k sabiti değerleridir. Bu değerler CAA ve AP-42 modelleri için sırasıyla Lo;170 ve 100 m<sup>3</sup>/ton atık, k sabitleri ise 0,05 ve 0,04 yıl<sup>-1</sup> değerleri kabul edilmektedir. Bu değerlerin yerine deneylerle elde edilen veriler kullanılabilir (Atmaca, 2015).

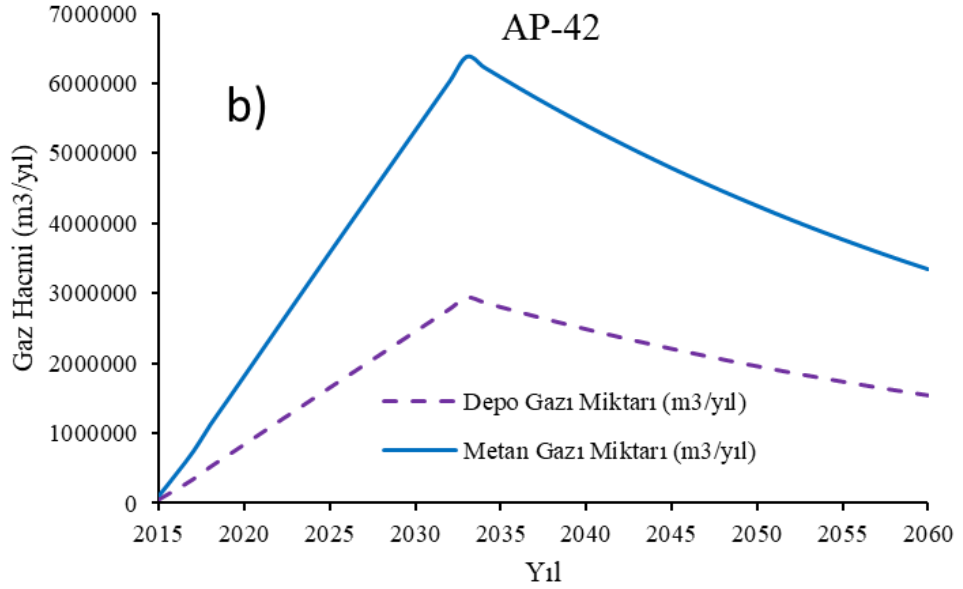
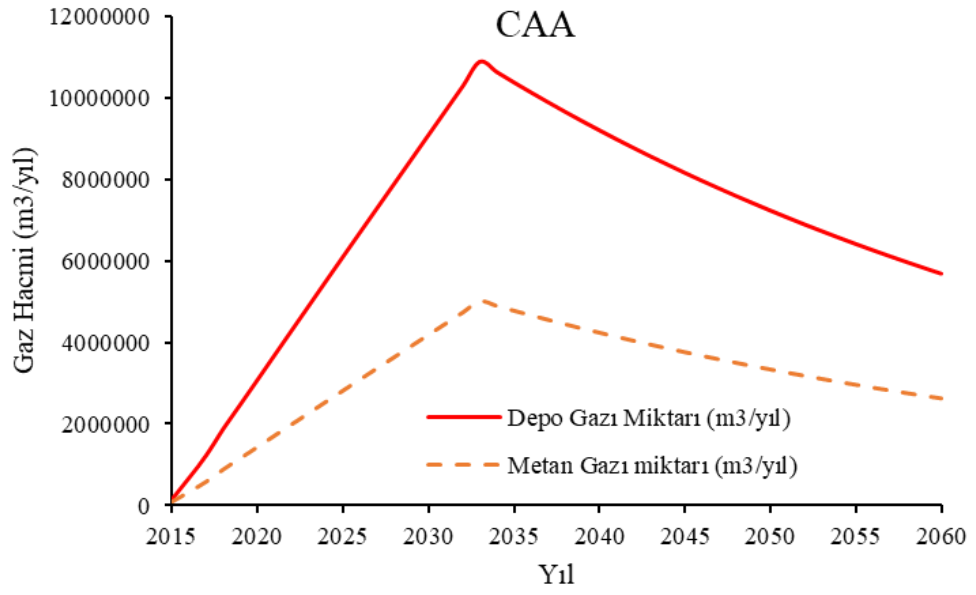
Model sonuçlarına göre hesaplanan CAA ve AP-42 depo gazı miktarları Tablo 4.5'te ve metan gazı miktarları Şekil 4.2'de verilmiştir. Düzenli depolama tesisinin de 40 baca bulunmakta olup ölçülen değerlerin ortalama değerlerine göre oluşan depo gazının %46 CH<sub>4</sub>, %36 CO<sub>2</sub> ve %18 ise diğer gazlardan oluşmaktadır.

Tablo 4.5 LandGEM modeli CAA ve AP-42 için biyogaz miktarları (m<sup>3</sup>/yıl)

Yıl	CAA Biyogaz miktarı (m <sup>3</sup> /yıl)	AP-42 Biyogaz miktarı (m <sup>3</sup> /yıl)
2015	180.100	105.941
2016	704.744	414.556
2017	1.255.298	738.411
2018	1.906.842	1.121.671
2019	2.501.868	1.471.687

Tablo 4.5'in devami

2019	2.501.868	1.471.687
2020	3.102.572	1.825.042
2021	3.707.759	2.181.035
2022	4.310.685	2.535.697
2023	4.911.617	2.889.186
2024	5.510.822	3.241.660
2025	6.108.565	3.593.273
2026	6.705.106	3.944.180
2027	7.300.706	4.294.533
2028	7.895.622	4.644.484
2029	8.490.110	4.994.182
2030	9.084.423	5.343.778
2031	9.678.814	5.693.420
2032	10.273.533	6.043.255
2033	10.868.829	6.393.429
2034	10.611.082	6.241.813
2035	10.359.448	6.093.793
2036	10.113.781	5.949.283
2037	9.873.940	5.808.200
2038	9.639.786	5.670.463
2039	9.411.186	5.535.992
2040	9.188.006	5.404.709
2041	8.970.119	5.276.541
2042	8.757.399	5.151.411
2043	8.549.723	5.029.249
2044	8.346.973	4.909.984
2045	8.149.030	4.793.547
2046	7.955.782	4.679.872
2047	7.767.116	4.568.892
2048	7.582.924	4.460.544
2049	7.403.101	4.354.765
2050	7.227.542	4.251.495
2051	7.056.146	4.150.674
2052	6.888.814	4.052.244
2053	6.725.451	3.956.147
2054	6.565.961	3.862.330
2055	6.410.254	3.770.738
2056	6.258.240	3.681.317
2057	6.109.830	3.594.018
2058	5.964.940	3.508.788
2059	5.823.485	3.425.580
2060	5.685.386	3.344.344



Şekil 4.2 Deponi gazı oluşumu a) CAA ve b) AP-42 Modeli

Şekil 4.2 incelendiğinde deponi gazı oluşumu 2033'e kadar artıp sonrasında düşme eğilimindedir. Lotlar kapandıktan sonra LandGEM modeline göre 200 yıl süresince depo gazı oluşmaya devam edecektir (Atmaca,2012). 2033 yılından itibaren düşmesinin sebebi lotların kapanmış ve yeni atık girişinin olmaması kaynaklıdır. 2214 yılında modellerin CAA ve AP-42 için oluşacak toplam gaz ve metan miktarı Tablo 4.6 verilmiştir.

Tablo 4.6 LandGEM model sonuçlarının 200 yıllık karşılaştırılması

	CAA	AP-42
Toplam Atık (ton)	1.643.029	1.643.029
Toplam Deponi Gazı oluşumu (m <sup>3</sup> )	546.143.225	321.260.720
Toplam Metan Oluşumu (m <sup>3</sup> )	251.225.883	147.779.931
Birim Metan Oluşumu (m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /ton atık)	153	90

Literatürde, birim ton atık başına oluşan metan gazı hacmi 6,2-270 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ton arasındadır (Yıldırım, 2020). Hesaplanan CAA ve AP-42 modeller için birim gaz oluşumu 153 ve 90 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ton bulunmuştur. CAA ve AP-42 için bulunan değerler bu aralık arasına düştüğü görülmüştür.

#### 4.3.2 Deponi Gazının Tabasaran/Rettenberger Modeli ile Tahmini

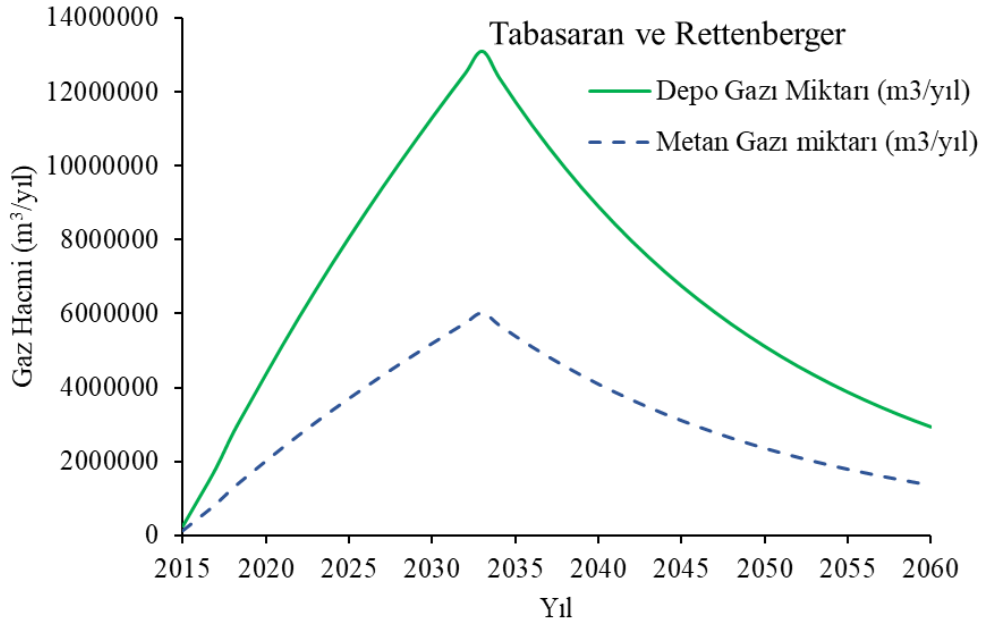
Materyal ve yöntemde verilen formüller kullanılarak model ile deponi gazı tahmin edilmiştir. Modelin hesaplanmasında depolanan C<sub>org</sub>, Organik karbon içeriği 170-200 kg/ton atık, sıcaklık (θ) ise 25-40°C arasında kabul edilmektedir. Modelin uygulamasında C<sub>org</sub> 170 kg/ton, sıcaklık 30°C, k sabiti de LandGEM’de hesaplanan değer olan 0,024 yıl<sup>-1</sup> olarak kabul edilmiştir. Lotlar kapandıktan sonra 2060 yılına kadar olan depo gazı ve metan oluşumu Tablo 4.7’de ve Şekil 4.3’de verilmiştir. Tabasaran ve Rettenberger Modelinde de hesaplamalar karşılaştırabilmek adına LandGEM’de olduğu gibi 200 yıllık hesaplanmıştır. Tablo 4.8’de birim atık ton başına oluşan Metan gazı hesaplandığında da 102 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ton olarak bulunmuştur.

Tablo 4.7 Tabasaran/Rettenberg modeline göre oluşan biyogaz

Yıl	Deponi gaz miktarı (m <sup>3</sup> /yıl)
2015	270.180
2016	1.049.114
2017	1.843.704
2018	2.766.661
2019	3.578.392
2020	4.376.166
2021	5.159.147
2022	5.918.169
2023	6.654.843

Tablo 4.7'nin devamı

2024	7.370.699
2025	8.067.191
2026	8.745.700
2027	9.407.541
2028	10.053.962
2029	10.686.152
2030	11.305.240
2031	11.912.303
2032	12.508.367
2033	13.094.409
2034	12.390.416
2035	11.724.272
2036	11.093.942
2037	10.497.500
2038	9.933.125
2039	9.399.092
2040	8.893.770
2041	8.415.616
2042	7.963.168
2043	7.535.046
2044	7.129.940
2045	6.746.614
2046	6.383.897
2047	6.040.681
2048	5.715.917
2049	5.40.8613
2050	5.117.830
2051	4.842.681
2052	4.582.325
2053	4.335.966
2054	4.102.852
2055	3.882.271
2056	3.673.549
2057	3.476.049
2058	3.289.167
2059	3.112.332
2060	2.945.004



Şekil 4.3 Tabasaran/Rettenberg modeline göre oluşan depo gazı ve metan gazı oluşumu

Tablo 4.8 Tabasaran/Rettenberg modeline göre 200 yıllık birim metan oluşumu, toplam deponi ve metan gazı oluşumu

	Tabasaran/Rettenberg
Toplam Atık (ton)	1.643.029
Toplam Biyogaz oluşumu (m <sup>3</sup> )	365.221.821
Toplam Metan Oluşumu (m <sup>3</sup> )	168.002.038
Birim Metan Oluşumu (m <sup>3</sup> gaz/ton atık)	102

#### 4.4 Kastamonu Deponi Gazının Enerji Potansiyeli

Kastamonu Deponi Gazı Elektrik Üretim Tesisi işletmesi yapan firmanın yetkililerinden alınan ortalama deponi gazının bileşimini incelendiğinde CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>S değerleri sırasıyla % 46, %36, % 2 ve 3 ppm ölçülmüştür.

Metan ve doğal gazın yakılması ile 802,7 kJ/mol (192 kkal) enerji açığa çıkmaktadır (Lee ve Trimm, 1995). Normal sıcaklık ve basınç altında metanın yoğunluğu 0,71 kg/m<sup>3</sup> olup ölçülen tesis verilerin de hacimce metan 0,46 olduğunda yoğunluk formülünü kullanarak gazın kütlesi hesaplanır (URL-10, 2021).

Yoğunluk formülünde değerler yerine yazıldığında da 0,327 kg yani 327 g hesaplanmaktadır. Bu durum da,

1 mol metanın moleküler ağırlığı 16 g ise yandığı zaman 192 kkal enerji açığa çıkmaktadır. Ölçülen değerlere göre 327 g metan yandığı zaman 3909 kkal enerji açığa çıkmaktadır. 1 m<sup>3</sup>/saat deponi gazının birim dönüştürmeler yapıldığı da (1 kWs ise 860 kkal) 3909 kkal=4,54 kWs/m<sup>3</sup> enerji değeri hesaplanmaktadır.

Tesiste biyogazdan 1,325 kWs/m<sup>3</sup> elektrik enerjisi üretilmektedir. Yapılan hesaplamalarda 1 m<sup>3</sup> biyogazdan 4,54 kWs hesaplanmıştır. Biyogazın elektrik enerjisine dönüştürme verimini hesapladığımızda  $(1,325/4,54) \times 100 = \%29$  bulunmaktadır. Yani oluşan enerjinin sistemde bazı kayıplara (fuko kaybı, histerisiz kaybı, sürtünme kaybı vb) uğrayarak verim düşmektedir. Tesisten alınan bilgiye göre 2021 yılı kullanılan toplam gaz miktarı 7956322 m<sup>3</sup>/yıl olup yakılarak bertaraf edilmiştir. 2021 yılı için tesisten alınan elektrik enerjisi verisi 1,323 kWs/m<sup>3</sup> olduğunda toplam gaz miktarını hesaba katarsak üretilen elektrik enerjisi 10526,21 MW iken hesaplamalara göre bu değer  $(7956322 \times 4,54)$  36121,7 MW bulunmuştur. Kısaca, hesaplamalarda 36121 MW enerji eşdeğerine sahip olan gazın 10526,21 MW'ı elektrik enerjisine dönüştürülmüştür. Geri kalan kısmı bahsettiğimiz gibi bazı kayıplara uğramıştır.

Depolama sahasında 1 m<sup>3</sup> deponi gazının yanması sonucunda açığa çıkan CO<sub>2</sub> emisyonunun hesaplanması Tablo 4.9'da ve 2021 yılı CO<sub>2</sub> emisyonu Tablo 4.10'da verilmiştir.

Tablo 4.9 Deponi gazının yanması sonucu oluşan CO<sub>2</sub> emisyonu

CH <sub>4</sub> yanması sonucu oluşan CO <sub>2</sub> emisyonu miktarı (gCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> )	898,15
Deponi gazın bileşiminde ki CO <sub>2</sub> miktarı (g/m <sup>3</sup> ) (d=m/V)	711,72
Toplam (g)	1609,87

Tablo 4.10 2021 yılı Kinetik modellere göre açığa çıkan CO<sub>2</sub> emisyonu miktarları

2021 yılı için CO <sub>2</sub> Emisyonu Miktarı (ton)		
CAA	AP-42	Tabasaran/Rettenberg
5969	3511	8306

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

- Bu tez çalışmasında, Kastamonu ili nüfus bilgilerinden faydalanarak geleceğe yönelik nüfus projeksiyonları iller bankası yöntemi ile hesaplanmıştır.
- Kastamonu ili 2018-2020 yıllarına ait katı atık verileri KASMİB'ten temin edilmiş olup ortalama kişi başı katı atık miktarı 0,96 kg/kişi.gün olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değer Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının 2023 yılı Ulusal Atık Yönetimi ve Eylem Planı çerçevesinde kişi başı atık miktarı ile örtüştüğü görülmüştür.
- Kastamonu düzenli depolama tesisinde oluşacak deponi gazının ölçülmesi için uygulanan EPA LandGEM kinetik modelinin CAA ve AP-42 için gaz oluşumu 153 ve 90 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ton bulunmuştur. Literatürde birim ton atık başına oluşan metan gazı hacmi 6,2-270 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ton arasında olup CAA ve AP-42 için bulunan değerler bu aralık arasına düştüğü görülmüştür. Bu modelin 200 yıllık hesaplanan veriler için CAA ve AP-42 251.225.883 m<sup>3</sup> ve 147.779.931 m<sup>3</sup> metan gazı oluşacağı öngörülmüştür.
- Deponi gazının ölçülmesi için uygulanan diğer bir model olan Tabasaran ve Retenberger kinetik modeline göre hesaplandığında ise birim ton atık başına oluşan metan gazı hacmi 102 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ton bulunmuştur. Diğer model ile kıyaslayabilmek adına 200 yıllık hesaplanan metan gazı ise 168.002.038 m<sup>3</sup> olacağı öngörülmüştür.
- Kastamonu Deponi Gazı Elektrik Üretim Tesisi işletmesi yapan firmanın yetkililerinden alınan ortalama deponi gazının bileşimini incelendiğinde CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>S değerleri sırasıyla %46, %36, %2 ve 3 ppm ölçülmüştür. 1 m<sup>3</sup>/saat deponi gazının enerji değeri birim dönüştürmeler yapıldığında da (1 kW's ise 860 kkal) 3909 kkal=4,54 kW's/m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır.
- Matematiksel modellerden elde edilen veriler ile tesisten alınan 2021 yılı biyogaz miktarları karşılaştırıldığında, depolama sahasında birikmiş biyogaz rezervlerinin tahmininde Tabasaran ve Rettenberg matematiksel modeli oluşan biyogaz miktarını tahmin etmek amacıyla kullanılabilir.

- Metan oluşum miktarını tahmin etmek için doğru matematiksel modeli seçmek önemli bir karardır. Çevre için bu, sera gazı emisyonlarının azaltılması anlamında gelirken bölge nüfusu için yeni enerji kaynağı olarak değerlendirilmesi anlamına gelir. Dolayısıyla enerji bağımlılığı sorununun çözülmesine yardımcı olacaktır.
- Ülkelerin artan nüfusu ile beraber doğru orantılı olarak enerji gereksinimleri de artmaktadır. Enerji, ülkelerin gelişmişlik derecesini belirlerken önemli bir parametredir. Tüm dünyada yenilenebilir enerji kaynakları tercih edilirken ülkemizde de olduğu gibi enerji üretimi son yıllarda daha sürdürülebilir enerji kaynaklarına doğru eğilimi artmıştır. Ülkemizde öncesinde fosil yakıtlardan enerji elde edilmesi tercih ediliyordu fakat bunun sonucunda hem çevre kirliliğine hem de doğal kaynakların sürdürülebilirliğini azaltmasına neden olmaktadır. Artan nüfus ile beraber oluşan çöplerin düzensiz yayılımı çevresel sorunlara sebebiyet vermektedir. Düzenli depolama tesisleri ile beraber hem artan enerji talebini hem de çöplerin oluşturacağı çevresel sorunları ortadan kaldırmaktadır.
- Düzenli depolama tesislerinden sera etkisini arttıran gazlar olan CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> ve diğer gazlar açığa çıkmaktadır. Düzenli depolama alanlarında oluşan deponi gazı sahalardan uygun tekniklerle toplanarak sera gazı etkisini azaltarak aynı zamanda yenilenebilir enerji kaynağına alternatif olarak da ekolojik sistemin döngüsüne katkı sağlamaktadır.
- Son olarak başarılı bir atık ayırma işlemi entegre atık yönetim sisteminin geliştirilmesine yardımcı olacaktır bu da oluşacak olan deponi gazı miktarını arttırabilir. Ayrıca, bölge halkının katı atık oluşumunu en aza indirmek ve atıkları yönetme biçimlerini değiştirmek için gerekli eğitim ve önlemler alınabilir.

## KAYNAKLAR

- Akpınar, N. (2006). Kentsel katı atıklardan enerji üretimi. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü*. İstanbul.
- Alpaydın, Ö. (2014). Gaziantep İli İçin Entegre Katı Atık Yönetiminde Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Uygulanması. Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Elazığ.
- Altuntop, E., Bozlu, H., & Karabıyık, E. (2014). *Evsel Atıkların Ekonomiye Kazandırılması, TR62 (Adana, Mersin) Bölgesi*. <https://www.kalkinmakutuphanesi.gov.tr/dokuman/evsel-atiklarin-ekonomiye-kazandirilmesi/1148>, Erişim Tarihi: 23/01/2022.
- Alver, A. (2012). Aksaray ili düzenli depolama sahası sızıntı suyu karakterizasyonu ve elektrokimyasal arıtılabilirliği. Yüksek Lisans Tezi, *Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Aksaray.
- Armağan, B., & Kınacı, C. (1996). *Gap Bölgesi Şanlıurfa Katı Atık Değerlendirmesi*. <https://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/11753.pdf>, Erişim Tarihi: 23/01/2022.
- Arslan, A. (2015). Çöp depolama sahasından salınan sera gazlarının (CH<sub>4</sub> ve N<sub>2</sub>O) mevsimsel değişiminin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, *Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Şanlıurfa.
- Atmaca, K. (2015). Samsun Katı Atık Düzenli Depolama Sahası Deponi Gazı Enerji Verimliliğinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Samsun.
- Babu, R., Prieto Veramendi, P.M., & Rene, E.R. (2021). Strategies for resource recovery from the organic fraction of municipal solid waste. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 3, 100098. doi:10.1016/j.cscee.2021.100098
- Civan, F. (2014). Çöp Sızıntı Suyunun Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Katalizörü Kullanılarak Süperkritik Su Oksidasyonu ile Arıtımı. Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.
- Çakır, A.K., & Gunerhan, H., 2012. İzmir Harmandalı Deponisindeki Metan Gazı Potansiyelinin Belirlenmesi, Bertaraf ve Değerlendirme Seçeneklerinin Araştırılması. *TMMOB MMO Mühendis ve Makina Dergisi*, 56, 24–34.
- Çakır, A.K. (2012). İzmir Harmandalı düzenli depolama alanındaki metan gazı potansiyelinin belirlenmesi ve değerlendirilmesi. Doktora Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İzmir
- Çetindemir, H.M. (2012). Katı atık düzenli depolama sahalarında depo gazı tahmin modellerine alternatif model geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik*

Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.

- Çil, S. (2013). Yalova kentsel katı atık yönetim alternatiflerinin çevresel yaşam döngüsü analizi ile incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*. Gebze.
- Da Silva, N.F., Schoeler, G.P., Lourenço, V.A., De Souza, P.L., Caballero, C.B., Salamoni, R.H., & Romani, R.F. (2020). First order models to estimate methane generation in landfill: A case study in south Brazil. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(4), 104053. doi:10.1016/j.jece.2020.104053
- EPA, (2006). *Global Anthropogenic Non-CO<sub>2</sub> Greenhouse Gas Emissions:1990-2020, Environmental Protection*. <https://www.epa.gov/>, Erişim Tarihi: 23/01/2022.
- Eraslan, M. (2012). Entegre katı atık yönetim sistemi: Karabük ili örneği. Yüksek Lisans Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Zonguldak
- Esen, H. (2019). Sızıntı suyundan elektro-fenton yöntemi ile koi giderimi üzerine işletme koşullarının etkisi. Yüksek Lisans Tezi, *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Samsun.
- Fallahizadeh, S., Rahmatinia, M., Mohammadi, Z., Vaezzadeh, M., Tajamiri, A., & Soleimani, H. (2019). Estimation of methane gas by LandGEM model from Yasuj municipal solid waste landfill, Iran. *MethodsX*, 6, 391-398. doi:10.1016/j.mex.2019.02.013
- Gökçek, M. (2017). Waste to energy: exploitation of landfill gas in micro-turbines *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(2), 710-716. doi: 10.28948/ngumuh.341993
- Guo, W., Xi, B., Huang, C., Li, J., Tang, Z., Li, W., Ma, C., & Wu, W. (2021). Solid waste management in China: Policy and driving factors in 2004-2019. *Resources, Conservation and Recycling*, 173, 105727. doi:10.1016/j.resconrec.2021.105727
- Kale, C., & Gökçek, M. (2020). A techno-economic assessment of landfill gas emissions and energy recovery potential of different landfill areas in Turkey. *Journal of Cleaner Production*, 275, 122946. doi:10.1016/j.jclepro.2020.122946
- Karpuzcu, M. (2012). *Çevre Kirlenmesi ve Kontrolü*. İstanbul: Kubbealtı Neşriyatı Yayıncılık.
- Kemirtlek, A. (2007). *Entegre katı atık yönetimi*. [https://istac.istanbul/contents/44/cevre-makaleleri\\_130838592910380265.pdf](https://istac.istanbul/contents/44/cevre-makaleleri_130838592910380265.pdf), Erişim Tarihi: 24/01/2022
- Klimov, E., Bodrova, E., & Sirotkin, E. (2018). Volume Estimation Methods of Exhausting Bulk Biogas From Russian Growth Range, *International Ural Conference on Green Energy (UralCon)*, 69-74, Chelyabinsk, Russia. doi: 10.1109/uralcon.2018.8544300.

- Koç, K. (2015). Geri dönüştürülebilir katı atıkların yönetimi ve rota optimizasyonu: Konya ili meram ilçesi örneği. Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Konya.
- Kolukısa, Z.Ü. (2013). Belediyelerde Katı Atık Yönetimi: Malatya Belediyesi Örneği. Yüksek Lisans Tezi, *İnönü Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*. Malatya.
- Lee, J.H., & Trimm, D.L. (1995). Catalytic combustion of methane. *Fuel Processing Technology*, 42(2-3), 339-359. doi:10.1016/0378-3820(94)00091-7
- Mersin Büyükşehir Belediyesi, (2019). *Atık depolama alanı kaynaklı sera gazlarının azaltılması eylem planı*. <http://www.iklimin.org/wp-content/uploads/2018/01/6.Action-Plan-for-municipal-waste-management5.2.4.pdf>, Erişim Tarihi: 22/01/2022
- Nathanson, J. (2010). *Solid-waste management*. Economics & Economic Systems. <https://www.britannica.com/technology/solid-waste-management>, Erişim Tarihi: 09/12/2021
- Nigam, S., Jha, R., & Singh, R.P. (2021). A different approach to the electronic waste handling – A review. *Materials Today Proceedings*, 46(3), 1519-1525. doi:10.1016/j.matpr.2021.01.081
- Noor, T., Javid, A., Hussain, A., Bukhari, S.M., Ali, W., Akmal, M., & Hussain, S.M. (2020). Types, sources and management of urban wastes. *Urban Ecology*, 239-263. doi:10.1016/b978-0-12-820730-7.00014-8
- Özkan, E. (2018). Taguchi metodu kullanılarak sızıntı suyunun elektrokoagülasyon ile arıtılabilirlik optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.
- Öztürk, F. (2011). Katı Atık Sızıntı Suyu Miktarını Azaltıcı Yönetim Stratejileri. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.
- Öztürk, İ. (2015). *Katı atık yönetimi ve AB uyumlu uygulamaları*. İstanbul: İstaç Teknik Kitaplar Serisi.
- Öztürk, M. (2018). *Katı atık depolama alanında depo gazı oluşumu*. Ankara: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.
- Öztürk, T. (2006). İzmit evsel ve tehlikeli katı atık düzenli depolama tesisi sızıntı sularının elektro ve kimyasal koagülasyon yöntemleri ile arıtılabilirliğinin incelenmesi. Doktora Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Kocaeli.
- Renou, S., Givaudan, J. G., Poulain, S., Dirassouyan, F., & Moulin, P. (2008). Landfill leachate treatment: Review and opportunity. *Journal of hazardous materials*, 150(3), 468-493. doi:10.1016/j.jhazmat.2007.09.077
- Sakarya, M. (2018). Ham ve membran biyoreaktör çıkışı sızıntı suyunun

- elektrooksidasyon yöntemi ile arıtımının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Erzurum.
- Saltabaş, F., Yalçın, M.A. (2004). Depo Gazından Enerji Üretimi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8(1), 44–47.
- Sedef, M. (2016). Katı Atık Yönetimi. Uzmanlık Tezi, İller Bankası Anonim Şirketi, <https://www.ilbank.gov.tr/userfiles/files/uzmanliktezleri/14543.pdf>, Van.
- Sel, İ. (2016). Tam ölçekli düzenli depolama sahasında depolanmış evsel katı atıkların metan potansiyelinin stokastik yöntemlerle belirlenmesi. Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.
- Shen, S., Chen, Y., Zhan, L., Xie, H., Bouazza, A., He, F., & Zuo, X. (2018). Methane hotspot localization and visualization at a large-scale Xi'an landfill in China: effective tool for landfill gas management. *Journal of environmental management*, 225, 232-241. doi: 10.1016/j.jenvman.2018.08.012
- Solak, O. (2015). Türkiye'deki katı atık deponi alanlarında oluşan gazın çevresel ve ekonomik açıdan incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Ankara.
- Şentürk, İ., & Yildirim, B. (2020). A study on estimating of the landfill gas potential from solid waste storage area in Sivas, Turkey. *Scientific Journal of Mehmet Akif Ersoy University*, 3 (2), 63-76.
- Ten, Ş. (2017). Belediyelerde Katı Atıkların Geri Dönüşümü: Başakşehir Belediyesi Örneği. *Aydın İnsan ve Toplum Dergisi*, 3(2), 43-55.
- Turan, N.G., Çoruh, S., Akdemir, A., & Ergun, O.N. (2009). Municipal solid waste management strategies in Turkey. *Waste Management*, 29(1), 465-469. doi:10.1016/j.wasman.2008.06.004
- URL-1, Katı atıkların kontrolü yönetmeliği, Çevre ve Orman Bakanlığı, [https://www.cmo.org.tr/mevzuat/mevzuat\\_detay.php?kod=317](https://www.cmo.org.tr/mevzuat/mevzuat_detay.php?kod=317), Erişim Tarihi: 24/12/2021.
- URL-2, Massachusetts Department of Environmental Protection <http://www.mass.gov/dep/recycle/laws/policies.htm>, Erişim Tarihi: 09/12/2021
- URL-3, Trends in Solid Waste Management. World Bank. [https://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/trends\\_in\\_solid\\_waste\\_management.html](https://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/trends_in_solid_waste_management.html), Erişim Tarihi: 14/12/2021
- URL-4, İstatistiksel Çevre 2018, Türkiye İstatistik Kurumu (TUIK), <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Istatistiklerle-Cevre-2018-33675>, Erişim Tarihi: 12/12/2021
- URL-5, Kastamonu İli 2019 Yılı Çevre Durum Raporu. Türkiye Cumhuriyeti Kastamonu Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü. [https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/2019-\\_cdr-kastamonu-](https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/2019-_cdr-kastamonu-)

20200924143709.pdf, Erişim Tarihi: 24/11/2021

URL-6, İklim ve Bitki Örtüsü. T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı, Kastamonu İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, <https://kastamonu.ktb.gov.tr/TR-169990/iklim-ve-bitki-ortusu.html>, Erişim Tarihi: 12/12/2021

URL-7, Türkiye İstatistik Kurumu, <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=95&locale=tr>, Erişim Tarihi: 12/12/2021

URL-8, Ulusal Atık Yönetimi ve Eylem Planı 2023, T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. [https://webdosya.csb.gov.tr/db/cygm/haberler/ulusal\\_atk\\_yonet-m--eylem\\_plan--20180328154824.pdf](https://webdosya.csb.gov.tr/db/cygm/haberler/ulusal_atk_yonet-m--eylem_plan--20180328154824.pdf), Erişim Tarihi: 12/12/2021

URL-9, T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=KASTAMONU>, Erişim Tarihi: 12/12/2021

URL-10, Engineering ToolBox. [https://www.engineeringtoolbox.com/gas-density-d\\_158.html](https://www.engineeringtoolbox.com/gas-density-d_158.html), Erişim Tarihi: 12/14/2021

USEPA, 2021. *Learn the Basics of Hazardous Waste*. <https://www.epa.gov/hw/learn-basics-hazardous-waste>, Erişim Tarihi: 21/12/2021

Warith, M.A. (2003). Solid waste management: New trends in landfill design. *Emirates Journal for Engineering Research*, 8(1), 61-70.

Yıldırım, B. (2020). Depo gazından enerji üretimi ve bir örnek uygulama. Yüksek Lisans Tezi, *Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Sivas.

Yılmaz, F. (2012). İstanbul İli Pendik İlçesi Atık Yönetimi ve Evsel Katı Atık Karakterizasyonunun Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.

Yochim, A., Zytner, R.G., McBean, E.A., & Endres, A.L., (2013). Estimating water content in an active landfill with the aid of GPR. *Waste Management*, 33(10), 2015-2028. doi:10.1016/j.wasman.2013.05.020