

AVRASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KATI ATIK DÜZENLİ DEPOLAMA SAHALARINDA DEPO GAZINDAN
ENERJİ ELDE EDİLMESİ VE DEPO GAZI OLUŞUMUNU ETKİLEYEN
FAKTÖRLER**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Müh. Ayşe CİHAN KESKİN

AĞUSTOS 2021
TRABZON

**AVRASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KATI ATIK DÜZENLİ DEPOLAMA SAHALARINDA DEPO GAZINDAN
ENERJİ ELDE EDİLMESİ VE DEPO GAZI OLUŞUMUNU ETKİLEYEN
FAKTÖRLER**

İnşaat Müh. Ayşe CİHAN KESKİN

**Avrasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“İNŞAAT YÜKSEK MÜHENDİSİ”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 09 / 07 / 2021
Tezin Savunma Tarihi : 10 / 08 / 2021**

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Basri ERTAŞ

Trabzon 2021

Avrasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında
Ayşe CİHAN KESKİN tarafından hazırlanan

KATI ATIK DÜZENLİ DEPOLAMA SAHALARINDA DEPO GAZINDAN
ENERJİ ELDE EDİLMESİ VE DEPO GAZI OLUŞUMUNU ETKİLEYEN
FAKTÖRLER

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 29/07/2021 gün ve 2021-26 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Basri ERTAŞ

Üye : Prof. Dr. Celalettin KARALI

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Recep SUK

Prof. Dr. Cemal BIYIK
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Bu tezin hazırlanmasında ve yüksek lisans eğitim dönemimde beni teşvik eden ve destekleyen, bilgi ve deneyimleriyle bana rehber olan danışman hocam Prof. Dr. Basri ERTAŞ'a ve diğer bölüm hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimim dönemimde TRAB-RI KAB kurumundaki çalışma arkadaşlarıma ve 2M Elektrik Enerji Elektrik Üretim A.Ş' nin mühendis ve çalışanlarına desteklerinden ve anlayışlarından dolayı teşekkür ederim.

Ayrıca yüksek lisans eğitimim süresince ve tezin hazırlanması döneminde her türlü fedakarlıkta bulunarak benden desteğini esirgemeyen sevgili annem Nurten CİHAN, babam Hüseyin CİHAN, kardeşlerim Asiye, Aslı, Mücahit CİHAN ve biricik kızım Eflal KESKİN'e sonsuz teşekkür ederim.

Ayşe CİHAN KESKİN
Trabzon, 2021

TEZ BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Katı Atık Düzenli Depolama Sahalarında Depo Gazından Enerji Elde Edilmesi ve Depo Gazı Oluşumunu Etkileyen Faktörler” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Basri ERTAŞ’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 10/08/2021

Ayşe CİHAN KESKİN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	IX
SUMMARY	X
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XI
TABLolar DİZİNİ.....	XIV
SEMBOLLER DİZİNİ	XV
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Çalışmanın Anlam ve Önemi.....	1
1.2. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı.....	2
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	3
2.1. Katı Atık ve Özellikleri.....	3
2.1.1. Atık	3
2.1.2. Atıkların Sınıflandırılması	3
2.1.3. Atıkların İnsan ve Çevre Sağlığına Etkileri	6
2.1.4. Entegre Katı Atık Yönetimi	7
2.1.5. Türkiye’de Kentsel Katı Atıkların Oluşumu ve Katı Atıkların Karakterizasyonu Bileşimi.....	8
2.1.6. Katı Atıkların Özellikleri	11
2.1.6.1. Katı Atıkların Fiziksel Özellikleri	11
2.1.6.1.1. Su Muhtevası (Nem).....	11
2.1.6.1.2. Partikül Boyutu	12
2.1.6.1.3. Yoğunluk	12
2.1.6.2. Katı Atıkların Kimyasal Bileşimi	13
2.1.6.3. Biyolojik Ayrışabilirlik.....	13
2.1.7. Atığın Kalorifik Değeri.....	13
2.2. Atık Yönetimi	14
2.2.1. Önleme.....	15
2.2.2. Yeniden Kullanım.....	16
2.2.3. Geri Dönüşüm.....	16

2.2.4.	Geri Kazanım	16
2.2.5.	Sıfır Atık	17
2.2.6.	Bertaraf	17
2.3.	Katı Atık Bertarafı	18
2.3.1.	Katı Atık Bertaraf Tesislerinin Yer Seçiminde Dikkat Edilmesi Gereken Unsurlar	18
2.3.2.	Katı Atık Bertaraf Yöntemleri	19
2.3.2.1.	Düzensiz Depolama (Vahşi Depolama).....	19
2.3.2.2.	Düzenli Depolama Yöntemi	20
2.3.2.2.1.	Düzenli Depolama Sahalarının Yer Seçimi	22
2.3.2.2.2.	Düzenli Depolama Tesislerindeki Birimler ve Üniteler	23
2.3.2.2.3.	Düzenli Depolama Tesislerinin Saha Yapımı.....	26
2.3.2.2.3.1.	Sahanın Kazı ve Dolgu İşleri	26
2.3.2.2.3.2.	Düzenli Depolama Tesislerinin Taban Yapıları	27
2.3.2.2.4.	Atıkların Doldurulması	34
2.3.2.2.5.	Atıkların Örtülmesi	35
2.3.2.2.6.	Nihai Örtü	36
2.3.2.3.	Biyolojik Arıtma Teknolojileri	37
2.3.2.3.1.	Aerobik Arıtma (Kompostlaştırma).....	37
2.3.2.3.2.	Anaerobik Çürütme Prosesi	39
2.3.2.4.	Termal Bertaraf Yöntemleri.....	40
2.3.2.4.1.	Yakma	43
2.3.2.4.2.	Gazlaştırma	45
2.3.2.4.3.	Piroliz.....	48
2.3.2.4.4.	Termal Yöntemlerin Kıyaslanması.....	48
2.4.	Düzenli Depolama Sahalarında Depo Gazı Oluşumu.....	49
2.4.1.	Depo Gazı Bileşenleri ve Özellikleri	51
2.4.2.	Depo Gazı Oluşum Aşamaları	56
2.4.2.1.	Faz I (Başlangıç Aşaması)	56
2.4.2.2.	Faz II (Geçiş Fazı)	57
2.4.2.3.	Faz III (Asit Oluşum Fazı).....	57
2.4.2.4.	Faz IV (Metan Fermantasyon Fazı)	58
2.4.2.5.	Faz V (Olgunluk Fazı)	58
2.4.3.	Depo Gazı Oluşumunu Etkileyen Faktörler.....	59
2.4.3.1.	Nem İçeriği	60

2.4.3.2.	Su Muhtevası	61
2.4.3.3.	Nutrientler (Besi Maddeleri).....	62
2.4.3.4.	pH ve Alkalinite	62
2.4.3.5.	Sıcaklık	63
2.4.3.6.	Oksijen	64
2.4.3.7.	İnhibitörler	65
2.4.3.8.	Sülfat	66
2.4.3.9.	Hidrojen (H ₂).....	67
2.4.3.10.	Dane Oyutu	67
2.4.3.11.	Atık Kompozisyonu	67
2.4.4.	Depo Gazlarının Çevresel Etkileri	68
2.4.4.1.	Yangın ve Patlama Tehlikesi	68
2.4.4.2.	Depo Gazlarının Bitki Örtüsüne Zararları	69
2.4.4.3.	İstenmeyen Kokular	69
2.4.4.4.	Yeraltı Suyu Kirliliği	70
2.4.4.5.	Hava Kirliliği	70
2.4.4.6.	İklim Değişikliği	70
2.4.5.	Depo Gazlarının Toplanması ve Kullanılması Kontrol Yöntemleri.....	71
2.4.6.	Depo Gazı Miktarının Hesaplanması.....	79
2.4.6.1.	United States Environmental Protection Agency (USEPA) LandGEM Modeli	79
2.4.6.2.	Tabasaran-Rettenberger Modeli	81
2.4.7.	Depo Gazı Bertaraf Yöntemleri	82
2.4.7.1.	Motor-Jeneratör Sistemlerinde Yakılan Depo Gazından Elektrik Elde Edilmesi	82
2.4.7.2.	Yakma Bacası (Flare) Uygulaması	84
2.4.7.3.	Gaz Depolama Balonları.....	84
2.4.7.4.	Gaz Saflaştırma ve İyileştirme.....	85
2.4.7.5.	Boru Hattına Verme	85
2.4.8.	Çöp Gazından Elde Edilen Elektrğin Tüketicilere İletilmesi	86
2.4.9.	Türkiye’de Deponi Gazından Enerji Üretimi	87
3.	BULGULAR.....	91
3.1.	Trabzon İli Sürmene İlçesi Çamburnu-Kutlular Katı Atık Düzenli Depolama Tesisinde Oluşan Depo Gazı ve Depo Gazından Enerji Elde Edilmesi	91
3.1.1.	Çalışma Alanı	91

3.1.2.	Mevcut Katı Atık Yönetim Sistemi	93
3.1.3.	Kutlular Katı Atık Düzenli Depolama Tesisi	94
3.1.4.	Çalışma Alanı Genel Bilgileri.....	96
3.1.5.	Atık Dolgusu ve İstinat Yapısı Özellikleri	96
3.1.6.	Şev Stabilitesi Değerlendirmeleri	97
3.1.7.	İklim.....	98
3.1.8.	Nüfus Tahminleri	99
3.1.9.	Yıllara Dayalı Birim Atık Miktarları	102
3.1.10.	Atık Karakterizasyonu	104
3.1.11.	Oluşacak Atık Miktarları	107
3.1.12.	Gaz Potansiyelinin Belirlenmesi.....	107
3.1.13.	Gaz Toplama Sistemi.....	110
3.1.14.	Elektrik Üretim Tesisi.....	124
3.1.15.	Mevcut Saha Atık Verileri, Depo Gazı ve Enerji Verileri.....	130
4.	TARTIŞMA	134
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	138
6.	KAYNAKLAR	140
7.	EKLER.....	145
ÖZGEÇMİŞ		

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

KATI ATIK DÜZENLİ DEPOLAMA SAHALARINDA DEPO GAZINDAN ENERJİ ELDE EDİLMESİ VE DEPO GAZI OLUŞUMUNU ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Ayşe CİHAN KESKİN

Avrasya Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Basri ERTAŞ
2021, 144 Sayfa, 12 Sayfa Ek

Dünya genelinde nüfusun giderek artmasıyla birlikte insanların tüketim alışkanlıklarının değişmesi, birçok ülke için atıkların bertarafını büyük bir sorun haline getirmektedir. Bu konuda yapılan araştırmalar ve teknolojideki gelişmeler sayesinde atıklar, bir sorun olarak değil enerji üretebilmek amacıyla bir ham madde olarak değerlendirilmeye başlanılmıştır. Atıkların enerjiye dönüştürülmesi için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Düzenli depolama, yakma, gazlaştırma, piroliz ve anaerobik çürütme bu yöntemlerin başlıcalarıdır.

Düzenli depolama, atıkların yeraltı ve yer üstünde çeşitli mühendislik hesaplarına göre depolanması yöntemi olup depolanan atıktan oluşan depo gazından motorlar sayesinde elektrik üretilerek enerji geri kazanımı sağlanmaktadır. Yakma yönteminde, kontrollü bir şekilde yakılan atıklardan ısı geri kazanımı elde edilerek buhar türbinleri vasıtasıyla elektrik enerjisi üretimi yapılmaktadır. Gazlaştırma yönteminde, ilk aşamayı daha düşük sıcaklık ve oksijensiz ortamda atığın yakılması yöntemi olan piroliz içermektedir. Daha sonrasında aynı ortama oksijen ilave edilerek yüksek sıcaklıklı reaksiyonlar ile molekül ağırlığı az gaz üretilir. İçten yanmalı motorlar veya broylerler kullanılarak gazdan enerji geri kazanımı sağlanmaktadır. Tüm bu yöntemlerin olumlu ve olumsuz yönleri olmakla birlikte seçilecek yöntem atığın bileşimi, miktarı ve yerel şartlara bağlı olarak yapılmalıdır.

Bu çalışmada atık yönetimi, katı atıkların bertarafında kullanılan yöntemler, katı atık düzenli depolama sahalarında depo gazı oluşumu, depo gazından enerji elde edilmesi, depo gazı oluşumunu etkileyen faktörlerle ilgili hususlar değerlendirilerek çözüm önerilerinde bulunulmuş, Trabzon ve Rize İlleri Katı Atık Tesisleri Yapma ve İşletme Birliği (TRAB-Rİ KAB) tarafından bertarafı yapılan evsel katı atıkların depolandıktan sonra oluşan depo gazından enerji elde edilmesi konusu incelenmiştir.

TRAB-Rİ KAB'a üye belediyelerin 2047 yılına kadar oluşturacakları tahmini nüfusu, katı atık miktarları, Tabasaran– Rettenberger, USEPA Landgem modelleri kullanılarak tahmini gaz oluşum miktarları ve elektrik enerjisi miktarları, gaz toplama sistemleri ve gaz oluşumunu etkileyen faktörler incelenmiştir. Birliğe ait katı atık düzenli depolama tesisinden alınan mevcut saha depo gazı verileri ile modellerden elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak tesiste depo gazı miktarını artırmak ve depo gazından daha yüksek düzeyde enerji edilebilmesi için neler yapılması gerektiği değerlendirilmiş ve bazı öneriler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Katı Atık, Bertaraf, Katı Atık Düzenli Depolama, Depo Gazı, Metan, Elektrik Üretimi

Master Thesis

SUMMARY

**OBTAINING ENERGY FROM STORAGE GAS IN SOLID WASTE LANDFILLS
AND FACTORS AFFECTING STORAGE GAS FORMATION**

Ayşe CİHAN KESKİN

Avrasya University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Environmental Engineering
Supervisor: Prof. Dr. Basri ERTAŞ
2021, 144 Pages, 12 Pages Appendix

With population growth around the world, people's changing consumption habits make waste disposal a major problem for many countries. Thanks to research on this issue and advances in technology, wastes have started to be evaluated not as a problem, but as raw materials for energy production. Various methods are used to convert waste into energy. Landfill, incineration, gasification, pyrolysis and anaerobic digestion are the main methods. Landfill is the storage of waste underground and above ground according to various engineering calculations, and energy recovery is achieved by generating electricity through engines from storage gas consisting of stored waste. In the incineration method, heat recovery is obtained from incinerated wastes in a controlled manner and electrical energy is produced by means of steam turbines. In the gasification method, the first stage involves pyrolysis, a method of burning waste in a lower temperature and oxygen-free environment. Later, by adding oxygen to the same environment, high-temperature reactions produce gas with a low molecular weight. Energy recovery from gas is achieved by using internal combustion engines or boilers. Although all these methods have positive and negative aspects, the method to be selected should be made depending on the composition, quantity and local conditions of the waste.

In this study, issues related to waste management, methods used in solid waste disposal, storage gas formation in solid waste landfills, energy extraction from storage gas, factors affecting storage gas formation were evaluated and solution suggestions were made. The issue of obtaining energy from the landfill gas formed after the domestic solid wastes disposed of by the Trabzon and Rize Provinces Solid Waste Facilities Construction and Operation Association (TRAB-RI KAB) has been examined.

Estimated population of TRAB-RI Kab member municipalities by 2047, solid waste amounts, by using Tabasaran– Rettenberger, USEPA landgem models estimated gas formation quantities and electrical energy quantities, gas collection systems and factors affecting gas formation were studied. Increasing the amount of landfill gas in the facility by comparing the existing landfill gas data obtained from the solid waste landfill facility of the Union with the results obtained from the models and what should be done to achieve a higher level of energy from storage gas has been evaluated and some recommendations have been presented.

Key Words: Solid Waste, Disposal, Solid Waste Landfill, Landfill Gas, Methane, Electricity Generation

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Katı atık çeşitleri	4
Şekil 2. Atık sınıflarından genel görüntüler	6
Şekil 3. Türkiye'de KKA karakterizasyonu	10
Şekil 4. Tanner diyagramı	14
Şekil 5. Atık yönetimi hiyerarşisi	15
Şekil 6. Vahşi depolama	19
Şekil 7. Düzenli depolama tesisi sınıfları	21
Şekil 8. Klasik düzenli depolama tesisi kesiti	25
Şekil 9. Trabzon ili katı atık düzenli depolama sahası kazı çalışması.....	27
Şekil 10. Düzenli depolama tesislerinin taban yapıları	28
Şekil 11. Trabzon ili katı atık düzenli depolama sahası kil serilmesi	29
Şekil 12. Jeomembran serilmesi	30
Şekil 13. Ankraj hendeği	31
Şekil 14. Jeotekstil serilmesi	31
Şekil 15. Sızıntı suyu boru yerleştirilmesi ve drenaj malzemesi serilmesi	32
Şekil 16. Atık dökümüne hazır düzenli depolama sahası	33
Şekil 17. Kompostlaştırmadan görünüm	38
Şekil 18. Atık yakma ve enerji üretim tesisi çalışma proses	42
Şekil 19. Bir katı atık yakma tesisinin kesiti	45
Şekil 20. Gazlaştırma sistemi akış diyagramı.....	47
Şekil 21. Organik maddelerin anaerobik ayrışma süreci	50
Şekil 22. Evsel atık için toplama sistemli gaz üretimi modeli	55
Şekil 23. Deponi alanlarında depo gazı oluşum eğrileri.....	56
Şekil 24. Gaz oluşumunu etkileyen faktörler	59
Şekil 25. Depo gazı üretim hızı ile nem muhtevası arasındaki ilişki	60
Şekil 26. Depo sahasında gerçekleşen su döngüsü.....	61
Şekil 27. Anaerobik filtrede pH'ın rölatif CH ₄ oluşum hızı (R) üzerine etkisi	63
Şekil 28. Anaerobik ayrışma hızının sıcaklık ile ilişkisi	64
Şekil 29. CO ₂ 'in kısmi basıncının asetik, propiyonik ve bütirik asitin ayrışma oranları üzerine etkisi	65
Şekil 30. Düzenli Depolama sahalarında sülfat ile depo gazı bileşimi arasındaki bağ	66

Şekil 31.	Depolama alanlarında oluşan yangınlar	68
Şekil 32.	Pasif gaz toplama sisteminin genel görünüşü	71
Şekil 33.	Çöp depolama gazının aktif ve pasif olarak işlenmesi.....	72
Şekil 34.	Dikey bir gaz çekme kuyusu	74
Şekil 35.	Düşey kuyular kullanılan gaz geri kazanım sistemi.....	74
Şekil 36.	Gaz toplama sistemi şeması	75
Şekil 37.	Yatay gaz toplama sistemi.....	76
Şekil 38.	Yatay gaz çekme kuyularının kullanımı.....	76
Şekil 39.	Depolama alanı yatay gaz toplama sistemi kesiti.....	77
Şekil 40.	Delikli gaz toplama borusu	78
Şekil 41.	Depo gazından enerji elde etme tesis şeması	82
Şekil 42.	İçten yanmalı motor	83
Şekil 43.	Gaz yakma bacası.....	84
Şekil 44.	Membran gaz depolama balonları	85
Şekil 45.	Sistemin genel çalışma prensibi	86
Şekil 46.	Elektrik üretim ve dağıtım sistemi	87
Şekil 47.	Haziran 2020 döneminde YEKDEM kapsamındaki üretimin kaynaklara göre dağılımı ve 2019 yılı haziran ayı değeriyle karşılaştırılması (MWh)	88
Şekil 48.	Biyokütle kaynaklı lisanslı elektrik üretim santralleri	90
Şekil 49.	TRAB-Rİ KAB sınırlarını gösteren fiziki harita.....	92
Şekil 50.	TRAB-Rİ KAB düzenli depolama tesisi, Araklı gazlaştırma tesisi ve aktarma merkezleri lokasyonları	94
Şekil 51.	Kutlular düzenli depolama alanından görünüm	95
Şekil 52.	Genel saha kesiti.....	97
Şekil 53.	Katı atıklar için sürtünme açısı-kohezyon diyagramı/Mukavamet parametreleri.....	98
Şekil 54.	Nüfus tahmin metodlarının karşılaştırılması	101
Şekil 55.	Trabzon ve Rize illerine ait atık karakterizasyon sonuçları	105
Şekil 56.	Karakterizasyon çalışmasından görüntüler	105
Şekil 57.	Yıllara göre oluşacak gaz miktarları	109
Şekil 58.	Yıllara göre oluşacak metan miktarları	110
Şekil 59.	Mevcut katı atık depolama sahası gaz toplama sistemi.....	111
Şekil 60.	Mevcut depolama alanında kanal açma çalışması.....	112
Şekil 61.	Depolama sahasında kanal açılması	113
Şekil 62.	Gaz toplama borusu kaynak makinesi.....	113

Şekil 63.	Kanal boru altı ve üstü çakıl uygulaması	114
Şekil 64.	Gaz toplama sisteminde standartlara uygun çakıl kullanılmaması	115
Şekil 65.	Gaz toplama sisteminde gaz çekim noktası.....	115
Şekil 66.	Gaz toplama kanalına geotekstil serilmesi	116
Şekil 67.	Gaz toplama sisteminde emme bacası kesiti	117
Şekil 68.	Mevcut depolama alanı gaz çekme bacası	118
Şekil 69.	Mevcut depolama sahasında gaz ölçümü	119
Şekil 70.	Gaz taşıma hattı kondens sifonu.....	120
Şekil 71.	Anahat kondens sifon detayı	121
Şekil 72.	Anahat kondens sifon görünüşü	121
Şekil 73.	Mevcut düzenli depolama sahasından görüntü	122
Şekil 74.	Gaz toplama sistemi dizayn projesi.....	123
Şekil 75.	Normal düzeyde yağ analizi laboratuvar sonucu	125
Şekil 76.	Yağ değişimi gerektiğini gösteren analiz sonucu.....	126
Şekil 77.	Hidrojen sülfürün parçalanarak kükürte dönüşmesi sonucu motorlara verdiği zarar görüntüleri.....	127
Şekil 78.	GM1 numaralı motorun tam yağ değişim grafiği.....	129
Şekil 79.	Trabzon enerji üretim tesisi ve düzenli depolama sahası	130
Şekil 80.	Model çıktıları ve gaz verilerinin karşılaştırılması	135

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.	Farklı gelir gruplarında atık üretimi ortalaması ve atık toplama oranları	9
Tablo 2.	Kişi başı ortalama atık miktarı	9
Tablo 3.	2016 yılı üretilen, piyasaya sürülen ambalaj ve ambalaj atığı sonuçları.....	11
Tablo 4.	Katı atıkların yoğunlukları	12
Tablo 5.	Düzenli depolama alanındaki birimler ve üniteler	24
Tablo 6.	Termal bertaraf yöntemleri tipik reaksiyon koşulları ve ürünler	43
Tablo 7.	Tipik depo gazı bileşenleri ve hacimsel oranları.....	52
Tablo 8.	Depo gazı bileşen ve konsantrasyonu	52
Tablo 9.	Depo gazı bileşenlerinin fiziksel özellikleri.....	54
Tablo 10.	İlk 48 ay boyunca depo gazı dağılımı	57
Tablo 11.	AP-42 ve CAA parametreleri	81
Tablo 12.	Haziran 2020 döneminde YEKDEM kapsamındaki üretimin kaynaklara göre dağılımı ve 2019 yılı haziran ayı değeriyle karşılaştırılması (MWh-%).....	87
Tablo 13.	Türkiye'deki biyokütle enerji santralleri.....	88
Tablo 14.	TRAB-Rİ KAB'ın nüfus projeksiyonu	99
Tablo 15.	İller bankası metoduna göre nüfus değeri	101
Tablo 16.	TRAB-Rİ KAB için 2014 yılı atık verileri.....	102
Tablo 17.	Yıllara göre atık oluşum tahminleri ve atık oluşum artışı.....	103
Tablo 18.	Trabzon ve Rize illerinin atıklarına ait laboratuvar analizleri sonuçları	106
Tablo 19.	Günlük ve yıllık atık miktarları	107
Tablo 20.	Farklı gaz modellerine göre oluşacak gaz ve metan miktarları.....	108
Tablo 21.	GM1 numaralı motorun yağ tüketim ve tam yağ değişim periyodu	128
Tablo 22.	Yıllara göre depolanan atık miktarları	131
Tablo 23.	2020 yılı aylara göre ölçülen metan gazı miktarı	131
Tablo 24.	2020 yılı ölçülen ortalama yıllık metan gazı miktarı	132
Tablo 25.	Yıllara göre toplanan depo gazı miktarları.....	132
Tablo 26.	Yıllara göre toplanan metan miktarları	133
Tablo 27.	Yıllara göre üretilen elektrik enerjisi miktarları.....	133
Tablo 28.	2016-2020 yılları arasında oluşan gaz debi miktarları ve model sonuçları	134

SEMBOLLER DİZİNİ

AB	: Avrupa Birliği
ADDDY	: Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik
ATY	: Atıktan Türetilmiş Yakıt
CH₄	: Metan
cm	: Santimetre
CO	: Karbon Monoksit
CO₂	: Karbondioksit
C₂H₂	: Asetilen
C₂H₄	: Etilen
C₂H₆	: Etan
ÇŞB	: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı
EKAY	: Entegre Katı Atık Yönetimi
EPA	: ABD Çevre Koruma Ajansı
EU	: European Union (Avrupa Birliği)
h	: Saat
H₂	: Hidrojen
H₂O	: Su
HCl	: Hidroklorik Asit
HF	: Hidroflorür
J	: Joule (Eneji Birimi)
kg	: Kilogram
KKA	: Kentsel Katı Atık
KW	: Kilovat
mm	: Milimetre
m²	: Metrekare
m³	: Metreküp
MSW	: Belediye Katı Atığı
mW	: Megavat
N₂	: Azot
NH₃	: Amonyak
Nox	: Azot Oksit

O₂	: Oksijen
OECD	: İktisadi İşbirliği ve Gelişme Teşkilatı
ORC	: Organik Rankine Çevrimi
RDF	: Atıktan Türetilmiş Yakıt
SO₂	: Kükürt Di Oksit
STK	: Sivil Toplum Kuruluşları
TBN	: Toplam Baz Sayısı
TOC	: Toplam Organik Karbon
TRAB-Rİ KAB	: Trabzon ve Rize İli Yerel Yönetimleri Katı Atık Tesisleri Yapma ve İşletme Birliği
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
UNEP	: Birleşmiş Milletler Çevre Programı
%	: Yüzde
°C	: Celsius Sıcaklık

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Çalışmanın Anlam ve Önemi

Nüfus artışı ve hızlı kentleşme ile birlikte yaşanan teknolojik gelişmeler ve sanayileşme gerek ülkemizde gerekse dünyada çevre üzerindeki baskıyı giderek artırmaktadır. İnsanların yaşam standartlarının artmasıyla doğru orantılı olarak tüketimin hızla artış göstermesi neticesinde oluşan atıklar hem miktar hem de zararlı içerikleri nedeniyle çevre ve insan sağlığı açısından tehlikeli boyutlara ulaşmıştır.

Atıklar; üretim ve tüketim miktarlarının yanı sıra kimyasal ve fiziksel özellikleri gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak da sınıflandırılabilir. Buna göre atıklar genel anlamda; katı, sıvı, gaz atıklar, tehlikeli atıklar ile ambalaj atıkları şeklinde sınıflandırılabilir.

Düzenli veya düzensiz (gelişigüzel hiçbir önlem alınmamış) katı atık depolama alanlarından doğrudan veya hayvanlar vasıtasıyla bulaşabilen hastalıklar ile depolama alanlarında oluşan sızıntı suları ve gazlar, kimyasal ve biyolojik olumsuzluklara neden olmakta çevre ve insan sağlığına zarar verebilmektedir.

Atıkların bertaraf edilmesinde uygulanan yöntemler; düzensiz (vahşi) depolama, ekonomik açıdan uygun ve nihai depolama olmasından dolayı en çok kullanılan düzenli depolama, kompostlaştırma, biyometanizasyon yöntemi ve termal yöntemlerdir.

Yapım ve işletme giderleri diğer yöntemlere göre daha düşük olan düzenli depolama yöntemi, ülkemizde atıkların bertarafı için daha çok tercih edilse de depolama sahalarında meydana gelen depo gazları ve sızıntı suları kontrol altına alınmadığında çevre üzerinde olumsuz etki oluşturmaktadır.

Atık içerisindeki biyobozunur maddelerin anaerobik olarak ayrışmasıyla depo gazları oluşmaktadır. Bu gazın içerisinde metan ve karbondioksit ile çok sayıda uçucu organik bileşik bulunmaktadır.

Depo gazı bileşenlerinden olan metan (CH_4) ve karbondioksit (CO_2) gazı, küresel ısınmada önemli etkiye sahiptir. Metan (CH_4) gazı, karbondioksit (CO_2) göre güneş ışığını 28 kat daha fazla absorbe etme özelliğine sahip olsa da bu gaz %5-15 oranında hava ile karıştığında patlayıcı özelliğe sahip olmaktadır. Ayrıca depo gazlarının diğer bileşenleri de hava kirliliği ve kötü kokuya neden olduğundan depo gazları doğru olarak yönetilemez ve kontrol altına alınamazsa çevre ve insan sağlığı üzerinde ciddi tehditler oluşturmaktadır.

Depo gazının en önemli bileşenlerinden olan metan (CH₄) gazının enerji kaynağı olduğu tespit edildikten sonra bu gazın; elektrik enerjisi üretimi ile araç yakıtı olarak kullanılması ve doğal gaza dönüştürülebilmesi gibi seçenekler üzerindeki araştırmalar dünyada ve ülkemizde son yıllarda giderek çoğalmaktadır.

1.2. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Bu çalışmanın amacı; Evsel katı atıkların bertaraf yöntemlerinin ekonomik ve teknolojik açıdan incelenerek düzenli depolama yöntemiyle etkisiz hale getirilen atıkların çevre ve insan sağlığı yönünden herhangi bir olumsuzluğun oluşmasına fırsat verilmeden sahada oluşan depo gazının enerji potansiyelinin ortaya koyulması, depo gazı oluşumunu etkileyen faktörlerin tespiti ve depo gazı oluşumunu olumsuz etkileyen faktörlere çözüm önerileri sunmaktır.

Bu çalışmada: Atık nedir?, atıkların sınıflandırılması, atık bertaraf yöntemleri, atıkların düzenli depolanması sonucu depo gazı oluşması, oluşan depo gazının toplanması ve depo gazından enerji elde edilmesi konuları üzerinde değerlendirmeler yer almaktadır.

Evsel katı atıkların bertaraf edilmesi için kullanılan düzenli depolama sahalarında kademeli olarak biriktirilen kentsel katı atıkların biyolojik bozunmaları sonucunda, enerji değeri oldukça yüksek depo gazı oluşmaktadır. Depo gazı hammadde olarak ısıtma sistemlerinde, içten yanmalı motorlar vasıtasıyla elektrik üretimi yapılan sistemlerde veya her iki sisteminde birlikte kullanıldığı tesislerinde kullanılmaktadır.

Trabzon ve Rize İlleri Yerel Yönetimleri Katı Atık Tesisleri Yapma ve İşletme Birliği'ne ait Trabzon İli Sürmene İlçesindeki Çamburnu-Kutlular II. Sınıf Evsel Katı Atık Düzenli Depolama Tesis ve Elektrik Üretim Tesis incelenerek depo gazı oluşumu ve özellikleri, depo gazı oluşumunu etkileyen faktörler, depo gazı oluşumunu olumsuz etkileyen faktörlere çözüm önerileri, depo gazı toplama yöntemleri, depo gazı miktarını hesaplama ve tahmin yöntemleri, tesisle ilgili genel bilgiler verilmiştir. Tabasaran – Rettenberger ve Landgem modellerine göre düzenli depolama sahasında oluşan depo gazı ve enerji miktarları hesaplanmıştır. Hesaplanan teorik veriler ile Kutlular Düzenli Depolama Sahasından mevcut durumda işletme sırasında alınan gaz verileri karşılaştırılarak en doğru sonucu veren modellerin belirlenmesi hedeflenmiş bu sonuçlara göre metan gazından elektrik üretimi yapan tesisin verimli çalışıp çalışmadığı ve verimi artırmak için neler yapılması gerektiği hususları değerlendirilmektedir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Katı Atık ve Özellikleri

2.1.1. Atık

Meydana getirenin üretim, dönüşüm ya da tüketim amaçlarıyla artık ihtiyacının kalmadığı attığı ya da atması gerektiği maddeler atık olarak tanımlanmaktadır. Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) atığı, “sahibinin istemediği, ihtiyacı olmadığı, kullanmadığı, arıtılması ve uzaklaştırılması gereken maddeler” olarak tarif etmektedir. Sözlük anlamına bakıldığında ise atık; düşük değerde, kullanım dışı veya faydasız kalıntı (bakiye) olarak tanımlanmaktadır.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Mevzuatına göre 02.04.2015 tarihli ve 29314 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren Atık Yönetimi Yönetmeliğin’de ise “Üreticisi veya fiilen elinde bulunduran gerçek veya tüzel kişi tarafından çevreye atılan veya bırakılan ya da atılması zorunlu olan herhangi bir madde veya materyal” atık olarak belirtilmektedir. Atık, insan faaliyetlerinin bir yan ürünüdür. Atıklar ham maddelerin çıkartılması, bu hammaddelerin işlenmesi ve ürünün tüketiminden sonra açığa çıkarlar.

2.1.2. Atıkların Sınıflandırılması

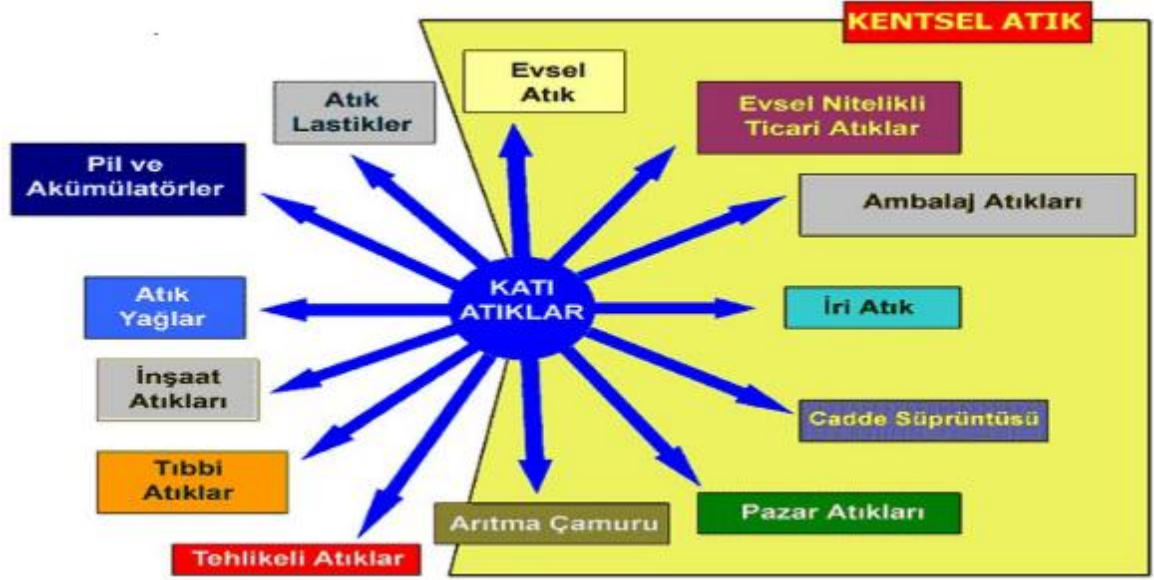
Farklı yaklaşımlar olmakla birlikte atıkların sınıflandırılması genellikle bileşimine ve ihtiva ettiği maddelerin özelliklerine ve kaynaklarına göre iki şekilde yapılmaktadır.

➤ Bileşimine ve ihtiva ettiği maddelerin özelliklerine göre atıklar;

- Bitkisel, hayvansal, kağıt, tekstil atıkları gibi kompostlaştırma işlemine tabi tutulabilen ve yanabilen organik atıklara “organik 1”
- Odun, kağıt, deri, lastik, kemik, plastik atıklar gibi biyokimyasal ayrışması imkânız ya da çok yavaş olan organik atıklara “organik 2”
- Cam atık, porselen atık, taş ve kil gibi yanmayan atıklara “inert atıklar” adı verilmektedir.

➤ **Kaynaklarına göre;**

Evsel, tehlikeli, tıbbi, elektronik atıklar, ambalaj atıkları, atık pil ve akümülatörler, atık yağlar, ömrünü tamamlamış lastikler ve araçlar şeklinde sınıflandırılmaktadır.



Şekil 1. Katı atık çeşitleri (Milli Eğitim Bakanlığı Katı Atıklar, 2011)

Yukarıdaki Şekil 1.'de de görüleceği üzere katı atıklar, oluştukları yere göre sınıflandırıldıklarında: evsel katı atıklar, endüstriyel atıklar, tehlikeli atıklar, özel atıklar, tıbbi atıklar, tarımsal ve bahçe atıkları, inşaat atığı ve moloz atıkları olmak üzere yedi alt bölüme ayrılmaktadır.

a) **Evsel Katı Atıklar**

Yerel idarelerce toplanılan ve taşınan, kaynağında veya mekanik ayırıştırma tesislerinde ayrıştırılarak geri kazanılabilen, ikinci sınıf katı atık depolama sahalarında bertaraf edilebilen, kompost yapılabilen veya termal yöntemlerle yakılabilen mutfak çöpleri, ambalaj atıkları, ofis çöpleri vb. evsel ve endüstri kaynaklı atıklara evsel katı atık denilmektedir. (Sayar, 2012).

b) **Tehlikeli Atıklar**

02.04.2015 tarih ve 29314 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren Atık Yönetimi Yönetmeliğine göre; H1 Patlayıcı, H2 Oksitleyici, H3-A Yüksek Oranda Alevlenir, H3-B Alevlenir, H4 Tahriş edici, H5 Zararlı, H6 Toksik, H7 Kanserojen, H8 Aşındırıcı (Korozif), H9 Enfeksiyon yapıcı, H10 Üreme sistemine toksik, H11 Mutajenik,

H12, H13 Hassaslaştırıcı, H14 Ekotoksik, H15 olmak üzere 15 sınıfa ayrılmıştır. Atık Yönetimi Yönetmeliğinin yukarıda belirtilen ve Ek-3/A'da yer alan tehlikeli özelliklerden birini ya da birden fazlasını taşıyan, ek-4'te altı haneli atık kodunun yanında yıldız (*) işareti bulunan atıklar tehlikeli atık olarak sınıflandırılmaktadır.

c) Endüstriyel Atıklar

Tekstil, kozmetik vb. ham maddelerin işlenmesi sırasında endüstriyel faaliyetler sonucu oluşan atıklara endüstriyel atıklar denilmektedir (Sayar, 2012).

d) Tarımsal ve Bahçe Atıkları

Tarımsal ve hayvansal ürün üretimi esnasında oluşan atıklara tarımsal ve bahçe atıkları denilmektedir. Üretilen katı atıkların miktarı ve içeriği; toplumun sosyo ekonomik yapısı, nüfusu, beslenme alışkanlıkları ve geleneklerinden etkilendiği gibi bölgenin coğrafi, iklimsel yapısından da etkilenmektedir (Palabıyık ve Altunbaş, 2004).

e) Özel Atıklar

Uzaklaştırılması için özel önlemler alınması gereken radyoaktif, tehlikeli ve zararlı endüstriyel atıklara özel atıklar denilmektedir. Evsel atıklar içerisindeki boya, inceltici, temizlik maddeleri, piller vb. lastik tekerlekler, atık su çamurları, inşaat ve yıkıntı atıkları ile hastane atıkları özel atıklar sınıfında yer almaktadır (Palabıyık ve Altunbaş, 2004).

f) Tıbbi Atıklar

25.01.2017 tarih ve 29959 sayılı Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ne göre; enfeksiyon yapıcı atıklara, patolojik atıklara ve kesici-delici atıklara tıbbi atık denilmektedir. (Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, 2017).

g) İnşaat Artığı ve Moloz Atıklar

Bir inşaat yapılırken ya da yıkılırken oluşan atıklardır (Sayar, 2012).

Katı atıkların haricinde sıvı, gaz atıklar ve ambalaj atıkları da atık çeşitleri arasında yer almaktadır. Hastane kaynaklı olan “kan, dişçilik yıkama suları, diyaliz makineleri suları, evsel kaynaklı olan temizlik suları, kanalizasyon suları vs.” atıklar sıvı atık olarak adlandırılırken “nükleer enerji santralleri, sanayi tesis bacaları, yakma tesisleri, enerji amaçlı fosil yakıtların kullanımı, çöp depolama ve kompostlaştırma alanları vs.” atıklar da gaz atıklar olarak adlandırılmaktadır (Karasu, 2013).

Aşağıdaki Şekil 2.'de atık sınıflarına ait görüntüler verilmiştir.



Şekil 2. Atık sınıflarından genel görüntüler (TRAB-Rİ KAB)

2.1.3. Atıkların İnsan ve Çevre Sağlığına Etkileri

Dünya üzerindeki doğal kaynakların sanayi ve teknolojinin gelişmesi ile birlikte insanlar tarafından çevrede yaratacağı kirlilik hesap edilmeden sınırsızca kullanılması doğada zamanla farklı sorunların ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Gelişmiş ülkelerin, gelişmişlik düzeylerini tamamlamak için öncelikli hedef olarak gerek ekonomik gerekse teknolojik büyümeyi kabul etmelerinden ötürü çevresel sorunlar ikinci plana bırakılmıştır. Fakat sanayi devrimi ile beraber dünya üzerinde oluşan çevre kirliliği kendini belli etmeye

ve ciddi bir sorun haline gelmeye başlamıştır. 20.yüzyılın ikinci yarısından itibaren gelişmiş ülkeler, bu sorunların farkına varmış ve uluslararası düzeyde çalışmalar yapmaya başlamışlardır.

Atıklar, çevre ve insan sağlığına zarar vermeyecek şekilde bertaraf edilmediğinde aşağıda da belirtildiği gibi birçok sorunla karşılaşılabilir. Bu sorunlar;

- Atıkların nakliyesinde kullanılan araçlardan kaynaklanan egzoz emisyonları ve gürültü kirliliği,
- Atıkların düzenli olarak toplanmamasından oluşabilecek kötü koku ve görüntü kirliliği,
- Düzensiz depolama sahalarının etrafındaki bitkilerde azalma ve kuraklık,
- Depolama gazının çevreye yayılması sonucunda oluşan koku sorunu, yanma, patlama, sera etkisi ve hava kirliliğinin artması,
- Düzensiz depolama alanından yeraltı suyuna sızma halinde yeraltı sularının kirlenmesi,
- Tehlikeli atıkların depolanmasında açığa çıkan, insan ve canlı yaşamını tehdit eden uçucu organik bileşiklerin çevreye yayılması,
- Taşıyıcı haşere, kemirgen, vb. üremesi (Banar, 2009).

2.1.4. Entegre Katı Atık Yönetimi

Nüfus artışı ve sanayileşme ile birlikte çevre üzerinde büyük baskı oluşturan atık sorunun çözümünü tek bir yaklaşımla ele almak mümkün değildir. Atıkların oluşumundan bertarafına kadar yaşanan süreç içinde atık önleme, atık azaltma, geri dönüşüm, geri kazanım ve bertaraf adımları sırası ile uygulanmalı ve atık yönetim süreci yürütülmelidir. Buradan da anlaşılacağı üzere tek bir adımla atık sorununun çözülememesi “Entegre Atık Yönetimi” ihtiyacının ortaya çıkmasını zorunlu hale getirmektedir.

Entegre Atık Yönetimi, atıkların oluşumundan bertarafına kadar bir bütün şekilde ele alınıp tüm atıkların ayrı ayrı değerlendirilmesine yönelik uygulanan çözüm anlamına gelmektedir. Tüm atıklar için birinci öncelik kaynağında azaltma, azaltılamadığı durumda, yeniden kullanılmasının sağlanması, eğer bu mümkün değil ise, önce geri dönüşüm ve sonrasında enerji geri kazanımı yapılmalıdır. Uygulanan bu yöntemlerden sonra, elimizde

kalan atığa ya da bu yöntemleri hiçbir şekilde uygulayamadığımız diğer atıklar için ise yapılacak en son işlem düzenli depolamadır.

Entegre atık yönetimi birçok kuruma düşen sorumluluklarının önceden belirlendiği; bir bölgede oluşan atığın ayrı biriktirilmesi, toplanması, taşınması, aktarılması, ayrıştırılması, geri dönüştürülmesi, geri kazanılması ve nihai olarak bertaraf edilmesi faaliyetlerinin, tek bir plan çerçevesinde gerçekleştirilmesi anlamını taşımaktadır. Entegre atık yönetiminde, tüm girdi ve çıktılar bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmekte ve en önemli amaç olan çevresel sürdürülebilirliğin ekonomik olarak da sağlanması hedeflenmektedir.

İnsanlar tarafından oluşan atıkların toplanmasından bertarafına kadar işleyen sistemin entegre bir biçimde yönetilmesi günümüzde vazgeçilmez hale gelmiştir. Atık bertarafında kullanılan her bir yöntemin belli çevresel etkileri bulunmaktadır. Fakat atıkların gerek yeniden ekonomiye kazandırılması gerekse bertaraf maliyetlerinin düşürülmesi için ayrıştırılarak toplanması ve yönetilmesi gerekmektedir. Bu durum bir yandan atıkların çevre üzerindeki olumsuz etkisini azaltırken diğer taraftan da atık üreticileri ile atık toplayan yerel idarelerin maliyetlerinin düşürülmesine sebep olacaktır.

2.1.5. Türkiye’de Kentsel Katı Atıkların Oluşumu ve Katı Atıkların Karakterizasyonu Bileşimi

Kentsel katı atıklar; ambalaj atıkları, gazete/dergi kağıtları vb. geri dönüştürülebilir/kazanılabilir atıklar ile mutfak atıkları vb. diğer atıklar olarak iki gruba ayrılmaktadır. Ambalaj atıkları ve kâğıt atıklar kaynağında ayrı toplanarak, mutfak, bahçe ve pazaryeri atıkları ise kompostlaştırılarak geri dönüştürülebilir. Herhangi bir bölgede Katı Atık Yönetimi planlamasının yapılabilmesi için öncelikle o bölgede oluşan katı atık miktarı ve özelliğinin belirlenmesi son derece önemlidir.

➤ Katı atık oluşumunu etkileyen faktörler;

- Mevsimsel farklılıklar,
- Çöp öğütücülerin evlerde yaygın şekilde kullanılıp kullanılmaması,
- Kaynağında ayrıştırma ve geri kazanım,
- Toplumsal alışkanlıklar,
- Kişi başına düşen milli gelir dağılımı,
- Bölgenin kentleşme ve endüstrileşme düzeyi.

Kişi başına düşen milli gelir dağılımı ile nüfus artışı arasındaki oran farklılığı, üretim ve tüketim alışkanlıklarındaki değişimle birlikte yaşam kalitesinin artması ve teknolojik ilerlemeler atık miktarlarını son yıllarda önemli derecede artırmaktadır.

Tablo 1.'de ülkelerin gelir seviyesine göre atık üretimi ortalaması ile toplanan atık miktarlarındaki ortalamalar verilmekte olup yüksek gelir seviyesine sahip ülkelerdeki kişi başına günlük oluşan atık miktarının orta ve düşük gelir seviyesine sahip ülkelerdeki kişi başına düşen günlük atık miktarından daha fazla olduğu görülmektedir.

Tablo 1. Farklı gelir gruplarında atık üretimi ortalaması ve atık toplama oranları (Hoornweg ve Bhada, 2012)

Gelir seviyesi	Atık üretimi ortalaması (kg/ kişi/ gün)	Atık toplama oranı
Yüksek gelirli ülkeler	2.1	%97
Orta gelirin üstündeki ülkeler	1.2	%85
Orta gelirin altındaki ülkeler	0.79	%68
Alt gelirli ülkeler	0.60	%42

Ülkemizde atık miktarı, Tablo 2’de görüleceği üzere TÜİK verilerine göre kişi başına 2018 yılında günde 1.16 kg’dır.

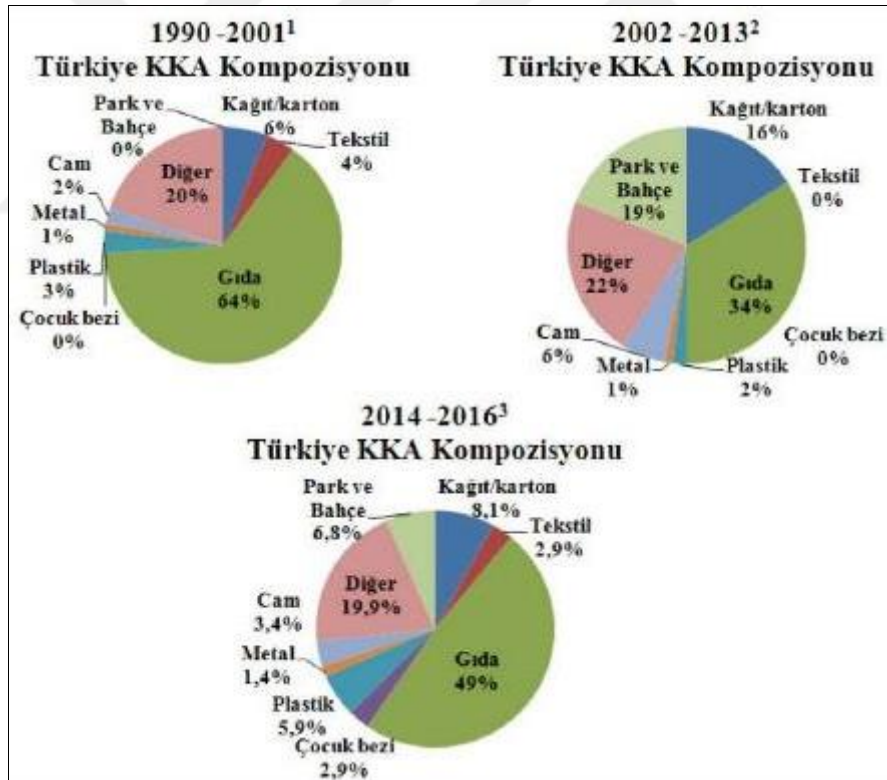
Tablo 2. Kişi başı ortalama atık miktarı (TÜİK, 2020)

Yıllar	Atık Hizmeti Verilen Belediye Nüfusu	Kişi Başı Ortalama Belediye Atık Miktarı (Kg/Kişi-Gün)	Toplanan Belediye Atık Miktarı (Ton/Yıl)
2001	50875794	1,35	25133696
2002	51763134	1,34	25373134
2003	51862924	1,38	26117539
2004	52329045	1,31	25013520
2006	57451562	1,21	25279971
2008	57800347	1,15	24360863
2010	60946131	1,14	25276698
2012	63105474	1,12	25844573
2014	70843913	1,08	28010721
2016	73854880	1,17	31583553
2018	75952539	1,16	32209222

Kentsel katı atık yönetim sistemini belirlenirken dikkat edilmesi gereken en önemli ölçütlerden biri de atık karakterizasyonudur. Atık karakterizasyonuna göre, kentsel katı atık yönetim sistemi içerisinde yer alması gereken tesisler ve kapasiteleri belirlenir.

Ülkemizdeki kentsel atıkların % 50-65'ini organik atıklar oluştururken; kâğıt, karton, tekstil, plastik, deri, metal, ağaç, cam ve kül gibi geri dönüştürülebilir atıklar da geri kalan kısmını oluşturmaktadır.

Ülkemizde oluşan KKA'nın karakterizasyonu 10 yıllık periyotlar halinde güncellenmektedir. Şekil 3.'te de görüldüğü üzere ilk periyot olarak 1990-2001 arasında gıda atığı %64'lük oldukça yüksek bir oranla içeriğin çoğunluğunu oluştururken, 2002-2013 arasında atığın gıda içeriği yarı yarıya azalıp %34 seviyesine inmiştir. Kağıt/karton ve cam içeriği ise ilk dönemden 2. döneme artış göstermiştir. 2014-2016 yılları arasında ise gıda içeriği %49'lara yükselmiştir.



Şekil 3. Türkiye'de KKA karakterizasyonu (TÜİK, 2018)

Kentsel katı atıkların içerisinde yer alan plastik, kağıt, cam, metal, vb. ambalaj atıkları bu atıkların ağırlıkça %30'unu, hacimce %50'sini oluşturmaktadır. Sürdürülebilir atık yönetimi gereğince kaynağında ayrı toplanan ambalaj atıklarının diğer atıklarla karışmasını

engelleyerek geri kazanımının gerçekleştirilebilmesi için ikili toplama sistemiyle atıkların toplanması gerekmektedir. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Ambalaj Atıkları Şube Müdürlüğü'nün yayınladığı Ambalaj Bülteni kayıtlarına göre aşağıdaki Tablo 3.'te görüldüğü gibi 2016 yılı itibarı ile Türkiye genelinde 7.773.896ton ambalaj atığı geri kazanımı gerçekleştirilmiş olup bu oran toplanan kentsel atık üretiminin %25'ine karşılık gelmektedir.

Tablo 3. 2016 yılı üretilen, piyasaya sürülen ambalaj ve ambalaj atığı sonuçları (Ambalaj Bülteni, No:13,2018)

Atık Kodu	Cinsi	Üretilen Ambalaj (ton)	B-11 Kapsamında			B-2 2 Kapsamında Piyasaya Sürülen (ton)	C 3 Kapsamında Temin Edilen (ton)
			Piyasaya Sürülen (Ton)	Geri Kazanılan (ton)	Gerçekleşen Geri Kazanım Oranı (%)		
15.01.02	PLASTİK	3.080.647	911.705	498.887	55	94.113	15.928
15.01.04	METAL	394.805	145.201	120.412	83	72.811	1.158
15.01.05	KOMPOZİT	153.945	104.658	49.386	47	5.034	20
15.01.01	KÂĞIT KARTON	2.563.665	1.444.047	1.199.606	83	15.056	17.049
15.01.07	CAM	1.076.617	758.991	231.306	30	97.258	113.028
15.01.03	AHŞAP	504.217	486.110	126.676	26	11.367	63.711
	TOPLAM	7.773.896	3.850.712	2.226.273	58	295.639	210.894

2.1.6. Katı Atıkların Özellikleri

2.1.6.1. Katı Atıkların Fiziksel Özellikleri

2.1.6.1.1. Su Muhtevası (Nem)

Üretilen ve çöp konteynerlarına konulan atığın nem oranı, atığın toplama araçlarıyla toplanıncaya kadar geçen süre zarfında atık içindeki nem ve biyolojik bozunmadan dolayı giderek artacaktır. Nem oranındaki bu artış daha kuru olan diğer atıklara etki edecek ve atığın diğer bütün özelliklerini de etkileyecektir. Örneğin bir çöp konteynırında bulunan kağıdın su muhtevası ağırlığının %7'si kadar artmakta, atık toplama araçlarında ise bu değer %20 seviyelerine ulaşmaktadır (Tarakci, 2018).

Katı atık bileşenlerinin su muhtevaları oldukça değişken olmakla birlikte atıkların su muhtevasını belirleyebilmek için, genellikle numuneler 77°C'lik fırında 24 saat bekletilerek

kurutma işlemi yapılmaktadır. Ancak uçucu maddelerin buharlaşmasını ve bazı plastiklerin erimesini önlemek için 77°C'den daha az sıcaklık kullanılmaktadır. Sıkıştırılmamış katı atıkların su muhtevası, ABD'de ortalama %20-30 civarında iken ülkemizde bu oran yağmurlu mevsimlerde %40-60 seviyelerine ulaşabilmektedir. (Tarakci, 2018)

2.1.6.1.2. Partikül Boyutu

Katı atıkların partikül boyutu çeşitlilik arz ettiğinden partikül karışımlarını analitik olarak tanımlanması oldukça güç olmaktadır. Ancak partikül boyutu, katı atıkların işleme teknolojisinin doğru belirlenmesinde büyük önem arz etmektedir. Özellikle geri kazanılabilen atıkların tane büyüklükleri mekanik ve geri dönüşüm tesislerindeki ayrıştırma ünitelerinde kullanılacak elek vb. materyallerin seçimine de etki etmektedir.

2.1.6.1.3. Yoğunluk

Birim hacimdeki atık miktarı, yoğunluğu belirler. Üzerlerine uygulanan basınca bağlı olarak kentsel katı atık bileşimi, gevşek ve sıkışmamış yoğunluk ile sıkıştırılmış atık yoğunluğu göstermektedir. Çöp konteynerına atılan ve sıkıştırılmayan kentsel katı atığın yoğunluğu 90-150 kg/m³ iken konteynır içinde sıkıştırılan katı atığın yoğunluğu 180 kg/m³'e kadar çıkabilir. Toplanarak araç içerisinde sıkıştırılan katı atığın yoğunluğu ise 350-420 kg/m³ arasında değişkenlik göstermektedir. Ayrıca bu atıkların düzenli depolama sahalarında depolanıp makine ile sıkıştırılan atıkların yoğunlukları 700-1000 kg/m³'e kadar çıkabilmekte olup toplanan ve depolanan katı atıkların yoğunlukları Tablo 4.'te verilmektedir (Öztürk İ., 2014).

Tablo 4. Katı atıkların yoğunlukları (Öztürk İ., 2014)

Koşullar	Yoğunluk (kg/m ³)
Gevşek (işlenmemiş ve sıkıştırılmamış) atık	90-150
Toplama aracında sıkıştırılmış atık	360-540
Balyalanmış atık	720-840
Depolama alanında sıkıştırılmış (örtülmemiş) atık	450-750

Parçalanarak depolama sahalarında depolanan kentsel katı atıkların birim hacim ağırlıkları 400 kg/m^3 'e kadar ulaşmaktadır. Depolama sahasında bulunan ve sıkıştırılan atığın yoğunluğu sahanın tabanına yaklaştıkça artış göstereceğinden atığın depolandığı yerin yüzeyi ile depo tabanına olan mesafenin (atık dolgu yüksekliği) atık yoğunluğuna önemli derecede etkisi bulunmaktadır. Atık yoğunluğundaki bu farklılık depolama tesislerinin projelendirilmesi ve atık stabilizesi açısından büyük önem arz etmektedir.

2.1.6.2. Katı Atıkların Kimyasal Bileşimi

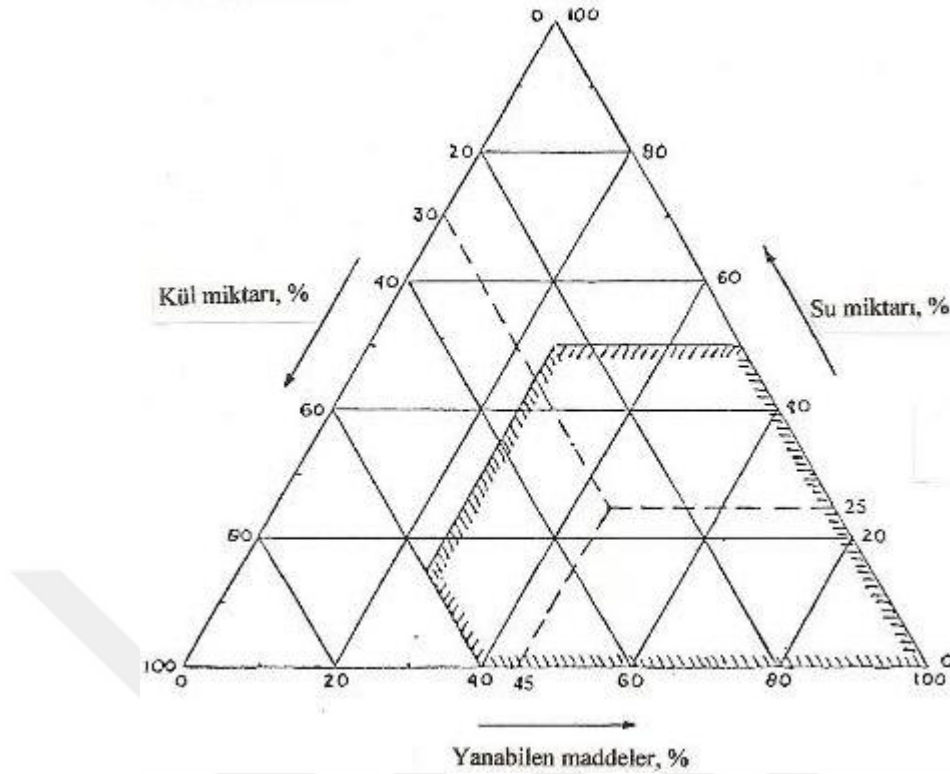
Katı atıkların kimyasal bileşiminin bilinmesi, geri kazanım ve bertaraf yöntemlerinin belirlenmesinde optimum yarar sağlamaktadır. Bu atıkların kimyasal özelliklerinin belirlenmesinde yaklaşık analiz ve elementel analiz yöntemleri kullanılmaktadır. Katı atıkların uçucu organik ve sabit karbon miktarları yaklaşık analiz yöntemiyle belirlenirken; karbon, hidrojen, oksijen vb. gibi bileşimleri elementel analiz yöntemiyle belirlenmektedir.

2.1.6.3. Biyolojik Ayrışabilirlik

Yapılan karakterizasyonlar sonucunda kentsel katı atıklarda biyobozunurluk oranının %45 olduğu söylenebilmektedir. Kentsel katı atıkların biyolojik olarak ayrışabilen kısmı (organik kısım) termal bertaraf yöntemleriyde yakılamamaktadır. İdeal şartlarda kentsel katı atığın içerisinde yer alan uçucu katı maddelerin %65'inin biyolojik olarak ayrıştırılabildiği kabul edilse de uygulamada 60 günü aşmayan sürelerde bu maddelerin %50'sinin ayrıştırılabildiği görülmektedir.

2.1.7. Atığın Kalorifik Değeri

Atığın bileşimini oluşturan “organik atık miktarı, kül ve nem değerleri” atığın kalorifik değerini belirler. Bu değer, atığın termal bertaraf yöntemleri kullanılarak yakılabilirliğini gösteren en önemli özelliktir. Atıkların yanabilirliği konusunda bir fikir veren ve aşağıda Şekil 4.'te görülen Tanner diyagramına göre taralı kısım içerisinde kalan atık, ek bir yakıtı ihtiyaç duyulmadan yakılabilirken nem ve kül değerleri yüksek olan atıkları yakabilmek için ek yakıt gerekmektedir (Heide ve Eisma, 1997).



Şekil 4. Tanner diyagramı (Heide ve Eisma, 1997)

Atığın kalorifik değerinin belirlenmesinde fiziksel, elementel ve endüstriyel analiz yöntemleri kullanılmaktadır (Wesilind vd., 2002).

Fiziksel analiz, bileşimine göre atıktaki her bir bileşenin ısı değerlerinin kullanılarak kalorifik değerinin hesaplanabildiği yöntem olup elementel analiz; Yakıt numunelerinin bir tüp fırında yakılması sonucu oluşan karbon ve hidrojen (H_2O ve CO_2)'in tutularak analiz edildiği yöntemidir. Endüstriyel analiz ise uçucu madde ve sabit karbon olmak üzere iki bileşenden oluştuğu varsayılan yakıtın bu bileşen miktarlarının belirlendiği yöntemidir.

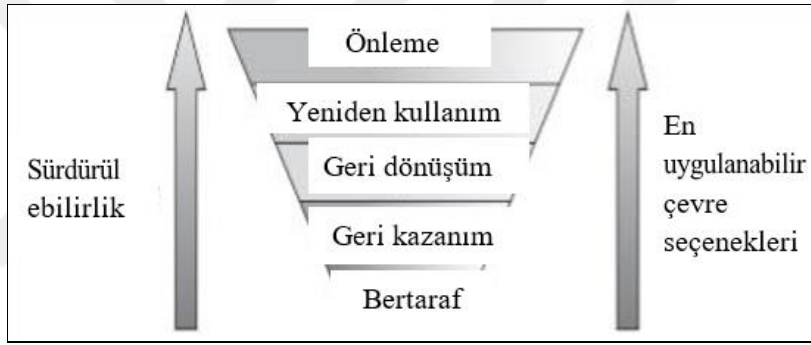
2.2. Atık Yönetimi

Atığın oluşumunun önlenmesi, kaynağında azaltılması, yeniden kullanılması, özelliğine ve türüne göre ayrılması, biriktirilmesi, toplanması, geçici depolanması, taşınması, ara depolanması, geri dönüşümü, enerji geri kazanımı dâhil geri kazanılması, bertarafı, bertaraf işlemleri sonrası izlenmesi, kontrolü ve denetimi faaliyetlerinin tümü atık yönetimini ifade etmektedir (Atık Yönetimi Yönetmeliği, 2015).

Atık yönetimi hiyerarşisi ve üretici sorumluluğu kavramları atık yönetiminin temelini meydana getirmektedir. Atıkların kaynağında oluşumlarının önlenmesi, atık miktarının düşürülerek tehlike oranının azaltılması atık yönetimi hiyerarşisinde birinci sırada tercih edilirken atıkların yeniden kullanım, geri dönüşüm ve enerji elde edilmesi yoluyla geri kazanılması ikinci sırada, geri kazanım olanağı olmayan atıkların çevreye zarar verilmeksizin yakılması ya da güvenli depolanması da son sırada tercih edilmelidir.

Kaynakta oluşumu önlenemeyen ve yeniden kullanılamayan atıklara geri dönüşüm yöntemi uygulanmaktadır (Ulusal Geri Dönüşüm Strateji Belgesi ve Eylem Planı, 2014-2017).

Aşağıdan yukarıya çıkıldıkça sürdürülebilirlik ve uygulanabilir çevre seçeneklerinin arttığı atık yönetimi hiyerarşisi Şekil 5.'te ifade edilmektedir.



Şekil 5. Atık yönetimi hiyerarşisi (Parker, 2010)

Atık yönetimi hiyerarşisine ait kavramların ilgili yönetmelik çerçevesindeki tanımları aşağıda belirtilmektedir (Atık Yönetimi Yönetmeliği, 2015)

2.2.1. Önleme

Yeniden kullanılabilen ürünlerin kullanım ömürlerinin uzatılması ile atık miktarının azaltılması, üretilen atığın çevre ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerinin en aza indirilmesi ve herhangi bir madde ya da malzemenin atık haline gelmeden önce alınması gereken tedbirleri ifade etmektedir.

Gelişmiş ülkeler atık miktarını tamamen sıfıra düşürmese de azaltmaya yönelik çeşitli çalışmalar yapmaktadır. Bu nedenle ülkelerin sadece mevcut atıkları depolamak ya da

bertaraf etmek üzerine geliştirdikleri politikalar yanında atık üreticilerinin de bu sürece dâhil etmeleri, şüphesiz bu konuda daha başarılı sonuçlara ulaşılmasına yardımcı olmaktadır. Çünkü toplumu atık konusunda bilinçlendirecek olan bu çalışmalar için ayrıca bir yatırım maliyeti gerekmemektedir.

Birçok ülke atık konusundaki eğitim faaliyetlerine çocuklardan başlamaktadır. Küçük yaştaki çocuklara konu ile ilgili saha gezileri düzenlemek ve katı atık konusunda temel eğitimler vermek bu faaliyetler arasında yer almaktadır. Böylece erken yaşlarda bilinç sahibi olan insanların azalttıkları atıklar, zamandan ve maddi kaynaklardan büyük tasarruf edilmesine yardımcı olmaktadır.

2.2.2. Yeniden Kullanım

Üretim şekli ve tasarım amacı korunmak kaydıyla atıkların toplama ve temizleme dışında herhangi bir işleme tabi tutulmadan ekonomik ömrü tamamlanana kadar tekrar tekrar kullanılma işlemidir.

2.2.3. Geri Dönüşüm

Atıkların işlenerek asıl kullanım amacı ya da diğer amaçlar doğrultusunda ürünlere, malzemelere ya da maddelere dönüştürüldüğü işlemidir. Bu işlem sırasında atık yeni bir ürüne dönüştüğünden ürün ve bileşenlerin özellik ve fonksiyonları kaybolmaktadır (Karaçay, 2005).

2.2.4. Geri Kazanım

Katı atıkların neden olacağı çevre kirliliğinin ortadan kaldırılması, doğal kaynakların korunmasının sağlanarak katı atıkların ekonomiye kazandırılması bu kavramın ortaya çıkmasını sağlamıştır. Geri kazanılacak atıklar, depolama yapılmayıp ikincil hammadde olarak değerlendirildiğinde endüstriyel hammadde ihtiyacı karşılanarak enerji, su vb. tüketim azalacağından ekonomiye büyük katkı sağlanmış olacaktır. Ayrıca yoğunluğu düşük, hacmi büyük olan bu atıkların ekonomiye kazandırılmasıyla depolama sahalarına

gönderilen atık miktarı ve depolanan atığın hacmi düşeceğinden depolama sahalarının kullanım ömrü de uzayacaktır (İzaydaş, 2006).

Evsel atıklar içerisinde yer alan: kâğıt/karton, cam ve seramik, plastik, kauçuk, alüminyum, demir, pirinç alaşımları, bakır, tekstil, deri, ahşap, kemik” vb. geri kazanılabilir kuru atıklardır.

2.2.5. Sıfır Atık

İsrafın önlenmesi, kaynakların daha verimli kullanılması, atık oluşum sebeplerinin gözden geçirilerek atık oluşumunun engellenmesi veya minimize edilmesi, atığın oluşması durumunda ise kaynağında ayrı toplanarak geri kazanımının sağlanması sıfır atık yönetimini kapsamaktadır (Çevre Şehircilik Bakanlığı, 2017).

Atıkların geri dönüşüm ve geri kazanım süreci içinde değerlendirilmeden bertarafı hem maddesel hem de enerji olarak ciddi kaynak kayıpları yaşanmasına neden olduğundan dünya üzerinde artan nüfus ve yaşam standartları tüketimde kaçınılmaz bir artış meydana getirmektedir. Bu durum doğal kaynaklar üzerindeki baskıyı artırarak dünyanın dengesini bozmakta, sınırlı kaynaklar artan ihtiyaçları karşılamamaktadır. Son yıllarda bu soruna çözüm bulmak amacıyla tüm dünyada sıfır atık uygulama çalışmaları hem bireysel hem kurumsal hem de belediye genelinde yaygınlaştırılmaktadır.

2.2.6. Bertaraf

Kaynağında geçici olarak biriktirilen katı atıkların buralardan toplanması, taşınması, geri kazanılması gibi işlemlerden sonra çevre ve insan sağlığı açısından zararsız hâle getirilerek ekonomiye katkı sağlanması amacıyla enerji kazanmak üzere yakma ve/veya düzenli depolama işlemlerinin tümünü ifade etmektedir.

2.3. Katı Atık Bertarafı

2.3.1. Katı Atık Bertaraf Tesislerinin Yer Seçiminde Dikkat Edilmesi Gereken Unsurlar

Katı atık bertaraf tesisleri için uygun yer seçimi basit gibi gözükebilir de çok zor bir iştir. Çünkü hiç kimse yaşadığı yerin yakınlarında katı atık bertaraf tesisi yapılmasını istemez. Fakat doğaya geliş güzel bırakılan katı atıkların çevre ve insan sağlığı açısından büyük risk oluşturduğu da bilinen bir gerçektir. Bu nedenle bu tarz tesislerin kurulmasının planlandığı alanlar için titizlikle davranılmalı, öncelikle terkedilmiş maden ve taş ocakları gibi doğal ortamı bozunmuş yerleşimlerden uzak alanlar seçilmelidir.

Katı atık bertaraf tesislerinin yer seçiminde belirlenen yerin;

- Yerleşim birimlerine olan mesafesi,
- Havaalanına uzaklığı,
- Yer altı ve yüzeysel su kaynaklarıyla ilişkisi ve koruma altındaki havzaları etkileme durumu,
- Topoğrafik, jeolojik, jeomorfolojik ve hidrojeolojik durumu,
- Taşkın, heyelan, çığ, erozyon ve yüksek deprem riskine sahip olup olmadığı,
- Hâkim rüzgâr yönü,
- Atık nakli mesafesinin uzunluğu,
- Alanının yeterli büyüklüğe sahip olup olmadığı,
- Tesise ulaşım durumu,

gibi özelliklerinin dikkate alınması gerekmektedir.

5393 Sayılı Belediye Kanunu ile Belediyelere ve 5216 Sayılı Büyükşehir Belediyesi Kanunu Evsel katı atıkların toplanması, taşınması ve geri kazanılması ilçe ve belde belediyelerine, çevre ve insan sağlığına olumsuz etki yapmadan nihai bertarafına ilişkin yükümlülük, yetki ve sorumluluklar büyükşehir belediyelerine verilmiştir. 2872 Sayılı Çevre Kanunu ile belediyeler; evsel katı atık bertaraf tesislerini kurmak, kurdurmak, işletmek veya işletmektirle yükümlüdürler.

Katı atık bertaraf yöntemlerinin belirlenmesinde; Atık miktarı ve karakterizasyonu, Atık toplama ve taşıma şekli, geri dönüşüm/kazanım ve bertaraf metodunun bilinmesi gerekmektedir.

2.3.2. Katı Atık Bertaraf Yöntemleri

2.3.2.1. Düzensiz Depolama (Vahşi Depolama)



Şekil 6. Vahşi depolama (Düzenli Depolama ve Tıbbi Atık Bertaraf Tesisleri İşletme ve Kontrol Kılavuzları, 2010)

Hiçbir önlem alınmaksızın atıkların çevrede kötü görüntü, koku, su, toprak ve hava kirliliğine yol açacak biçimde açık alanlara, deniz ya da ırmak kenarlarına kontrolsüz şekilde dökülmesine Şekil 6.'da görüleceği üzere düzensiz depolama denilmektedir.

Katı atıklar, genellikle denize kıyısı bulunan il ve ilçelerde deniz kenarlarında dolgu malzemesi olarak kullanılırken denize kıyısı olmayan bölgelerde ise akarsu havzalarına veya verimli tarım arazilerine gelişigüzel boşaltılmaktadır.

Katı atıkların düzensiz depolanmasının çevre ve insan sağlığına birçok olumsuz etkisi mevcuttur. Atıkların düzensiz depolanması;

- Kemirici canlılar için üreme alanı meydana getireceğinden insan sağlığını olumsuz etkiler.
- Atık depolama yüzeyinin üst kısmının 5 cm'lik tabakasında sivrisinek larvaları oluşacağından sivrisineklerin üremesini artırır.
- Evcil hayvanların kontrolsüz şekilde bu alanlarda bulunması, insanlara hastalık bulaşma riskini artırır.
- Atık depolama alanlarında oluşacak metan, uçucu organik bileşikler ve karbondioksit gibi gazlar; hava kirliliğine, koku problemine, uçuşan partiküller de civardaki tarım ürünlerine zarar vererek toprak kirliliğine neden olur.
- Depolama alanlarında başta metan gazı olmak üzere oluşacak diğer gazların patlama riski faktörünü artırır.

- Özellikle deniz kenarlarına ve akarsu drenaj alanlarına dökülen atıkların yüzeysel ve yeraltı sularına karışarak su kirliliğine neden olur.
- Tıbbi, tehlikeli ve radyoaktif atıkların kontrolsüz şekilde depolanarak insan ve çevre sağlığı için ciddi tehditler oluşturur.
- Estetik kirliliğe neden olur.
- Geçimlerini atık depolama alanlarından sağlayan insanların sağlık riskini artırır.
- Kağıt ve plastik gibi maddelerin rüzgar vasıtasıyla etrafa dağılmasına neden olur.
- Yangın tehlikesi oluşturacağından arazilerin ilerleyen yıllarda kullanımını olumsuz etkiler.
- Metan vb. ekonomik açıdan değerli olan gazların kontrol altına alınamamasından dolayı havaya karışarak kaybolmasına neden olur.
- Atık içerisinde büyük kitleleler halinde şev kaymalarına sebep olur (Düzenli Depolama ve Tıbbi Atık Bertaraf Tesisleri İşletme ve Kontrol Kılavuzları 2010).

2.3.2.2. Düzenli Depolama Yöntemi

26.03.2010 tarih ve 27533 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmeliğe (ADDY) göre; "atıkların oluştuğu tesis içinde geri kazanım, ön işlem veya bertarafa gönderilmek üzere geçici depolandığı birimler, atığın geri kazanım veya ön işleme tabi tutulmak amacıyla üç yıldan daha kısa süreli ara depolandığı tesisler ile atığın bertaraf işlemine tabi tutulmak üzere bir yılı geçmeyecek şekilde ara depolandığı tesisler hariç olmak üzere atıkların yeraltı veya yer üstünde belirli teknik standartlara göre bertaraf edildiği sahalar" düzenli depolama tesisi olarak tanımlanmaktadır.

Son yıllarda geri kazanım ile geri dönüşüm teknolojilerinin ve termal bertaraf yöntemlerinin uygulanmasında artış gözlenmesine rağmen düzenli depolama yönteminin hala en çok tercih edilen katı atık yönetim stratejisi olmasını engelleyememiştir. Düzenli depolama yöntemi, çevreyi etkilemeksizin kentsel katı atıklar ile tehlikeli atıkların bertarafında en fazla kullanılan yöntemdir.

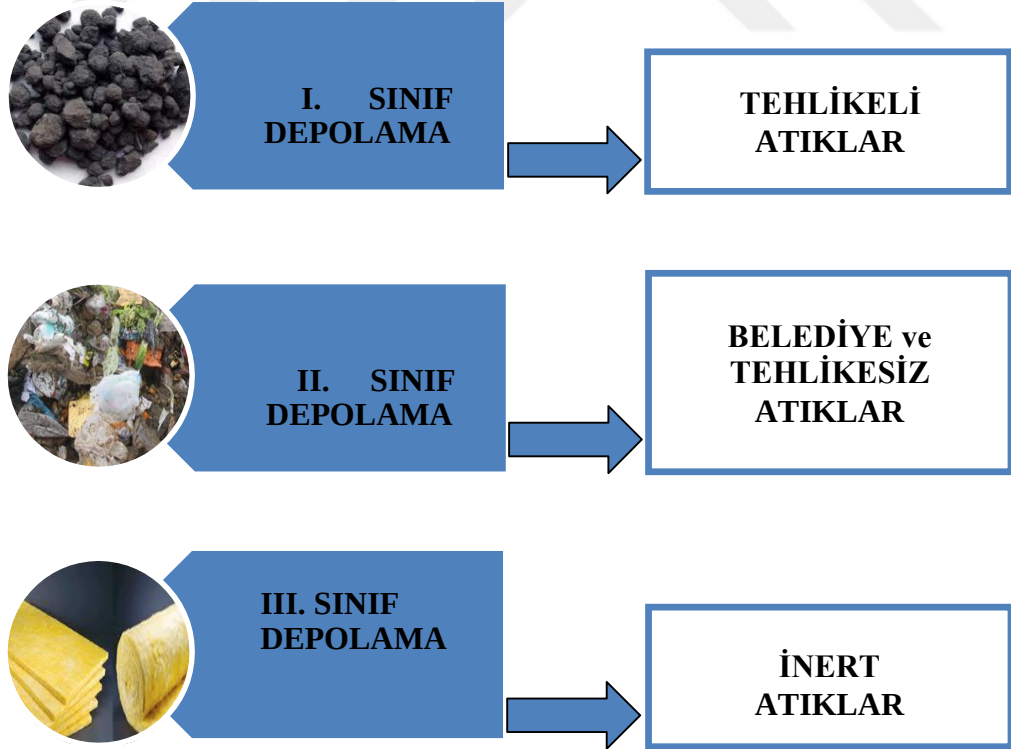
Katı atık düzenli depolama tesislerinde depolanan biyobozunur atıklardan oluşan gaz emisyonları ve sızıntı sularının yönetimi kanun ve yönetmelikler çerçevesinde yapılmadığı takdirde çevreye ve insan sağlığına büyük zarar vermektedir. Bu konuda mevcut AB kanunları tarafından sürdürülebilirliği göz önüne alınarak kirlетici gaz emisyonlarını

sınırlandırmak amacıyla katı atık bertaraf tesislerinin etkin yönetilmesi gerekir. Bu gazların yönetimi sadece enerji kaynağı olarak değil aynı zamanda sera gazı emisyonu açısından da yönetilmelidir. Depo gazının yenilenebilir enerji kaynağı olarak kullanılması en önemli sera gazı emisyonu önleme yöntemlerindendir.

Düzenli depolama alanlarının vahşi (düzensiz) depolamadan farkı, sızıntı suyunun ve depo gazının kontrollü bir şekilde bertaraf edilmesidir. Düzenli depolama sahalarında uyulması gereken genel kurallar yönetmelikler ve kanunlarla belirlenmiştir.

Şekil 7.'de de görüldüğü gibi düzenli depolama tesis sınıfları Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmeliğe göre üç gruba ayrılır:

- I. sınıf düzenli depolama tesisi: Tehlikeli atıkların depolanması için gereken altyapıya sahip tesistir,
- II. sınıf düzenli depolama tesisi: Belediye atıkları ile tehlikesiz atıkların depolanması için gereken altyapıya sahip tesistir,
- III. sınıf düzenli depolama tesisi: İnert atıkların depolanması için gereken altyapıya sahip tesistir.



Şekil 7. Düzenli depolama tesisi sınıfları

- Düzenli depolama yönteminin avantajları; Günümüzde Dünya genelinde uygulanan en yaygın nihai bertaraf metodudur. Katı Atıkların bertarafında kullanılan bütün bertaraf yöntemlerinin sonrasında geriye kalan ve hiçbir şekilde kullanılmayan atıklar için dahi düzenli depolama yönteminin kullanılması muhakkak olmaktadır. Bu nedenledir ki düzenli depolama yöntemi ile atık bertarafı uzunca bir süre daha kullanılan en yaygın yöntem olarak karşımıza çıkacaktır. İlk yatırım maliyetinin az olmasının yanı sıra işletme giderleri de düşük olduğu için özellikle termal bertaraf yöntemlerine kıyasla oldukça ekonomik bir yöntemdir. Oluşan katı atık miktarına göre ve arazinin durumu göz önüne alınarak kapasite artışı yapılabileceğinden esnek bir metottur. Depolama işlemi tamamlanıp nihai örtüsü yapılan araziler ıslah çalışmalarıyla birlikte rekreasyon amacıyla (park, yeşil alan, spor tesisleri vb.) kullanılabilir.
- Düzenli depolama yönteminin dezavantajları; Yerleşim birimlerine uzak, topografik yapısı ve ideal nakliye mesafe şartlarına uygun ve ekonomik olan depolama alanı bulmak oldukça güçtür. Özellikle yerleşim birimlerine yakın olarak kurulan düzenli depolama sahalarında bölge halkının tepkisiyle karşılaşmakta hatta hukuksal mücadele sonucunda belirlenen alanların bazılarında düzenli depolama tesisi kurulmasına engel olunmaktadır. Kapasitesi tamamlanmış düzenli depolama sahalarında organik atıkların bozunmasından dolayı ve gaz çıkışından ötürü göçmeler ve oturmalar olabildiğinden sürekli olarak bakım gerektirmektedir. Ayrıca sızıntı suyu ve gaz sızıntıları da sürekli kontrol edilmelidir.

2.3.2.2.1. Düzenli Depolama Sahalarının Yer Seçimi

Düzenli depolama sahalarının yer seçiminde genel ve yerel özellikler başta olmak üzere karakteristik özellikler de göz önünde bulundurulmalıdır. Yer seçimi yapılırken öncelikle aşağıda sıralanan özelliklere dikkat edilmesi gerekmektedir;

- I. sınıf deponi saha sınırının yerleşim yerlerine uzaklığı en az bir kilometre, II. ve III. sınıf deponi saha sınırlarının ise en az iki yüz elli metre olması,
- Deponi sahasının hava ulaşım güvenliğini etkilememesi,
- Özel amaçlarla koruma altına alınmış (yaban hayatı, bitki örtüsü, ağaçlandırma ve orman sahaları) sahalarla uzaklığı,

- Bölgede bulunan yeraltı ve yüzeysel su kaynakları ile koruma havzalarının durumuna, yeraltı su seviyesi ve yeraltı suyu akış yönlerine etkisi,
- Sahanın hidrojeolojik, jeolojik, topografik, jeomorfolojik ve jeoteknik durumu,
- Çığ, erozyon, heyelan, taşkın ve yüksek deprem riski taşımaması,
- Yağış miktarı ve hâkim rüzgâr yönünün durumu,
- Kültürel veya doğal miras durumu,
- Bölgeden akaryakıt, gaz ve içme-kullanma suyu naklinde kullanılan boru hatları ile yüksek gerilim hatlarının geçmemesi.

ÇED sürecinin tamamlanmasının ardından düzenli depolama için seçilen alan, yerel idareler tarafından ilgili imar planlarına işlenir (Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik, 2010).

Yukarıda belirtilen maddeler göz önüne alınarak yerel idareler tarafından belirlenen düzenli depolama sahası yer seçiminde mevzuat gereği son aşama Çevresel Etki Değerlendirme (ÇED) raporunun hazırlanması ve onaylanmasıdır. Çevresel Etki Değerlendirme süreci, önerilen projelerin her türlü etkilerini tespit etmek ve çevreye zarar verebilecek olumsuz etkileri önlemeye veya en aza indirmeye bazen de çevreyi iyileştirmeye yönelik alınacak önlemleri değerlendirmek için gerçekleştirilen süreçtir. Uygulanacak bu süreç projenin ve gelişmelerin çevrede oluşturacağı sürekli veya geçici potansiyel etkilerinin sosyal sonuçlarını ve alternatif çözümlerini de içine alacak şekilde analiz edilerek değerlendirilmelidir. ÇED Raporlarında, çöp depolama sahası ile ilgili her türlü sosyal, teknik, ekonomik bileşenler, koşullar, kısıtlar esas alınarak bir değerlendirme yapılır ve yapılan değerlendirme sonucunda da projeye olumlu-olumsuz onay verilmektedir. Bu onay sürecinde ÇED raporun hazırlanmasında ve onayında kamu kuruluşlarının katılımının yanı sıra halkın katılımı da esas olmakta ve uygulanacak proje için halkın bilgilendirilmesi sağlanarak projenin yöre halkı üzerinde oluşturacağı etkiler tartışılabilmektedir.

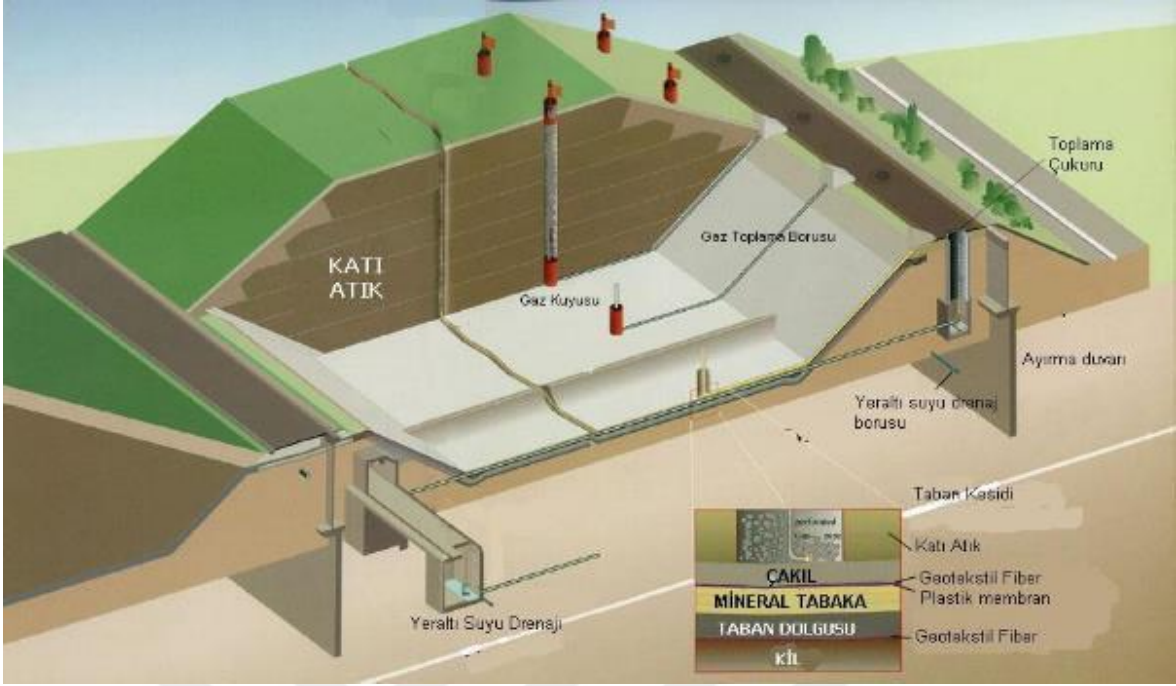
2.3.2.2.2. Düzenli Depolama Tesislerindeki Birimler ve Üniteler

Düzenli depolama tesisinde olması gereken birimler ve üniteler Tablo 5.'te verilmiştir. Düzenli depolama alanında verimli bir işletme yapılması için tesiste olması gereken birimler ve ünitelerin yapımı tamamlandıktan sonra bu birim ve üniteler sonraki aşamalarda da düzenli olarak kontrol edilmelidir.

Tablo 5. Düzenli depolama alanındaki birimler ve üniteler (Öztürk İ., 2014)

1	Bekçi kontrol noktası (sahaya giriş çıkışların kontrol edildiği yer)	12	Otopark
2	Kantar binası (sahaya gelen tüm atıkların tartılması amacıyla kantar ve personeli için hazırlanan yer)	13	Tüm sahayı çevreleyen tel çit
3	Sosyal tesis (sahada çalışacak personelin yemek, temizlik ve barınma ihtiyacını karşılayacağı yer)	14	Tüm sahayı çevreleyen yüzey suyu toplama kanalları
4	İdari bina	15	En az üç adet gözlem kuyusu (yer altı su kirliliğini kontrol etmek için)
5	Tekerlek yıkama ünitesi (sahaya giriş çıkış yapan araçların temizlenmesi için gerekli yer)	16	Depolama alanı
6	Araç tamir ve bakım atölyesi	17	Sızıntı suyu toplama drenaj sistemi
7	Jeneratör binası	18	Sızıntı suyunun toplandığı lagünler
8	Yangın ve kullanma suyu deposu	19	Sızıntı suyu arıtma tesisi
9	Ambalaj atıkları toplama ve ayırma tesisi	20	Gaz toplama sistemi (bacalar, menholler, manifoldlar)
10	Saha içi kullanım yolları	21	Enerji üretim veya gaz yakma sistemi
11	Tesis içerisinde atıkların sıkıştırılması için araçların kullanacağı yollar		

Katı atık bertaraf tesisi tasarımı yapılırken dikkat edilmesi gereken en önemli konuların başında iyi bir yerleşim planının yapılması gelmektedir. Düzenli Depolama Tesislerinin yerleşim planları yapılırken lot yerleşimlerini iyi tasarlamak gerekmektedir. Çünkü sahada oluşan sızıntı sularını kendi cazibesiyle uzaklaştırmak ve yağmur sularının lotlara girişlerini minimumda tutmak sahanın yönetiminde uygulanması gereken en önemli etkidir.



Şekil 8. Klasik düzenli depolama tesisi kesiti (Öztürk İ., 2014)

Planlanan düzenli depolama sahasının hafriyat işlemleri bitirildikten sonra kil, geomebran, geotekstil ve çakıl tabakasıyla birlikte taban geçirimsizliği sağlanır. Geçirimsiz taban işlemleri sağlandıktan sonra serilen çakıl tabakası içinde Şekil 8.'de görüldüğü üzere sızıntı suyunun alınması için drenaj boruları serilmektedir. Serilen drenaj borularının çapları saha işletilmesi sırasında yapılacak kontrol ve temizleme çalışmalarına imkan verebilecek şekilde seçilerek imalat yapılır. Sızıntı suyunun depolama sahası tabanından uzaklaştırılmasını sağlayan sızıntı suyu boruları çöp suyunun kimyasal özelliklerine ve gaz oluşumuna dayanıklı malzemelerden imal edilmiş olmalıdır. Bunun yanı sıra saha içinde oluşacak bütün suyun saha dışına alınmasını sağlamak için yeterli sayıda drenaj borusu, toplayıcı sistemlerle birlikte bacalar bulunur. Düzenli depolama sahasından drenaj sistemi ile toplanan sızıntı suları sızıntı suyu havuzuna alınır. Sızıntı sularının toplanacağı havuz, tesisin kurulacağı bölgenin iklim koşulları ile depolanacak atıkların nem içeriği göz önünde bulundurularak herhangi bir olumsuzluğa yer vermeyecek şekilde planlanarak geçirimsiz olacak şekilde inşa edilmelidir (Akar, 2019).

2.3.2.2.3. Düzenli Depolama Tesislerinin Saha Yapımı

Düzenli depolama sahalarında atık lotlarının taban geometrisi yapılırken mümkün olduğunca düşük eğimle depo tabanının boyuna eğimi %3'den az olmayacak şekilde yapılmalıdır. Şev eğimleri 1(dikey)/3(yatay)'ü geçmemelidir. Yeterli alan olmadığı durumlarda ise daha dik yapılması zorunluluğu varsa şev stabilite raporu hazırlanarak işlem yapılmalıdır. Maksimum 10 metreden yüksek olan yan şevler palyeli olacak şekilde yapılmalıdır. jeomembran ve jeotekstil örtüler palyeler üzerindeki ankraj hendeklerinde kilitlenmelidir. Hem ekonomik açıdan hemde işletme açısından kolaylık sağlamak için lotlar aşırı büyük yapılmamalı, büyük yapılan lotlar seddelerle küçük lotlara bölünmelidir. Aksi takdirde çöpe yağmur suyu karışımı engellenemeyeceğinden sızıntı suyunun kontrolü de sağlanamayacaktır.

Katı atık bertaraf tesislerinde, çevre kirliliği açısından en önemli problem sızıntı sularının yeraltına sızarak doğal kaynakları kirletmesidir. Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik hükümlerine uygun olarak teşkil edilecek depolama tesisinin tabanı “geçirimsizlik ve drenaj tabakası” olarak iki katmandan meydana gelmektedir.

2.3.2.2.3.1. Sahanın Kazı ve Dolgu İşleri

Depolama sahasının yapılması için hazırlanan projeye uygun olarak alanın hafriyat çalışmaları yapılır. Çalışma yapılırken dikkat edilmesi gereken husus depolama alanının tabanının yer altı sularına olan mesafesidir. Saha kazılması örneği Şekil 9.'da verilmiştir.



Şekil 9. Trabzon ili katı atık düzenli depolama sahası kazı çalışması (TRAB-Rİ KAB)

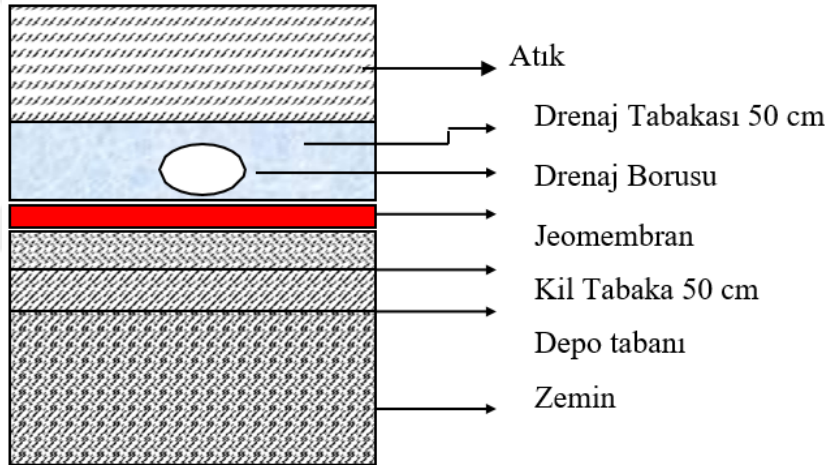
2.3.2.2.3.2. Düzenli Depolama Tesislerinin Taban Yapıları

Sızıntı sularının yeraltı suyuna karışmasını önlemek için depolama alanının tabanında ve yan şevlerinde kil veya benzeri yapay geçirimsizlik malzemeleri (TSE standartlarına uygun) kullanılarak geçirimsizlik tabakası oluşturulur. Bu tabakanın fiziksel, kimyasal, mekanik ve hidrolik özellikleri; deponi alanının toprak ve yeraltı sularının kirlenmesini önleyecek şekilde belirlenmelidir.

Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelikte belirtilen hükümler çerçevesinde sınıflarına göre düzenli depolama tesislerinin depo tabanlarının aşağıda belirtilen geçirgenlik ve kalınlık özelliklerine sahip olması gerekmektedir:

- I. sınıf düzenli depolama tesisi: $K \leq 1,0 \times 10^{-9}$ m/sn; kalınlık ≥ 5 m veya eşdeğeri,
- II. sınıf düzenli depolama tesisi: $K \leq 1,0 \times 10^{-9}$ m/sn; kalınlık ≥ 1 m veya eşdeğeri,
- III. sınıf düzenli depolama tesisi: $K \leq 1,0 \times 10^{-7}$ m/sn; kalınlık ≥ 1 m veya eşdeğeri.

Jeolojik geçirimsizlik tabakasının yukarıda sıralanan geçirgenlik ve kalınlık şartlarını doğal olarak sağlamaması durumunda Şekil 10.'da da görüldüğü gibi bu tabaka yapay olarak oluşturulur ve yapay geçirimsiz malzeme olan jeomembran yardımıyla güçlendirilir. Oluşturulacak bu yapay tabakanın toplam kalınlığının 0,5 metreden az olmaması gerekmektedir (Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik, 2010).



Şekil 10. Düzenli depolama tesislerinin taban yapıları (Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik, 2010)

• Kil serilmesi ve Sıkıştırılması

II. Sınıf Depolama alanında geçirimsizlik tabakası Şekil 11.'de verildiği gibi 25 cm'lik tabakalar halinde iki aşamalı olarak serilerek sıkıştırılmaktadır. Deponi alanlarında kilin sıkışma derecesi minimum %90 ve üzeri olmalıdır. Böylelikle depolama sahası tabanında sızdırmaz jeomebran tabakasında oluşacak herhangi bir delinme neticesinde atıksuyun yeraltı sularına karışması serilen kil sayesinde min düzeye indirilir.



Şekil 11. Trabzon ili katı atık düzenli depolama sahası kil serilmesi (TRAB-Rİ KAB)

- Jeomembran Serilmesi

Düzenli depolama tesislerinin geçirimsizliğinin sağlanmasında kimyasal materyallere karşı yüksek dayanıma sahip, çekme mukavemeti yüksek, geçirgenlik derecesi düşük, çatlama ve delinmelere karşı oldukça dayanıklı olmasından dolayı sızmalara karşı üstün bir koruma sağlayan jeomembran, füzyon ve ekstrüzyon kaynaklarıyla birleştirilerek zemin taban ve şev örtüsü olarak kullanılmaktadır. Yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) jeomembran; yaklaşık 2-10 metre genişliğinde, $941-1885 \text{ kg/m}^3$ yoğunluğunda rulolar halinde ve 140-190 metre uzunluklarında üretilmektedir. Kalınlıkları ise 1,5 ile 8 mm arasında, pürüzlü veya pürüzsüz olarak üretilmektedir. Jeomembranın serilmesi aşamaları aşağıdaki Şekil 12.'de verilmiştir.



Şekil 12. Jeomembran serilmesi (TRAB-Rİ KAB)

- Ankraj Hendeği

Üzerlerine konulan atığın ağırlığından dolayı jeomembran ve jeotekstil malzemenin kaymasını engellemek için sahanın etrafına kazılan 100-130 cm derinlikteki hendeklere ankraj hendeği denir. Hendek kazılarının Şekil 13.'te görüleceği üzere jeomembran serilmeden önce yapılması gerekmektedir. Hendeklerin köşeleri hafifçe yuvarlatılmalı, jeomembranın hendekle birleştiği yerlerde keskin kıvrımlardan kaçınılmalı, jeomembran ve jeotekstil yerleştirildikten sonra ankraj hendeği keskin kenarlı olmayan dolgu malzemesi ile sıkıştırılmalıdır.



Şekil 13. Ankraj hendeği (URL-1, 2015)

- Jeotekstil serilmesi

Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmeliğe göre; Yapay geçirimsizlik tabakasının (jeomembran) korunması için kullanılan koruyucu örtü malzemesine jeotekstil denilmektedir.

Jeotekstillerin yatayda ve düşeyde uzama özellikleri sayesinde yüksek bölgesel yüklere dayanıklıdır. Gözenekli yapıya sahip oldukları içinde bir tür drenaj görevi görerek suyun alt tabakaya geçmesine müsaade ederken kum veya silt gibi ince taneli materyallerin geçmesini engellemektedirler. Jeotekstilller füzyon kaynağı yardımı ile yapıştırılır. Jeotekstil serilmesi örneği Şekil 14.'te verilmiştir.



Şekil 14. Jeotekstil serilmesi (TRAB-Rİ KAB)

- Sızıntı Suyu Boru Yerleştirilmesi ve Drenaj Malzemesi Serilmesi

Dolgu sahasındaki sızıntı suyunun drenajını yapmak amacıyla Şekil 15.'te de görüldüğü gibi taban izolasyonunun en üst kısmında drenaj tabakasının (çakıl) oluşturulması ve drenaj borularının döşenmesi gerekmektedir. Drenaj tabakasında kullanılacak çakılın permeabilitesinin $K=1 \times 10^{-4}$ m/s'nin üstünde, tane dağılımının 16-32 mm aralığında, yuvarlak köşeli, yıkanmış, kalsiyum karbonat içermeyecek şekilde olması gerekmektedir. Drenaj borularının döşendiği kısımlarda drenaj tabakası (çakıl) kalınlığı, üst kotundan itibaren boru çapının 2 katı kadar olmalıyken drenaj borusunun geçmediği diğer bölgelerde ise çakıl filtre kalınlığının 50 cm olması gerekmektedir.



Şekil 15. Sızıntı suyu boru yerleştirilmesi ve drenaj malzemesi serilmesi (TRAB-Rİ KAB)

Drenaj borularının seçiminde dikkat edilmesi gereken hususlar aşağıda sıralanmıştır:

1. Drenaj borularının saha ve atık içerisinde kalan kısımlarının 1/3'ü deliksiz, 2/3'ü delikli kesite sahip olmalıdır.

2. Boru et kalınlığına dikkat edilmeli, boruların iç basınca değil dış basınca karşı dayanıklı olması gerekmektedir.
3. Borunun üretiminde kullanılan hammaddenin ne olduğuna dikkat edilmelidir (Ör. HDPE, PN 10 gibi). (Özbil, 2019).

Aşağıdaki Şekil 16.'da görüldüğü gibi sızıntı suyu boruları yerleştirilmiş, drenaj malzemesi (çakıl) serilmiş ve gaz bacaları oluşturularak yapımı tamamlanan sahanın kenarlarına sızıntı suyu miktarının azaltılması için drenaj kanalları yapılarak dışarıdan sahaya su girişinin engellenmesi gerekmektedir.



Şekil 16. Atık dökümüne hazır düzenli depolama sahası (TRAB-Rİ KAB)

- **Düzenli Depolama Tesislerinin İşletilmesi**

Düzenli depolama sahalarının tasarımı ve işletilmesi birbiriyle bağlantılıdır. İşletmenin sorunsuz olarak yapılabilmesi için düzenli depolama sahalarının iyi planlanarak tasarımının yapılmasının yanı sıra doğru işletilmesi de büyük önem taşımaktadır.

Düzenli depolama sahalarının iyi işletilebilmesi için sızıntı suyunun ve depo gazının kontrolünün doğru yapılması gerekmektedir. Ayrışma prosesinin başlangıcında ortamda bulunan oksijen gazı ile atık içerisinde bulunan organik muhteva, aerobik bakteriler tarafından organik asitlere ve diğer kimyasal bileşiklere dönüştürülür. Atık yığınının üzeri atıkla doldurulurken ya da toprak ile örtülürken bu aerobik bakteriler mevcut O_2 'yi hızla tüketirler. Buna bağlı olarak ayrışma işlemi artık anaerobik bakteriler tarafından sürdürülmeye başlar. Dolgu işleminin düzgün şekilde yapılması ve günlük örtünün atığın içerisine O_2 'nin girişine izin verilmeyecek şekilde serilmesi anaerobik faaliyetleri hızlandıracağından atıklar daha kısa sürede stabilize olacaktır (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2014).

Atıklar depolanırken; atıkların serilmesi ve sıkıştırılması için kullanılan yöntemler ile günlük örtü çalışmalarının doğru şekilde yapılması depolama sahalarında karşılaşılabilecek sorunları bertaraf etmede büyük önem teşkil etmektedir. Ayrıca bu durum; atık depolama sahasında oluşabilecek haşere, kemirgen, yangın, kötü koku vb. olumsuzlukların büyük oranda önüne geçilmesini sağlayacaktır (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2014).

2.3.2.2.4. Atıkların Doldurulması

Düzenli Depolama tesislerindeki aktif bir atık hücresine her gün gelen atıklar, geçirimsiz tabanın ve sızıntı suyu toplama sisteminin üzerine (~2 m'lik) katmanlar halinde serilip sıkıştırılmak suretiyle, ön görülen hücre üstü tasarım seviyesine kadar (> 20 m) doldurulur (Öztürk İ., 2010). Alan veya yığın tipi düzenli depolama hücresi teşkil, yer altı su seviyesinin yüksek veya zeminin kazıya müsait olmadığı yerlerde uygulanır. Kazı veya hendek tekniği, zemine kazılmış hücre veya hendekler içerisinde atık depolanmasını sağlar. Bu yöntemle kazı zemini genellikle günlük, ara ve nihai örtü toprağı olarak kullanılır. Uygun hacimde yer temini durumunda atık taban geçirimsizliği sağlanmış derin vadi ve kanyonlarda da depolanabilir. Şev stabilitesi ile sızıntı suyu ve depo gazı kontrolü vadi /kanyon tipi düzenli depolama tesislerinde özel önem arz eden, kritik tasarım ve işletme parametreleridir (Öztürk İ., 2010).

Düzenli depolama tesisi işletmesi esnasında tabandaki sızıntı suyu toplama sisteminin zarar görmemesi için, işletmeye açılan atık hücresindeki ilk katmanda depolanacak atık içinde ağır ve keskin maddelerin bulunmaması son derece önemlidir. Söz konusu ilk katman genellikle ilk işletme katmanı olarak isimlendirilir. Söz konusu katmana atık serilmesi

esnasında, taban drenaj sisteminin içinde bulunduğu çakıl tabakası üzerine kompaktörün çıkarılıp borulara ve taban geçirimsizliğine zarar vermemesi için ilk serilen atıklar özenle serilmelidir. İlk işletme katmanı bu şekilde oluşturulduktan sonra diğer katmanlar, döküm alanının bir köşesinden itibaren ilerletilerek dolum işlemi gerçekleştirilir. Depolama yapılan atık hücrelerinin ne kadar zaman ve hangi sıra ile aktif olarak kullanılacağı düzenli depolama tesisi projesinde ve işletme planında belirtilmelidir. Atığın boşaltılması, serilmesi ve sıkıştırılması işlemlerinin gerçekleştirildiği atık döküm çalışma alanının genişliği, sistem içindeki araçların yoğunluğuna ve sayısına göre belirlenerek çalışmaya engel teşkil etmeyecek şekilde yapılmalıdır. Atık döküm alanında çalışılan bölgeye atık serildikçe, kompaktörlerle atığın üzerinden geçilerek sıkıştırma işlemi uygulanır. Sıkıştırma derecesi, serilen atık tabakası kalınlığı ve kompaktörün geçiş sayısına bağlı olarak değişiklik göstermekle birlikte genelde kompaktörün serilen atık tabakası üzerinden 5-6 kez gidip-gelmesi yeterli olmaktadır. Böylelikle serimi yapılan atıklar hem sıkıştırılmakta hem de kompaktör sayesinde parçalanarak poşetlerin açılması, içinde bulunan atıkların homojen dağılımı gerçekleştirilerek ileriki aşamalarda oluşan çürüme ve gaz çıkış olayı hızlanmaktadır. Düzenli depolama sahasında atık sıkıştırmada kullanılan kompaktörler ağır çelik çivili tekerlekli şekilde olup sıkıştırmının verimli yapılabilmesi için atık şev eğiminin max 1/3 oranını aşmaması gerekmektedir.

2.3.2.2.5. Atıkların Örtülmesi

Düzenli depolama sahaslarında atık dolumu yapılan hücrelerde günlük olarak örtü toprağı serilmesi işletme verimi açısından son derece önemlidir. Yapılacak örtü toprağı uygulaması ile atık dökümü yapılan alandan rüzgarın etkisiyle atıkların uçuşarak çevreyi kirletmesi, kemirgen ve haşerelerin üreme ortamlarının oluşması, taşıyıcı hayvanlar tarafından atıkların uzak mesafelere taşınması, koku problemlerinin yaşanması, mevzuat dışı olarak atıkların ayrıştırılmasının önlenmesi, depo gazlarının kontrolsüz olarak doğaya salınımının engellenmesi, atık içine oksijen girişini önlenerek yangın ihtimalinin ortadan kaldırılması, atık içindeki anaerobik faaliyetlerin hızlandırılması ve çürümesinin hızlandırılması sağlanır. Yapılacak örtü toprağı uygulaması atık döküm alanının yüzeysel şartlarıyla ilgili olmak üzere 30 cm'den az olmaması gerekir.

Depolama sahasında bulunan atık depolama hücresinin yüksekliği planlanan seviyeye ulaşp üzerine bir ay ile altı ay boyunca atık boşaltılamayacak duruma geldiğinde bir ara örtü

oluşturmak için atığın üzeri 50 cm kalınlığında toprak tabakasıyla örtülmelidir. Atık içerisine kar ve yağmur sularının sızmasını ve atık depolanan hücrede erozyon oluşumunu önlemek için örtü tabakasının üzerindeki çatlak, yıpranmış veya düzgün eğimde olmayan kısımlar belirli aralıklarla tesviye edilmelidir.

Yoğunluğu düşük ve depolama işleminin sadece gündüz yapılarak gece çalışmasının olmadığı sahalarda günlük örtü toprağı yapılması kolaylıkla gerçekleştirilmektedir. Ancak 3'lü vardiya sisteminin olduğu 24 saat çalışma esasına dayalı yoğunluğu fazla depolama alanlarında uygulaması günlük örtü toprağı yapılması oldukça zordur (Düzenli Depolama Tesisleri SahaYönetimi ve İşletme Kılavuzu, 2014).

2.3.2.2.6. Nihai Örtü

Atık depolama işlemi tamamlandıktan sonra depolama alanı toprak örtü ile tesviye edilir. Bu işlem gerçekleştirilmeden önce depolanan kayma ve çökme riskine karşı atık kütesinin yeterince sıkıştığı ve zemine oturduğu tespit edilmelidir.

Depolama tesisinin nihai örtü ile kapatılması sonucunda yağmur ve kar sularının depo gövdesine girmeleri önlenerek sızıntı suyu miktarı en aza indirilir ve depolama alanında oluşacak depo gazı miktarının artması sağlanır.

Düzenli depolama tesisinde nihai örtü, tesis sınıflarına ve tesisin kurulduğu bölgenin yağış şartlarına göre aşağıdaki şekilde teşkil edilmektedir.

- a) Yalnızca gaz oluşumu beklenen II. sınıf düzenli depolama tesislerinde; depo gazlarının oluşturacağı potansiyel risklerin engellenmesi amacıyla gaz drenaj katmanı inşa edilir.
- b) Yapay geçirimsizlik kaplamasının I. sınıf düzenli depolama tesislerinde uygulanması mecburidir.
- c) Mineral geçirimsizlik tabakası en az 25 cm kalınlığında iki tabaka halinde uygulanır. Drenaj tabakasının en az 50 cm kalınlığında olması ve en az $K \geq 1.0 \times 10^{-4}$ rnv/s geçirgenliğe sahip olması gerekir.
- d) Üst örtü toprağı daha sonradan bitkilerin yetiştirilmesini sağlayabilecek şekilde yetiştirilecek bitki türüne bağlı olarak en az 50 cm kalınlığında olması gerekir.
- e) III. sınıf düzenli depolama tesisleri için bu hükümler uygulanmamakla birlikte bu sahalarda atık depolama işlemi tamamen bittikten sonra sahanın üstünün

kapatılması ve yeşillendirilme sı zorunludur (Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik, 2010).

2.3.2.3. Biyolojik Arıtma Teknolojileri

Organik atıklar, kompostlama veya çürütme olarak da anılan anaerobik çürütme şeklinde iki farklı yöntem kullanılarak arıtılır.

Özellikle daha küçük işleme birimleri (yıllık 5.000-20.000 ton atık) için tavsiye edilen ve daha ucuz bir işleme yöntemi olan kompostlamada, iyi bir havalandırmanın yapılabilmesi için daha sağlam materyaller gerekmektedir.

Şehir içi alanlardan ve gıda sanayi gibi endüstriyel faaliyetler gösterilen yerlerden toplanan yaş atıklar için tavsiye edilen yöntem ise anaerobik çürütmedir. Bu yöntem kullanılarak biyogaz üretimi yapılır ve atıktan enerji elde edilmesi sağlanır.

Organik atıkların işlenmesinde dikkat edilmesi gereken en önemli unsur, tesis yakınındaki yerleşim yerlerinde yaşayan halktan gelen şikayetlerin temel kaynağı olan koku emisyonlarının engellenmesi ve giderilmesidir.

2.3.2.3.1. Aerobik Arıtma (Kompostlaştırma)

Her türlü organik atığın bir araya getirilip kontrollü şartlar altında humus veya benzeri nitelikteki ürüne dönüştürüldüğü biyokimyasal ayrıştırma sürecine kompostlaştırma adı verilmektedir (Öztürk İ., 2014). Şekil 17.'de kompostlaştırmadan bir görünüm verilmiştir.



Şekil 17. Kompostlaştırmadan görünüm (<https://haliccevre.com>)

Kompostlaştırmanın başlıca hedefleri şu şekilde sıralanır:

- Biyolojik olarak ayrışabilir organik maddelerin kararlı bir ürüne dönüştürülmesi ve atık içerisindeki organik madde hacminin azaltılması,
- Katı atık içerisinde oluşabilecek patojen, sinek yumurtası vb. istenmeyen organizmaların ortadan kaldırılması,
- Mevcut veya oluşabilecek koku probleminin çözülmesi,
- Maksimum makro nütrient (N, P, K) ve mikro besi elementleri (Zn) içeriğinin muhafaza edilmesi,
- Gübre değerine sahip toprak şartlandırıcısı olarak da kullanılabilecek bir ürün elde edilmesi.

Dane boyutu, karbon/azot (C/N) oranı, su muhtevası, sıcaklık, pH, havalandırma ve karıştırma kompostlaştırmaya etki eden faktörlerdir.

Kompostlaştırma tesisleri atık fermantasyonu (çürüme, kompostlaştırma prosesi) sistemi esas alınarak oluşturulmaktadır.

Üç aşamada gerçekleşen atık fermantasyonunun ilk safhasını oluşturan ön çürümede, “mezofil bakteriler” tarafından çürüme prosesi başlatılır. Böylece atık hızla ısınarak “mikro

organizmalarının bozuşma prosesi” gerçekleşir. Kompostlaştırma prosesinin ilk günlerinde meydana gelen ön çürümeye sıcaklık 75 °C'ye kadar yükselebilmektedir (Olgunluk derecesi I).

Atık fermantasyonunun ikinci safhasını oluşturan ana çürümeye sıcaklık, mikrobiyolojik faaliyete bağlı ısı üretiminden dolayı yüksek seviyede seyrederek. Kullanılan yöntemlere bağlı olarak 2-4 hafta sürebilen bu safhada, bakteriyel bozuşmayı sağlayan “termofil bakteriler”dir (Olgunluk derecesi II, III).

Atık fermantasyonunun üçüncü safhasını oluşturan son çürümeye, kompost olgunlaştığından hijyenizasyon tamamlanır ve bunun sonucunda biyolojik bozunma yavaşlayarak emisyonlar düşer. Son çürümeye aşamasında havalandırma ve nemlendirmeye ihtiyaç duyulmadığından kompostlaştırmanın gerçekleşebilmesi için atıkların düzenli olarak taşınması/ karıştırılması sağlanmalıdır (Olgunluk derecesi IV veya V).

Kompostlaştırılacak atık kütleindeki su muhtevası, maksimum çürümünün gerçekleştirilebilmesi için “%40- %65” arasında olmalı, sıcaklık, “ya iki hafta boyunca en az 55°C'de veya bir hafta boyunca 65 °C'de (kapalı tesislerde 60 °C yeterlidir)” kalmalı, pH değeri de “7” de muhafaza edilmelidir. pH değeri, kompostlaştırmaya başlanmadan önce yapılan atık analizlerine göre ayarlanarak veya kimyasal/ kireç ilave edilerek istenilen değerde tutulabilir (Öztürk İ., 2014).

2.3.2.3.2. Anaerobik Çürütme Prosesi

Atığın organik kısmının oksijensiz ortamda biyolojik olarak bozunmasına anaerobik çürütme prosesi adı verilmektedir. Bu prosesin başlıca ürünü yaklaşık %64 CH₄ ve %35 CO₂'den oluşan biyogazdır. Anaerobik çürütme prosesi, ilk önceleri içerisinde askıda katı atıkların bulunduğu çiftlik atıkları, atıksular gibi sıvı atıkların arıtılması işleminde kullanılmaktaydı. Bu proses kullanılarak zamanla kentsel katı atıklar üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda oluşan biyogazdan enerji elde edilmiş ve anaerobik çürütme prosesinin ekonomik açıdan da elverişli olduğu görülmüştür (Alvarez, 2003).

Kentsel katı atıkların organik fonksiyonu 3 aşamadan meydana gelmektedir:

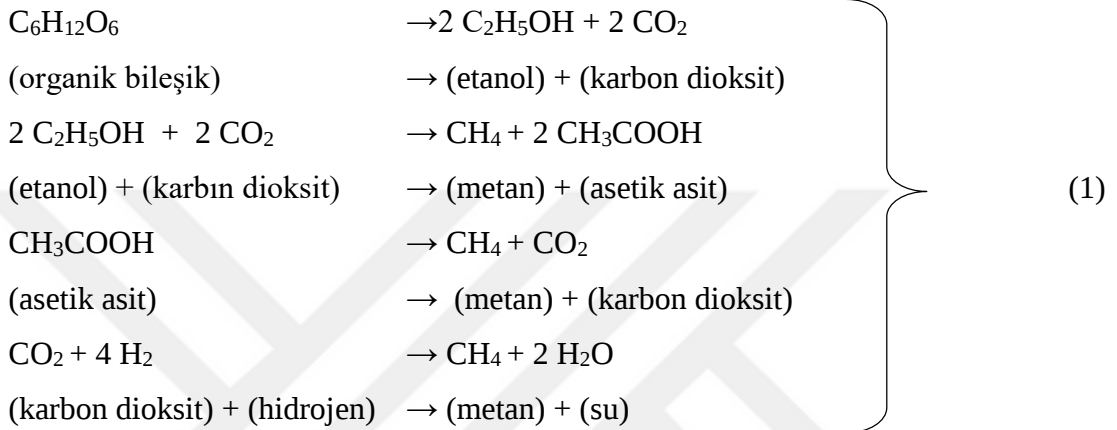
Hidroliz adı verilen ilk aşamada, yüksek molekül ağırlıklı “protein, karbonhidrat, lipitler” hidrolitik mikro organizmalar aracılığıyla “şeker, amino asitler ve yağ asitleri”ne ayrılırlar (Alvarez, 2003).

Fermantasyon adı verilen ikinci aşamada, birinci aşama sonucunda oluşmuş şeker, amino asitler ve yağ asitleri vb. bileşikler organik asitlere dönüşmektedirler. Anaerobik

çürütmenin bu aşamasında literatürde asetojenler veya asit yapıcı bakteriler olarak da adlandırılan mikroorganizmalar (metanojenik olmayan bakteriler) tarafından yaygın olarak asetik asit oluşturulur.

Üçüncü aşamada ara ürünler olan hidrojen ile asetik asit, “metan yapıcı” olarak adlandırılan bakteriler tarafından metan ve karbondioksit dönüştürülür. (Ostrem vd, 2004)

Anaerobik çürütme prosesi sırasında;



şeklinde reaksiyonlar meydana gelir.

Anaerobik arıtma sisteminde organik atıkların daha iyi stabilize edilebilmesi için metanojenik veya metanojenik olmayan bakterilerin belirli bir düzen içerisinde hareket etmeleri gerekmektedir. Ayrıca bu esnada çevresel faktörlerin de elverişli olması sağlanmalıdır. Çünkü bu bakteriler “pH, sıcaklık, alkalinite gibi çevresel faktörler”e karşı oldukça duyarlı olduklarından pH değeri 6,5 – 7,5 arasında olmalıdır ve pH değeri 6,2’nin altına düşmemelidir. pH değeri belirtilen aralıkta olmazsa metan bakterileri fonksiyonlarını yerine getiremezler. Ayrıca mezofilik bakteriler için optimum sıcaklık aralığı 30 – 38°C, termofilik bakteriler için ise 55 – 60°C arasında olmalıdır (Tchobanoglous vd, 1993).

2.3.2.4. Termal Bertaraf Yöntemleri

Atıkların termal olarak bertarafındaki amaç, atıktan enerji kazanımı ile atığın hacminin ve ağırlığının azaltılmasıdır. Yakılabilir kentsel katı atıkların hacmi yakma işlemiyle %85-%95 arasında azaltılabilir. Nüfus yoğunluğunun fazla olduğu alanlarda atık üretiminin artması ve deponi alanlarının sınırlı ve yetersiz olması atık yönetimiyle ilgili yeni çözüm

arayışlarını beraberinde getirmektedir. Ancak yakma teknolojisinin hava kirliliğine neden olması bu teknolojinin dezavantajlarından biridir.

Atıkların termal olarak bertaraf edilebilmesi işleminde aşağıda sıralanan hususların yerine getirilmesi zorunludur:

- Organik içerikleri termal oksidasyonla inert hale getirmek,
- Organik kirleticileri yok ederek inorganik kirleticileri konsantre hale getirmek,
- Atığın kütlesini ve hacmini azaltmak,
- Enerji kaynaklarının korunması için enerji geri kazanımı sağlamak.

Atıkların yakılması sonucu üretilen enerjinin buhar ve/veya elektrik enerjisi olarak geri kazanılması yakma tesisleri sayesinde gerçekleşmektedir. Yakma tesislerinde atığın yanması sonucunda elde edilen kızgın buhar, Şekil 18.'de görüldüğü gibi buhar türbininden geçirilerek bu sayede elektrik enerjisi elde edilmektedir. Yakma tesislerinin ilk yatırım maliyetinin yüksek olmasına, düzenli depolama tesislerinin hacminin yetersiz olmasına, depolama tesisi için uygun alan bulunamamasına ve uzak yerde yapılan depolama tesislerinin atık nakliye maliyetini artırmasına rağmen atığın yanması sonucu ağırlık ve hacminde sağlanan azalma yakma tesislerini cazip kılabilir. Ayrıca atığın yakılmasıyla oluşan taban külü ile cürufun inşaat malzemesi veya dolgu malzemesi olarak yeniden kullanılabilmesi de yakma tesislerinin olumlu sonuçları olarak değerlendirilmektedir (Öztürk İ, 2015).

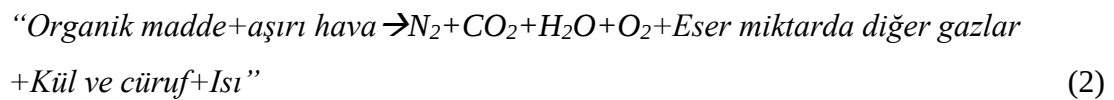
Tablo 6. Termal bertaraf yöntemleri tipik reaksiyon koşulları ve ürünler (Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration”, European Comission Integrated Pollution Prevention and Control, 2006)

	Yakma	Piroliz	Gazifikasyon
Reaksiyon Sıcaklığı (°C)	800 - 1450	250 - 700	500 - 1600
Yanma Odası Basıncı (bar)	1	1	1-45
Ortam	Hava	İnert - Azot	O ₂ ,H ₂ O
Stokiyometrik Hava Oranı	> 1	0	< 1
Gaz Halindeki Ürünler	CO ₂ , H ₂ O, O ₂ , N ₂	H ₂ , CO, H ₂ O, N ₂	H ₂ , CO, CO ₂ , CH ₄ , H ₂ O, N ₂
Katı Haldeki Ürünler	Kül, Cüruf	Kül, Kömür	Cüruf, Kül
Sıvı Haldeki Ürünler		Piroliz Yağı, Su	

2.3.2.4.1. Yakma

Yakma tesisi; 06.10.2010 tarih ve 27721 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren Atıkların Yakılmasına İlişkin Yönetmeliğine göre; “atık kabul birimi, geçici depolama birimi, ön işlem birimi, atık besleme ve hava besleme sistemleri, kazan, baca gazı arıtım sistemleri, yakma sonucu oluşan kalıntıların düzenli depolanması ve atık suların arıtılması için tesis içinde yer alan birimler, baca, yakma işlemlerini kontrol etmek ve yakma şartlarını izlemek ve kaydetmek için kullanılan ölçüm cihazları ve sistemler de dâhil olmak üzere tesiste yer alan bütün birimleri kapsayan, ortaya çıkan yanma ısını geri kazanabilen veya kazanamayan, atıkların oksitlenme yoluyla yakılması, piroliz, gazlaştırma veya plazma işlemleri gibi diğer termal bertaraf işlemleri de dâhil olmak üzere termal yolla bertarafına yönelik her türlü sistem” olarak tanımlanmaktadır.

Katı atıklar; bertaraf edilmeleri dışında hacimsel olarak azaltılmak, enerji üretmek ve bertaraf sonrasında faydalı ürünler oluşturmak gibi amaçlar için yakılmaktadır. Yakma işlemi sırasında, organik maddeler hava ile kimyasal bir tepkimeye girdiğinden ısı ortaya çıkmaktadır. Bu durum aşağıda tırnak içerisinde verilen formülle ifade edilmektedir.



Son yıllarda depolama alanlarının azlığı, arazi fiyatlarının artışı sebebiyle uygun alan bulma sıkıntısı yaşanan ülkelerde düzenli depolama yapılamadığından yaygın olarak yakma

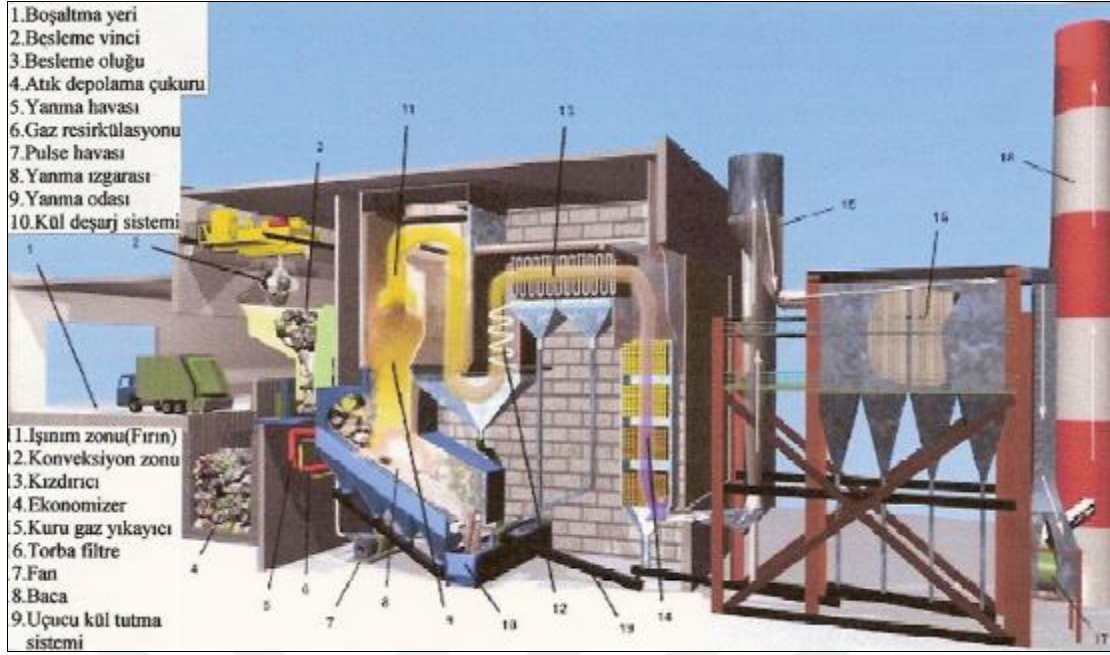
yöntemi kullanılmaktadır. Söz konusu yöntemin sürdürülebilir bir şekilde hayata geçirilebilmesi için; iyi planlanmış ve oturmuş bir entegre atık yönetim sisteminin var olması, atıkların iyi işletilen düzenli depolama tesislerinde depolanması, yanabilir özellikte ve asgari 50.000 t/yıl miktarında kentsel atığın sürekli temin garantisinin olması, yakılacak atığın ortalama ısı değeri asgari 7 MJ/kg civarında olması ve hiçbir şekilde 6 MJ/kg altına düşmemesi, halkın yakma dolayısıyla artacak atık bertaraf bedelini ödeme kapasite ve isteğinin var olması, yakma tesislerini işletecek kalifiye teknik personelinin bulunabilmesi, yakma tesisi projeleri ile ilgili asgari 15 yıl ve üzerinde bir dönem için master planlama yapılabilmesi gerekmektedir (Rand vd., 2000).

Enerji geri kazanımında atığın yakılabilmesi için en önemli faktör olan ısı değeri ortalama olarak 1600 kcal /kg değeri olmalıdır. Ülkelerin ekonomik gelir seviyelerine göre farklılık gösteren kalorifik değer, gelir seviyesi yüksek ülkelerde 2.400 kcal/kg düzeyindedir (Öztürk İ., 2010).

Ülkelerin gelişmişlik düzeyine bağlı olarak son 50 yılda evsel atıkların kalorifik değerinin yükselmekte olduğu belirlenmiştir. Linyit kömürüne eşdeğer olan atıkların kalorifik değerinin yüksekliği atıkların enerji hammaddesi olarak da kullanılabileceğinin bir yansımasıdır.

Atık yakma sistemleri sayesinde atık içerisindeki tehlikeli maddelerin yok edilecek derecede azaltılması gerçekleştirilebilmektedir. Böylece atıktaki organik karbon tamamen CO₂'e dönüştürülebilmektedir.

Aşağıdaki Şekil 19.'da da bir kesiti verilen yakma sistemlerinde atık direkt olarak ya da atığın kalorifik değerini yükseltebilmek için bir ön işlem uygulanarak yakılmakta ve enerji geri kazanımı sağlanmaktadır.



Şekil 19. Bir katı atık yakma tesisinin kesiti (Feasibility Study of Thermal Treatment Options For Waste In The Limerick, 2005)

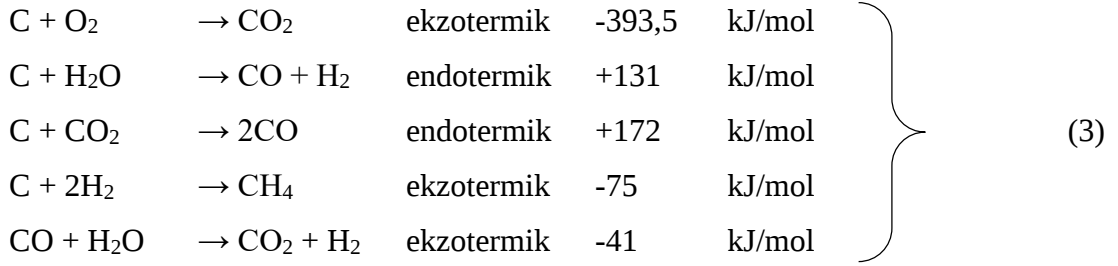
2.3.2.4.2. Gazlaştırma

Yakıtın daha az havayla yakıldığı prosese gazlaştırma adı verilmektedir. Kentsel katı atıkların hacminin azaltılmasında ve enerji geri kazanımında kullanılan bir tekniktir. Gazlaştırma sisteminde yanma sistemine göre elektrik üretim verimi daha iyi olmasına rağmen temel enerji üretimi yanma sisteminden daha düşüktür.

Gazlaştırma prosesinde atığın kısmi yanması sonucu CO, H₂ ve başta CH₄ olmak üzere bazı doymuş hidrokarbonlardan oluşan yanabilir bir gaz yakıt elde edilir. Elde edilen bu gaz yakıtın içten yanmalı motor, gaz türbini ve boylerlerde yakılması sonucunda da enerji üretilmektedir (Tchobanoglous vd., 1993).

Gazlaştırma sistemi kontrollü ve kısıtlı bir oksijen ortamında gerçekleştirildiğinden yanma sistemine göre “SO_x, NO_x ve CO” gibi tehlikeli gazların salınımını çok daha az gerçekleştirmektedir. Bundan dolayı çevre dostu bir yöntemdir. Ayrıca gazlaştırma sistemi sonucunda “%7” yakma sistemlerinde ise “%15 – 20” oranında kül oluşmaktadır (Çelik, 2005).

Gazlaştırma prosesi esnasında:

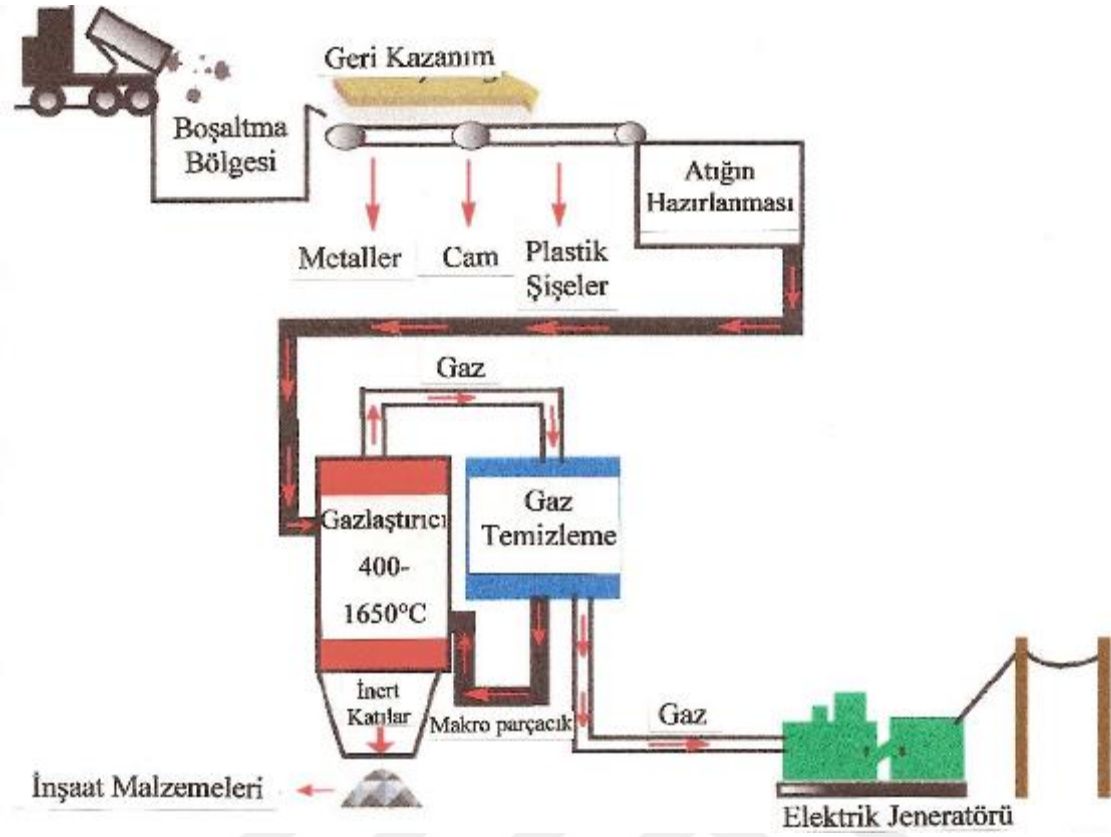


olmak üzere beş temel reaksiyon meydana gelir.

Gazlaştırma prosesi için ihtiyaç duyulan ısı, ekzotermik reaksiyonlardan sağlansa da gerçekte yanabilir bileşenler endotermik reaksiyonlar sonucunda oluşmaktadır.

Gazlaştırma sisteminin çalışabilmesi için işlenmiş katı atık kullanılacağından bu atıkların ön ayrıştırmadan geçerek yakıt haline getirilmeleri gerekmektedir. Yakıt haline getirilen bu atıklar(RDF) yaklaşık 400-1650°C sıcaklıktaki gazlaştırıcıya iletilir (Kumar, 2000).

“Dikey sabit yatak, akışkan yatak, yatay sabit yatak, döner fırın, çok odalı” olmak üzere beş çeşit gazlaştırma reaktörü bulunmaktadır. Bunlar arasında en yaygın olarak kullanılanı dikey sabit yataklı gazlaştırıcıdır. Basit tasarımlı ve ekonomik olmaları nedeniyle dikey sabit yataklı gazlaştırıcılar diğer gazlaştırıcılara oranla daha çok tercih edilmektedir. Fakat daha hassastır ve daha homojen bir yakıtı ihtiyaç duymaktadırlar. Şekil 20.’de gazlaştırma sistemi akış diyagramı görülmektedir.



Şekil 20. Gazlaştırma sistemi akış diyagramı (Akpınar, 2006)

Atıkların termal bertaraf yöntemlerinin sınıflandırılmasında piroliz, ayrı bir yöntem olarak kabul edilse de birkaç aşamadan meydana gelen gazlaştırma yönteminin safhalarından birini oluşturmaktadır. Gazlaştırma sisteminde ilk olarak nem buharlaştırılarak kurutma işlemi gerçekleştirilmektedir. İkinci olarak piroliz yöntemiyle yakıt içerisinde bulunan uçucu bileşenler, oksijensiz ve 600 derecenin altındaki sıcaklıklarda ortaya çıkarılmaktadır. Üçüncü olarak 900–1200 derecedeki sıcaklıklarda CO, CH₄, H₂, N₂ gibi düşük molekül ağırlıklı gazlar oluşmaktadır. Oluşan gaz, reaktörün üstünden alınarak mekanik gaz temizleyiciye gönderilmektedir. Dördüncü olarak, gaz soğutularak içten yanmalı motor, türbin veya boylere iletilmektedir. Son aşamada ise yüksek voltaj ve düşük ampere sahip bir elektostatik tutucu ile gaz temizlenmeli ve soğutulmalıdır.

Gazlaştırıcı içerisinde yer alan ayırma sistemi, yağ ve katranı birbirinden ayırarak reaktöre geri göndermektedir. Bu esnada atık ısı, yakıtı ön ısıtma uygulayarak yakıtın kurutulması ve neminin uygun değerlere getirilmesi işlemi için kullanılmaktadır. Gazın kalitesi gazmetreyle düzenli olarak ölçülmekte ve içten yanmalı motorlar kullanılarak gazdan elektrik üretilmektedir. Ayrıca gazın soğutulması sırasında buhar türbinleri

kullanılarak boylerlerde buhar üretilmekte ve bir başka seçenek olarak da gazdan elektrik üretimi sağlanmaktadır.

Gazlaştırma prosesinde yakıt olarak kullanılan atıkta ağırlıkça %75, hacimce %90 azalma görülmektedir. Gazlaştırma prosesinde unutulmaması gereken bir husus da işletme sırasında gaz temizleme sistemi düzenli olarak kontrol edilmediği takdirde içten yanmalı motorların zarar görecektir olmasıdır.

2.3.2.4.3. Piroliz

Katı atıkların oksijensiz ortamda termal bozunmasına piroliz adı verilmektedir. Ancak literatürde piroliz sistemi olarak bilinen birçok sistem de gerçekte gazlaştırma sistemidir. Her iki sistemde de katı atıklar gaz, sıvı ve katı ürünlere dönüştürülmektedir. Piroliz sistemlerinde oksijensiz ortamda endotermik reaksiyonların gerçekleşmesi için dışarıdan ısı sağlanırken gazlaştırma sistemlerinde ihtiyaç duyulan ısı, sistem içerisinden sağlanmaktadır.

Isı vererek gerçekleşen yanma ve gazlaştırma proseslerine karşı piroliz prosesi ısı olarak gerçekleştiğinden piroliz için “kuru damıtma” (destructive distillation) ifadesi de kullanılmaktadır (Tchobanoglous vd., 1993).

Piroliz prosesi sonucu; atığın organik özelliklerine bağlı olarak esasen hidrojen, metan, karbon monoksit, karbon dioksit ve diğer gazlardan oluşan bir gaz akımı, asetik asit, aseton, metanol ve kompleks hidrokarbonları içeren bir katran veya yağ akımında oluşan sıvı fraksiyon (Ek prosesler uygulanarak sıvı fraksiyon fuel oil No.6 yerine sentetik bir fuel oil olarak kullanılabilir), saf karbon ve katı atıkta bulunan sert materyallerden oluşan kömürleşmiş katı artı (char) olmak üzere başlıca üç fraksiyon oluşmaktadır.

Ürün fraksiyonlarının dağılımı sıcaklığa bağlı olarak değişkenlik gösterdiğinden pirolitik yağların enerji miktarı yaklaşık 20933 kJ/kg, maksimum gazlaştırma şartları altında oluşan gazın enerji miktarının da yaklaşık 2607 kJ/m³ olacağı tahmin edilmektedir.

2.3.2.4.4. Termal Yöntemlerin Kıyaslanması

Yakma sistemine oranla daha düşük nem ve su muhtevalı atıklar ile çalışan gazlaştırma sistemlerinde diğer termal yöntemlere göre daha fazla enerji üretmek mümkündür. Ayrıca gazlaştırma sistemlerinde düşük miktarda oluşan atık gaz, kullanılması gereken hava kirliliği

kontrol sistemlerinin daha küçük kapasitelerde olmasını sağlamakta ve bu durum gazlaştırma sistemini yakma sistemine göre daha ekonomik hale getirmektedir. Gazlaştırma işlemi sonucunda oluşan külün inert yapıda olması bu sistemin bir diğer avantajıdır. Dolayısıyla yakma prosesi sonucunda oluşan kül için tehlikeli atık bertaraf yöntemlerine ihtiyaç duyulurken gazlaştırma sisteminde buna gerek kalmamaktadır.

Gazlaştırma sistemleri yakma sistemlerine oranla evsel atık bertarafında daha az kullanılmaktadır. Bunun sebebi atık bertaraf, besleme koşullarının yakma sistemine göre daha kompleks yapı içermesidir. Dolayısıyla bu kompleks yapının işletilmesi istenilen düzeyde olmadığı takdirde gazlaştırma sisteminin, yakma sistemine oranla daha fazla sorun oluşturması muhtemeldir (Tarakci, 2018).

Daha çok tercih edilmelerine rağmen yatırım ve işletme maliyetinin yüksek olması, işletilebilirliğinin karmaşık olması ve deneyimli personel gerektirmesi ile işletme emniyeti hakkında genelde halkın ciddi endişeler taşıması yakma sistemlerinin başlıca dezavantajlarını oluşturmaktadır. Gelişmekte olan ülkelerde, kentsel katı atıkların su oranının çok yüksek olması ve kalorifik değerinin de göreceli olarak düşük olması ek yakıt ihtiyacı doğurduğundan yakma yönteminin işletme maliyetini artırmaktadır. Bundan dolayı yakma işlemi, büyükşehirler dışında uygulanma imkânı oldukça düşük bir teknoloji olarak görülmektedir (Türkiye Belediyeler Birliği, 2016).

2.4. Düzenli Depolama Sahalarında Depo Gazı Oluşumu

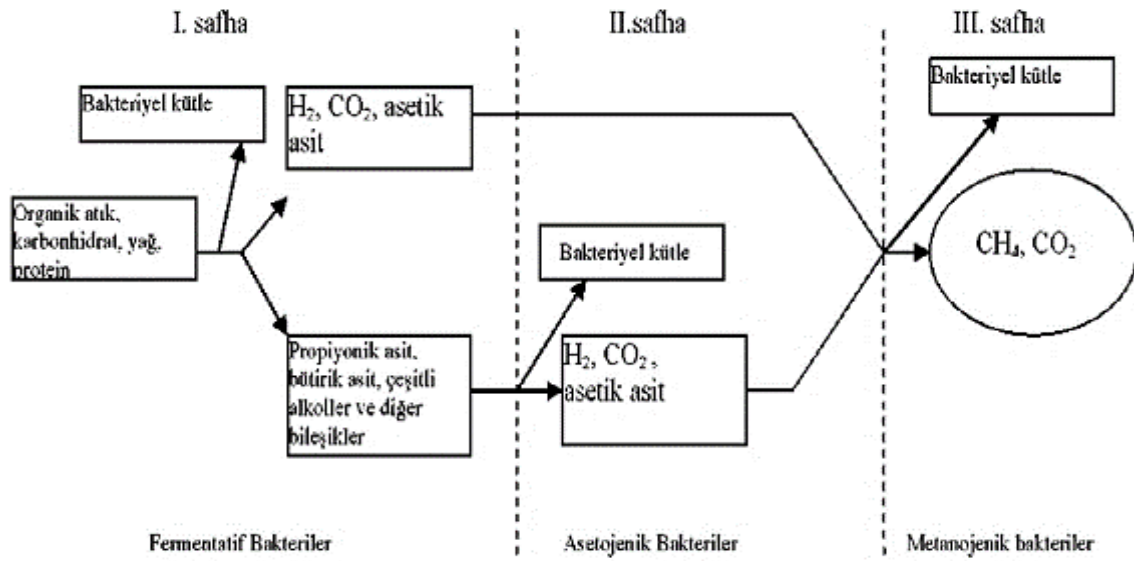
Depolama sahalarında depolanarak fiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak üç çeşit bozunmaya uğrayan katı atıkların sızıntı suyunun atık içerisinde geçerken atığın yapısında oluşan bozunma fiziksel, materyallerin sızıntı suyunda çözünmesi ise kimyasal bozunma, atığın ana mekanizmasının bozunması ise biyolojik bozunma olarak adlandırılır. Atığın pH'ını ve redoks potansiyelini etkileyen ve metan gazı üretilen tek proses olan biyolojik bozunma, kimyasal ve fiziksel bozunmayı kontrol eder (Tchobanoglous vd, 1993).

Biyolojik süreçler, katı atığın depolama alanına bırakılmasını takiben içerdiği organik maddelerin biyolojik olarak değişim ve dönüşüme uğradığı süreçlerdir. Bu süreçler hidroliz, asit oluşumu ve metan oluşumudur. Çöpler depolama alanlarına ilk olarak bırakıldığında ortamda oksijen bulunur dolayısı ile aerobik ayrışma gerçekleşir. Aerobik ayrışma sonucunda karbondioksit ve su oluşur. Aerobik ayrışma sırasında ortaya çıkan kokunun

sebebi ise ortamda organik esterlerin yer almasıdır. Aerobik ayrışma süreci ortamdaki oksijen bitinceye kadar sürer (Özcan, 2009).

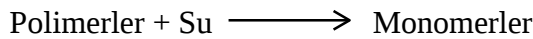
Bu aşamadan sonra katı atık deponi alanları; biyokimyasal reaktör görevini üstlenirler. Anaerobik çürüme işlemi; organik atıkların oksijensiz ortamda biyokimyasal reaksiyonlarla ayrıştırılmasıdır (Sezgin vd., 2003).

Organik maddelerin anaerobik ayrışma süreci Şekil 21.'de verilmiştir.



- Hidroliz

Anaerobik parçalanmanın ana adımlarından biri hidrolizdir.



Yukarıdaki denklemden de anlaşılacağı gibi en basit anlamda hidroliz, polimerlerin monomere dönüşürülmesi işlemidir. Kompleks polimerlerin, mikroorganizmaların salgıladıkları hücre dışı enzimler vasıtasıyla yapı taşlarına parçalanması ve hücre zarından geçebilecek boyutlara ulaştırılması işlemi Hidroliz olarak tanımlanmaktadır. Hidroliz sonucu oluşan moleküllerin amacı; hücre içerisinde enerji elde etmek ve hücrel bileşenler oluşturmaktır (Öbekcan, 2014).

- Asit oluşumu

Hidroliz aşamasıyla daha basit yapılı ve daha çözünabilir duruma gelen moleküller bu aşamada, anaerobik bakteriler tarafından karbondioksit, hidrojen, asetik asit ve uçucu yağ asitleri gibi daha da küçük yapılara dönüştürülürler (Kankılıç ve Topal, 2015). Hidroliz

sonucu oluşan uçucu yağ asitleri bu aşamada araya giren bir grup asetojenik (asit üreten) bakteri tarafından asetik asit ve hidrojene dönüştürülür.



Başka bir grup asetojenik bakteri de yine hidroliz sonucu açığa çıkan karbondioksit ve hidrojeni bu aşamada yukarıdaki dönüşüme oranla daha az olan miktarlarda asetik asite dönüştürmektedir (Öbekcan, 2014).



- Metan oluşumu

Anaerobik ayrışmanın son bölümünde metanojenik (metan üreten) bakteriler araya girmektedir. Bu safhada bir grup metanojenik bakteri karbondioksit ve hidrojeni metan ve suya dönüştürürler.



Başka bir kısım bakteriler ise asit oluşumu fazında ortaya çıkan asetik asidi yukarıdaki üretime oranla daha fazla olan miktarlarda (yaklaşık %70) metana dönüştürerek, metan ve karbondioksit açığa çıkarırlar.



2.4.1. Depo Gazı Bileşenleri ve Özellikleri

Düzenli depolama sahalarından oluşan gaz içerisinde 170'ten fazla bileşik olsa da kontrol altına alınmadığında çevre ve insan sağlığı açısından önemli sorunlar ortaya çıkabilecek olan CH_4 ve CO_2 daha fazla bulunur. Bundan dolayı depo gazları içerisinde bulunan bileşenlerin değerlendirilip kontrol altında tutulması gerekmektedir (Öztürk M., 2018).

Tipik depo gazı bileşenleri ve hacimsel oranları Tablo 7.'de, iz bileşenleri ve konsantrasyonları ise Tablo 8.'de verilmiştir.

Tablo 7. Tipik depo gazı bileşenleri ve hacimsel oranları (Özçakıl, 2001)

Bileşen	Kimyasal Formül	Hacim %
Metan	CH ₄	47,4
Karbondioksit	CO ₂	47,0
Su buharı (25 °C’de)	-	3,0
Parafin hidrokarbonlar	-	0,1
Aromatik-siklik hidrokarbonlar	-	0,2
Hidrojen	H ₂	0,1
Hidrojen sülfür	H ₂ S	0,01
Karbon monoksit	CO	0,1
İz bileşenler	-	0,5

Tablo 8. Depo gazı bileşen ve konsantrasyonu (Bilgili, 2002)

Bileşen	Konsantrasyon (ppb)	Bileşen	Konsantrasyon (ppb)
Metanetiöl	100-44000	Terpen	100-1000
Benzen	1800-32000	Dimetilsülfit	10-1600
Trikloroetan	250-13000	Trikloroflormetan	150-150000
Etilbenzen	1-6300	Klorotriflormetan	10-2300
Diklorometan	100-260000	Kloroetan	1000-104000
Vinil klorid	500-120000	Diklorobenzen	10-26000
Pentilbenzen	100-300	Klorotoluen	1-10
Diklofloretilen	100-12000	Naptalen	10-100
Sülfürdioksit	10-5000	Metilstiren	10-3100
Dikloroetan	100-35000	Perkloroetilen	100-62000
Trikloroetan	100-60000	Dimetilsülfit	100-15000
Tetrakloroetan	600-70000	Dikloroflormetan	800-24000
Toluen	20-500000	Diklorometan	60-260000
Propil benzen	1000-25000	Tetrakloroeten	15-70000
Bütil benzen	1000-25000	Klorobenzen	100-11000
Stiren	0,5-10	Ksilen	500-115000
Karbonditetraklorid	100-2100	Etilbenzen	100-61000
Sikloheksan	10-3200	Dietileter	1-6000

Önemli bir enerji kaynağı olan renksiz ve kokusuz metan (CH₄) gazı, hacim olarak depo gazının %50-55’ini oluşturur. Depo sahasındaki sıcaklık aralığına bağlı olarak CH₄ gazının yoğunluğu 0,6-0,7 kg/m³ arasında değişir.

Renksiz, kokusuz, yanıcı ve zehirli bir gaz olmayan, depo gazı içerisindeki diğer önemli bir gaz da karbon dioksit (CO₂)’dir. Solunum sisteminde oksijenin yerini alan ve havadan daha ağır olan CO₂, insan sağlığı için tehlike arz etmektedir. Yoğunluğu yaklaşık 1.8 kg/m³ olan bu gaz, “inversiyonlu” günlerde ve sabahın ilk saatlerinde depolama sahasının yüzeyinde bir sis tabakası oluşturmaktadır (Öztürk M., 2018).

Depo gazı bileşenlerinden olan diğer bir gaz da Hidrojen (H_2), organik maddenin çürümeye başladığı safhada oluşmaktadır. Hafif, patlayıcı ve yanıcı bir özelliğe sahip olan H_2 gazı, hava içerisinde hacim olarak “%4-7” oranında bulunmaktadır.

Azot(N_2) ve oksijen (O_2) gazları, depo gazında sadece havanın depolanan atığın içine girmesi sonucu ortaya çıkmaktadır. N_2 gazı, inert bir maddedir ve metanın yanıcılığı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir.

Hidrojen sülfür (H_2S) gazı, yüksek miktarda zehirlidir. Yanıcılık özelliği gösteren bu gazın içerisindeki sülfür (S) keskin bir koku taşımaktadır.

Depo gazı içerisinde bulunan karbon monoksit (CO) gazı, renksiz, kokusuz ve yüksek zehirliliğe sahiptir (Akpınar, 2006).

Aşağıdaki Tablo 9.’da depo gazı bileşenlerinin fiziksel özellikleri verilmiştir.

Tablo 9. Depo gazı bileşenlerinin fiziksel özellikleri (Gendebien and Commission of the European Communities, 1992).

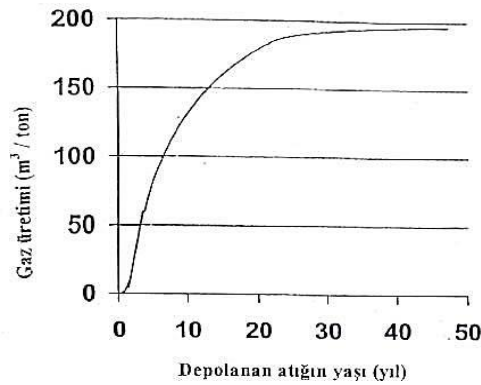
Gaz	Formül	Birim ağırlık (kg/m ³)	Kritik sıcaklık (°C)	Havadaki Tutuşma aralığı alt/üst (hac.%)	Yanma hızı (m/s)	Minimum tutuşma enerjisi (MJ)	Tutuşma sıcaklığı (°C)	Su çözünürlüğü (g/l)	Özellikler
Metan	CH ₄	0,717	-82,5	5/15	0,4	0,6-0,7	600	0,0645	Kokusuz, renksiz,zehirsiz
Karbon Dioksit	CO ₂	1,977	31,1	-	-	-	-	1,688	Kokusuz, renksiz,düşük kons.zehirsiz
Oksijen	O ₂	1,429	-118,8	-	-	-	-	0,043	Kokusuz, renksiz,zehirsiz
Azot	N ₂	1,25	-147,1	-	-	-	-	0,019	Kokusuz, renksiz,zehirsiz yanıcı değil
Karbon Monoksit	CO	1,25	-139	12,5/74	0,5	-	600	0,028	Kokusuz, renksiz,zehirli,
Hidrojen	H ₂	0,09	-239,9	4/74	2,8	0,05	560	0,001	Kokusuz, renksiz,zehirli değil,yanııcı
Hidrojen Sülfür	H ₂ S	1,539	100,4	4,3/45,5	-	-	-	3,846	Renksiz,zehirli
Hava		1,29	-	-	-	-	-	-	Kokusuz, renksiz,zehirli değil,yanııcı değil

Gaz oluşumu ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde kullanılabilecek depo gazı üretiminin, depo alanının fiilen işletildiği dönem süresince ve depolama tamamlandıktan sonraki 10-20 yıl boyunca da üretimin devam edeceğini göstermektedir.

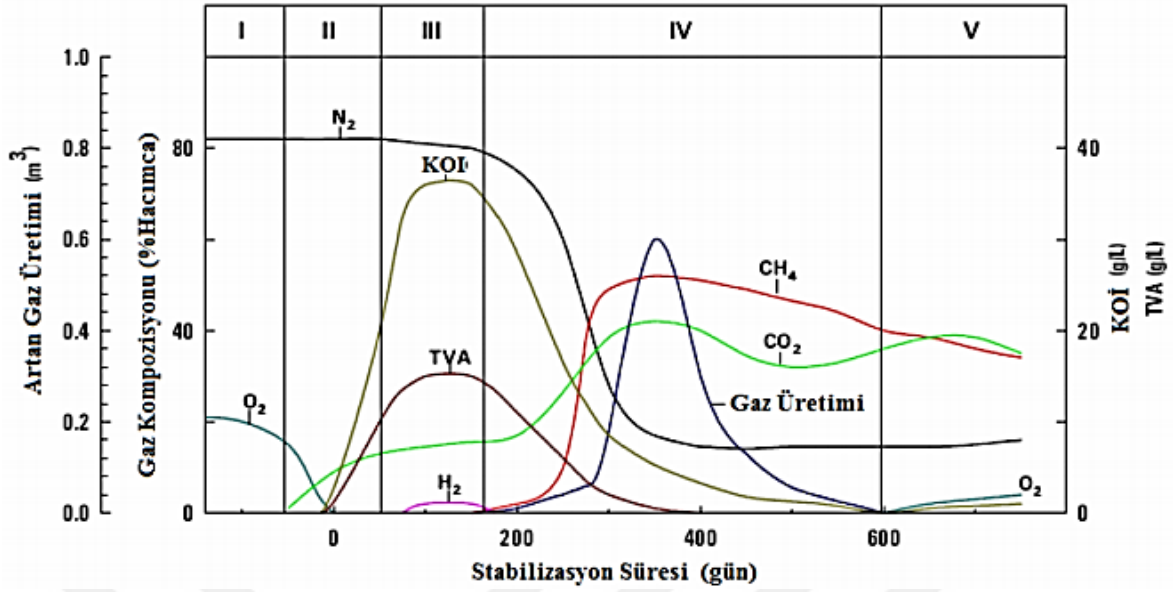
Depolama gazının kalitesi ve oluşum hızı aşağıda sıralanan koşullara göre farklılık göstermektedir:

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

Depolama sahasında bertaraf edilen evsel atığın her bir tonu için yaklaşık 170 m³ depolama gazı oluşmaktadır. Bu gazın %60'ı atık depolandıktan sonraki 10 senede oluşurken bu oranın 15-20 yıl içinde %90 seviyesine ulaşabildiği görülmektedir. Evsel atık için toplama sistemli gaz üretim modelinin yıllara göre değişimi Şekil 22.'de verilmiştir (Kiriş ve Saltabaş, 2011).



Şekil 22. Evsel atık için toplama sistemli gaz üretimi modeli



Şekil 23. Deponi alanlarında depo gazı oluşum eğrileri (Öztürk M., 2008)

Atıkların biyolojik ayrışması 5 safha olarak sınıflandırılmış olup Şekil 23.'te de gösterildiği gibi bu safhalar her zaman sırayla gerçekleşmeyebilir ve bazıları da aynı anda meydana gelebilir.

2.4.2. Depo Gazı Oluşum Aşamaları

2.4.2.1. Faz I (Başlangıç Aşaması)

Faz I aşamasında atıklar içerisindeki biyobozunurluk, atığın depolanmaya başlanmasıyla birlikte saha içerisindeki su muhtevasının artmasına bağlı olarak gerçekleşir. Bu aşamada biyolojik bozulma aerobik koşullarda meydana gelir.

Faz I aşamasının en belirgin özelliğini atıkların depolandığı sırada atmosferden gelen O₂ oluşturur. Atık içerisindeki biyobozunur atık maddeler reaksiyona girebilmek için yüksek miktarda O₂'e ihtiyaç duyduklarından kısa bir süre sonra gaz fazındaki O₂ tamamen tükenir. Aynı zamanda bu fazda, tüketilen O₂ ile orantılı olarak CO₂'de üretilir. Öte yandan azot (N₂) gazı miktarında küçük bir azalma görülür. Bu fazda çok fazla ısı üretildiğinden depo gövdesinin sıcaklığı 60-70 °C'ye kadar çıkabilir (Öztürk M., 2018).

Yeni kapatılan bir depo alanındaki başlıca gaz ve zaman dağılımı ile ilgili veriler tipik olarak Tablo 10.'da gösterilmiştir (Tchobanoglous vd., 1993).

Tablo 10. İlk 48 ay boyunca depo gazı dağılımı

Hücrenin kapatılmasından sonraki zaman aralığı (ay)	Ortalama Hacim Olarak Yüzde		
	Azot (N ₂)	Karbondioksit (CO ₂)	Metan (CH ₄)
0-3	5,2	88	35
3-6	3,8	76	21
6-12	0,4	65	29
12-18	1,1	52	40
18-24	0,4	53	47
24-30	0,2	52	48
30-36	1,3	46	51
36-42	0,9	50	47
42-48	0,4	51	48

2.4.2.2. Faz II (Geçiş Fazı)

Bu faz oksijenin azaldığı ve anaerobik koşulların gelişmeye başladığı fazdır. Depo alanı anaerobik olmaya başladığında biyolojik dönüşüm reaksiyonlarında elektron alıcısı olarak görev yapan nitrat ve sülfat genellikle hidrojen sülfür ve azot gazına dönüşür (Tchobanoglous vd., 1993). Yani bu safhada oksijen ihtiyacı nitrat ve sülfattan karşılanır. Bu safhaya, atığın depolanmasından sonraki 11-40 gün içerisinde çevre ve depolama şartlarına bağlı olarak ulaşılabilir.

2.4.2.3. Faz III (Asit Oluşum Fazı)

Asit fazı olarak bilinen faz III' de faz II'de başlayan bakteriyel aktivite önemli miktarda organik asit ve daha az miktarda hidrojen gazının üretimini içerir.

Faz III sırasında ortaya çıkan asit nedeniyle, depo alanlarındaki sıvının pH'ı düşer. Eğer asit ya da organik asit oluşmuşsa sızıntı suyunun pH'ı genellikle 5' in altına düşer bu da depo alanı içerisindeki CO₂'in konsantrasyonunu yükseltir. Biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ₅), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ve sızıntı suyunun iletkenliği sızıntı suyundaki organik asitlerin çözünmesi nedeniyle faz III sırasında önemli oranda artar. Ayrıca sızıntı suyunun düşük pH'ı nedeniyle çok sayıda inorganik oluşum ve ağır metaller Faz III sırasında çözülür. Birçok temel nutrient faz III sırasında sızıntı suları ile uzaklaşır. Eğer sızıntı suyunun geri devri gerçekleştirilmezse temel besin maddeleri sistemden uzaklaşmış olur. (Tchobanoglous vd., 1993).

Ayrışmanın tamamlanmasında yerel şartlardan kaynaklı değişkenlikler ayrışma süresini etkiler. Bundan dolayı üçüncü safha 200-500 gün arasında tamamlanır (Öztürk M, 2018)

2.4.2.4. Faz IV (Metan Fermantasyon Fazı)

Metan fermantasyon fazı olarak bilinen Faz IV’de asit fazında asit yapıcılar tarafından oluşturulan hidrojen ve asetik asiti metan (CH_4) ve karbondioksit (CO_2)’e dönüştüren ikinci grup mikroorganizmalar baskın hale gelir. Bazı durumlarda bu mikroorganizmalar Faz III’ün sonuna doğru gelişecektir. Bu dönüşümden sorumlu olan bakteriler anaeroblardır ve metanojen bakterileri olarak adlandırılır. Faz IV’de eş zamanlı olarak asit fermantasyon oranı önemli derecede azalmasına rağmen hem metan hem de asit fermantasyonu devam eder.

Asit yapıcılar tarafından üretilen hidrojen gazı ve asit, Faz IV’ de CO_2 ve CH_4 ’e dönüştürüldüğü için sızıntı suyunun pH’ı 6,8 ve 8 arasında daha çok nötr derecesindedir. Olayın gerçekleşmesi sırasında sızıntı suyunun pH’ı yükselirken BOİ , KOİ ve iletkenlik düşer. Yüksek pH’lı inorganik bileşik çözülmesinin bir sonucu olarak sızıntı suyundaki mevcut ağır metal konsantrasyonunda düşmüş olacaktır (Tchobanoglous vd., 1993).

Bu fazda depo gazı basıncı havanın depolanan atığın içerisine sızmasını engelleyecek seviyededir. Gaz miktarının azalmaya başlamasıyla birlikte bu aşama ortalama olarak 10-20 yılda tamamlanır. Bu aşamanın uzun sürmesinin nedeni atık içerisindeki organik katı maddelerin sıvı hale geçişlerinin yıllarca devam etmesidir.

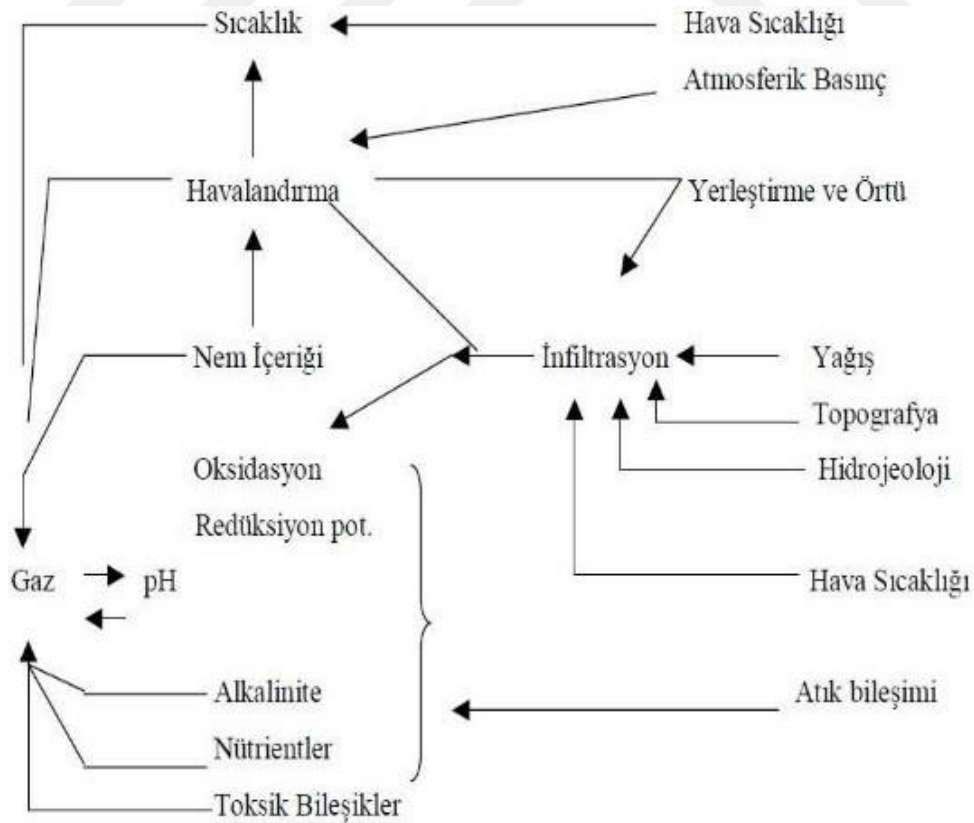
2.4.2.5. Faz V (Olgunluk Fazı)

Olgunluk fazı olarak bilinen Faz V, biyobozunur organik maddelerin Faz IV’de CO_2 ve CH_4 ’e dönüştürülmesinden sonra meydana gelir. Nemin atık vasıtasıyla girişi devam ettiği için daha önceden mevcut olmayan biyolojik olarak çözünebilir kısımlar dönüşmüş olacaktır. Depo gazı üretim oranı Faz V’de önemli derecede azalır. Çünkü mevcut nutrientlerin çoğu önceki aşamalar sırasında sızıntı suyu ile uzaklaşmış ve depo alanında kalan substratlar yavaş bir şekilde bozunmuştur. Faz V aşamasında safhalar halinde meydana gelen depo gazı CO_2 ve CH_4 ’dür. Depolama alanın kapatılma önlemlerine bağlı olarak çok

az miktarda azot ve oksijen depo gazı içerisinde bulunabilir. Olgunluk fazı sırasında sızıntı suyunun yüksek konsantrasyonda humik asit ve fülvik asit içermesi sebebiyle daha sonraki prosesleri biyolojik olarak zorlaştırır (Tchobanoglous vd, 1993). Bir başka deyişle, metan oluşum fazı olarak bilinen Faz V, katı atığın içerisindeki organik maddelerin stabilizasyonunun son basamağıdır (Zaher vd., 2007). Başlangıçtaki atmosferik şartlara geri dönmüş olur.

2.4.3. Depo Gazı Oluşumunu Etkileyen Faktörler

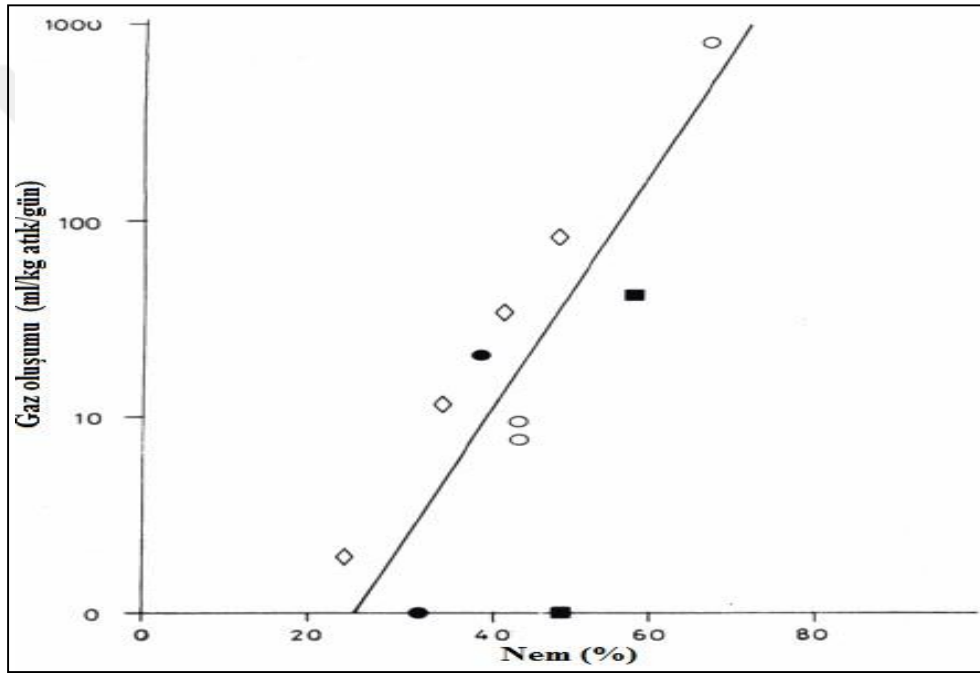
Biyobozunur madde muhtevasına bağlı olarak oluşan depo gazının miktarı her depolama sahasında farklılık göstermektedir. Çünkü metan gazı üretimi birçok çevresel faktörden etkilenmektedir. Diğer taraftan Şekil 24.'te görüleceği gibi atık stabilizasyonunda ve CH_4 oluşumunda; "oksijen, hidrojen, pH, alkalinite, besi maddeleri (nutrientler), inhibitörler, sıcaklık ve su muhtevası" gibi abiyotik faktörler ile atık bertarafında kullanılan farklı tekniklerin de etkisi oldukça fazladır.



Şekil 24. Gaz oluşumunu etkileyen faktörler (McBean vd., 1995)

2.4.3.1. Nem İçeriği

Düzenli depolama sahasında depolanan atığın su muhtevası ile besin maddesinin miktarı, atığın bozulması ve gaz oluşumu için en önemli parametreler olarak değerlendirilir. Nutrientlerin ve bakterilerin taşınması için bir vasıta olarak görev yaptığı için ve gaz oluşumu için ihtiyaç duyulan anaerobik ortamı yarattığından, atık ayrışması ve gaz oluşumunda çok önemli bir faktördür. Şekil 25.'te deponi gazı üretim hızı ile deponi alanlarındaki nem içeriği arasındaki ilişki verilmiştir.



Şekil 25. Depo gazı üretim hızı ile nem muhtevası arasındaki ilişki (Işık, 2014)

Atıklarda deponi alanına ilk bırakıldıklarında %30-40 oranlarında nem içeriği bulunmaktadır. Neme doymuş atıklarda çoğunlukla metan ve karbondioksit üretilir. Neme doymamışlardan ise çoğunlukla H_2 oluşturulur. Deponi sahasından optimal seviyede metan gazı oluşumunun elde edilmesi için atıklar suya doymun olmalıdır. Deponi alanlarında biyokimyasal tepkimelerin devamlılığı için nem içeriği denetlenmeli, istenilen aralıktan alt seviyelere indiğinde ise sızıntı suyu deponi alanı içine geri devir yaptırılmalıdır. Çünkü deponi alanında nem yeterli olmadığında biyokimyasal tepkimeler son bulur ve metan gazının oluşumu düşer (Işık, 2014).

2.4.3.3. Nutrientler (Besi Maddeleri)

Anaerobik mikroorganizmalar için gerekli olan “sülfür, kalsiyum, magnezyum, potasyum, demir, çinko, bakır, molibden ve selenyum” gibi mikronütrientlerin tamamı neredeyse depolama sahalarının tümünde bulunmaktadır.

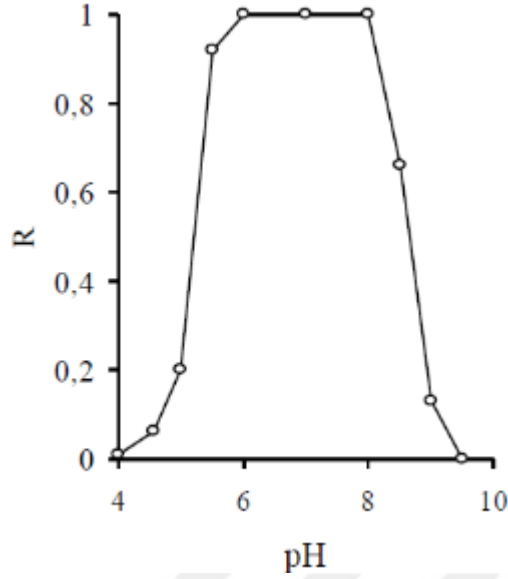
Ancak bazı besinlerin sadece yeterli miktarda değil belirli miktarlarda olması gerekmektedir. Daha kolay kullanılan besinlerin miktarı fazlalaştıkça gaz üretim oranı artarken, bakteriler için kullanımı zor olan besinlerin fazla olması durumunda daha düşük oranda gaz üretimine neden olurlar. Örneğin ağır metaller gibi birçok zehirli madde bakteri büyümesini geciktirdiğinden gaz üretimini yavaşlatabilir (McBean vd., 1995).

Anaerobik proseslerde substratın yalnızca küçük bir bölümü yeni hücreler vasıtasıyla özümleendiğinden aerobik süreçlerden bir hayli az oranlarda azot ve fosfora ihtiyaç duyulur. Gazın meydana gelmesinde organik maddeler için 100, azot için 0,44 ve fosfor için 0,88 optimal oran belirlenmiştir. Ancak azot: fosfor oranından daha önemli olan karbon: azot oranıdır. Bu oranın 25-30 arasında olması gerekir. 30'dan fazla olursa ortamda asitleşme hızlı olacağından düşük pH oluşumu gözlenir. 20'den küçük olursa amonyak oluşumu fazla olur ve yüksek pH gözlenir. (Solak, 2015).

Genelde endüstriyel ve evsel atıkların beraber depolandığı depolama alanlarında fosfor ve azot sınırlayıcı olmamakla birlikte, ayrı ayrı depolandıkları alanlarda nutrient oranının sınırlandırılmasına neden olabilmektedir. Anaerobik ayrışma prosesini sınırlandıran en önemli nutrientin fosfor olması ciddi bir sorundur. Bu sorunun çözümü, düzenli deponi alanlarında %65 katı madde muhteva eden suyu alınmış arıtma çamurlarının günlük örtü tabakası olarak kullanılmasıdır (Solak, 2015).

2.4.3.4. pH ve Alkalinite

Metan (CH_4) oluşumunu sağlayan bakteriler pH 6-8 aralığında faaliyet gösterirler. pH değerinin belirtilen aralığın altına düşmesi, CH_4 bakterileri üzerinde toksik etkisine neden olur. pH değerlerinin nötr olması durumunda ise atık ayrışma proseslerinin daha hızlı gerçekleştiği gözlemlenir. (Christensen ve Cossu, 1998). Şekil 27.'de farklı metanojen kültürlerinin karışımı için pH'a bağlı olarak CH_4 üretim oranları (R) verilmiştir.



Şekil 27. Anaerobik filtrede pH'ın rölatif CH₄ oluşum hızı (R) üzerine etkisi (Öztürk, 2018)

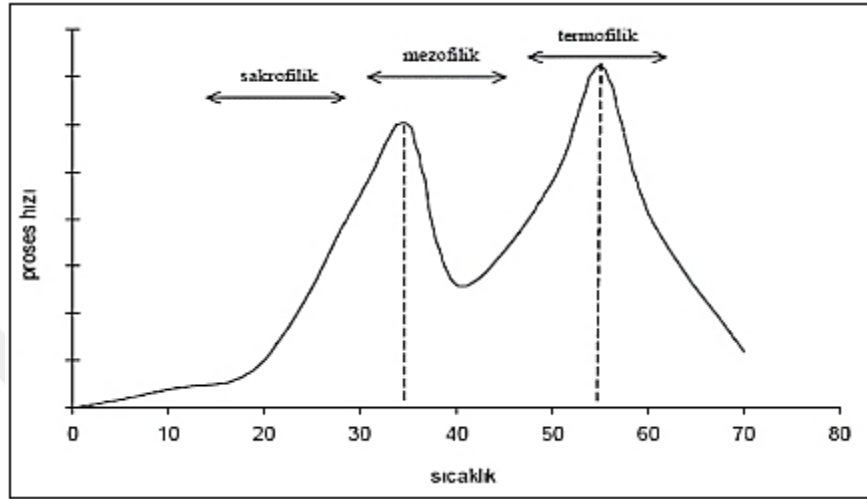
Depolama alanlarındaki pH değişimine alkalinite, organik asit üretimi, metan oluşumu, endüstriyel atıkların varlığı ve yeraltı suyu infiltrasyonu etki edebilir (Saltabaş ve Yalçın, 2004-depo gazı örnek uygulama).

Düşük alkalinite değerine sahip ortamlardaki asitler, pH değerini düşürerek anaerobik ayrışmayı durdurabilirken, yüksek alkaliniteye sahip ortamlar ise düzensiz şekilde seyreden pH değişimlerine karşı sistemi korumaktadır. (Öztürk M., 2018)

2.4.3.5. Sıcaklık

Bir depo alanının içindeki sıcaklık baskın olan bakteri tiplerini ve gaz üretim seviyesini etkiler. Anaerobik parçalanmayı gerçekleştiren metan bakterileri mezofilik ve termofilik olmak üzere iki gruptan oluşur. Mezofilik bakteriler için uygun sıcaklık aralığı 30 °C ile 40 °C iken termofilik bakteriler için uygun sıcaklık 45 °C ile 65 °C arasındadır. Termofilik bakteriler genellikle daha yüksek oranda gaz üretimi yapmasına rağmen çoğu depo alanında sıcaklık anında mezofilik aralıkta bulunur. Termofilik sıcaklık aralığından daha yüksek sıcaklıklarda, kinetik etkinlik ve çoğalma hızı artar. Bu da asit üreten bakterilerin daha çok asit üretmesine neden olarak sahanın dengesini bozabilir. Depo sıcaklığı genellikle aerobik mikrobiyal aktivitelerin sonucunda atık depolandıktan sonra 45 gün içinde maksimum seviyeye ulaşır. Bu yüzden depo sıcaklığı anaerobik koşullar geçtikten sonra düşmektedir.

Öte yandan sıcaklık; anaerobik ayrışmayı hem termodinamik hem de kinetik yönden etkiler. Sıcaklığın artması anaerobik sürecin verimini arttırdığından sıcaklıkla beraber parçalanma reaksiyonlarının ve mikroorganizmaların çoğalma hızı da artar (Ersoy, 2007). Şekil 28.'de anaerobik ayrışma hızının sıcaklık ile ilişkisi verilmiştir.



Şekil 28. Anaerobik ayrışma hızının sıcaklık ile ilişkisi (Ersoy, 2007)

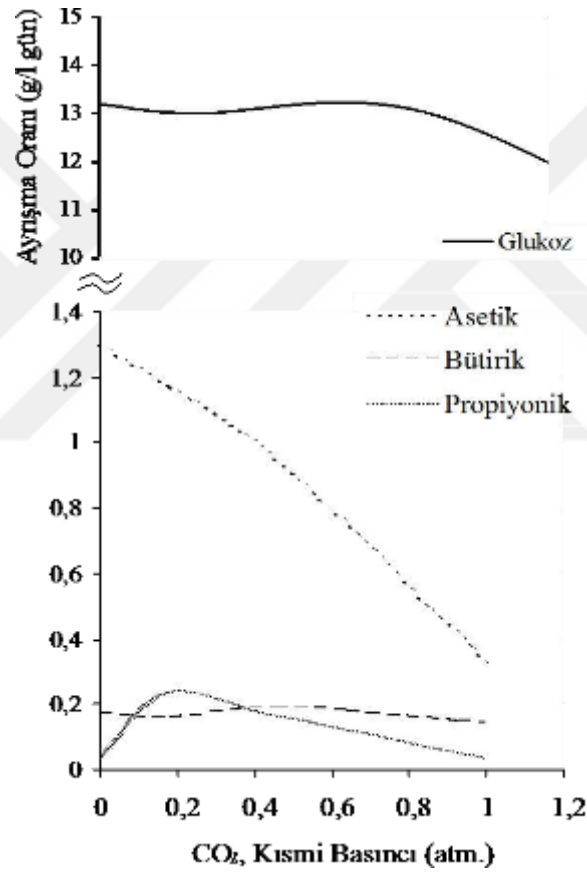
2.4.3.6. Oksijen

Metanojik bakterilerin bulunduğu ortamda ayrışma proseslerinin gerçekleşmesi içinin serbest oksijenin olmaması gerekmektedir. Metan üreten bakteriler; oksijene karşı aşırı hassas olduklarından ortamda kimyasal bağlı oksijen olması halinde dahi (NO_3 , H_2O_2 gibi) anaerobik süreçler olumsuz etkilenir.

Depolama sahasındaki atıklar yeterli oranda sıkıştırılmaz ve depolama işlemi tamamlandıktan sonra üzerleri her gün 15 cm kalınlıkta toprakla örtülmezse yağmur veya kar suları atık içine nüfuz edebilir. Bunun sonucunda da oksijenli su, atığın içine girerek atıkların aerobik bozunma sürecini etkileyebilir ve depolama sahası içerisindeki sızıntı suyu miktarını artırabilir (Öztürk M., 2018).

2.4.3.7. İnhibitörler

“O₂, H₂ ve SO₄⁻²”ın CH₄ gazının oluşumunda inhibisyon etkisi gösterdiği bilinmektedir. Asetik asit, propiyonik asit ve bütirik asitin toplam konsantrasyonlarının 6000 mg/L ’nin üzerinde olmaması gerekmektedir. Böyle bir durumda ayrışma proseslerinin çoğunda CO₂ üretileceğinden CH₄ gazının oluşumu olumsuz etkilenecektir. Şekil 29.’da CO₂’in kısmi basıncının asetik asit, propiyonik asit ve bütirik asitin ayrışma oranları üzerine etkisi verilmiştir (Öztürk M., 2018).



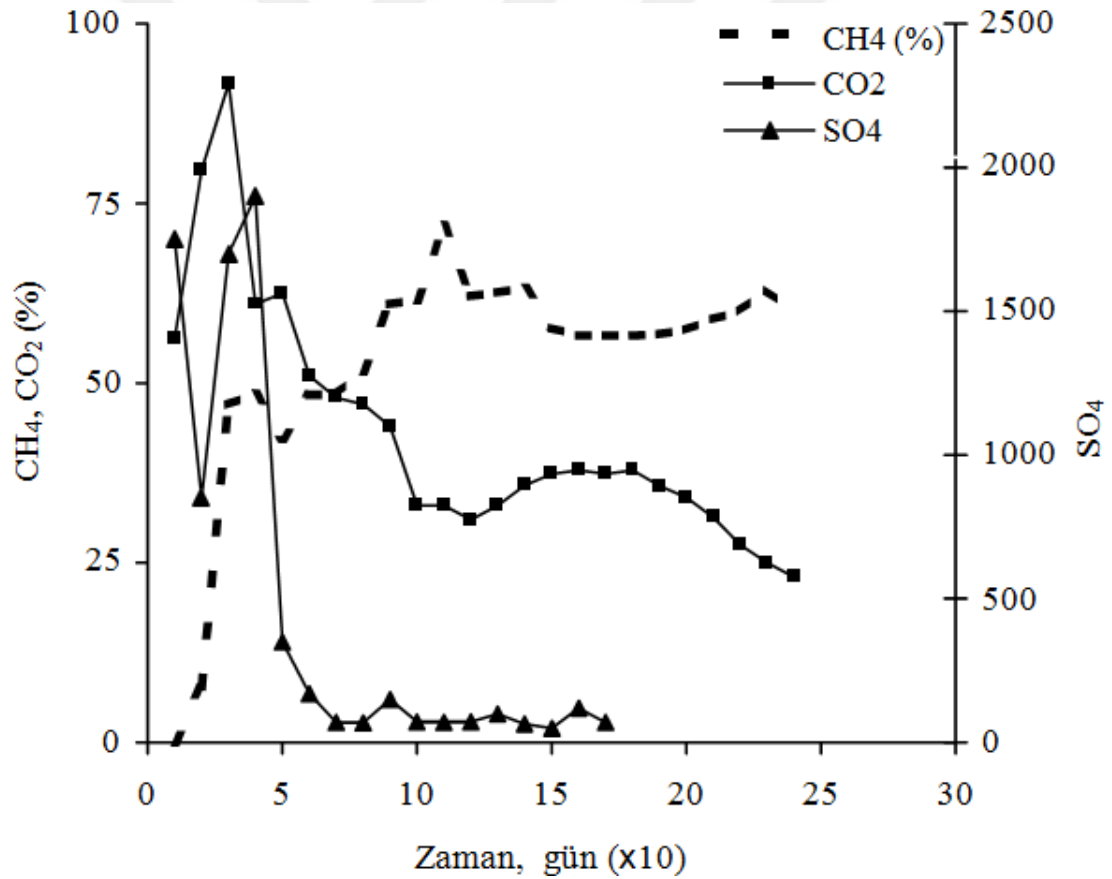
Şekil 29. CO₂’in kısmi basıncının asetik, propiyonik ve bütirik asitin ayrışma oranları üzerine etkisi (Öztürk M., 2018)

Belediyeler; tehlikeli atık içeren katı ve sıvı atıkları, mineral yağları ve tıbbi atıkları kesinlikle düzenli depolama alanlarında depolamamalıdır. Bu tür maddeler mikroorganizmaları olumsuz etkileyerek organik maddelerin bozunmasını engeller (Solak, 2015).

2.4.3.8. Sülfat

İçeriğinde sülfat bulunan atıkların düzenli deponi sahalarında depolanmaları sakıncalıdır. Çünkü deponi alanlarında sülfat konsantrasyonlarının artmasıyla birlikte sülfat indirgeyen bakteriler ortama hakim olmaya başlar, derişimi artan H_2S ise anaerobik prosesleri inhibe eder (Ersoy, 2007).

Depo gazı bileşimi ile sızıntı suyundaki SO_4^{-2} konsantrasyonlarının zamana göre değişiminin verildiği Şekil 30.'da da görüldüğü gibi, CH_4 gazı oluşumu artarken SO_4^{-2} konsantrasyonlarında azalma olmaktadır. Bir başka ifadeyle atık içindeki sülfat, hidrojen sülfüre dönüşmeden organik maddelerin metan gazına dönüşümünü engellemektedir (Öztürk M., 2018).



Şekil 30. Düzenli Depolama sahalarında sülfat ile depo gazı bileşimi arasındaki bağ (Öztürk M., 2018)

2.4.3.9. Hidrojen (H₂)

“Fermantatif ve asetojenik bakteriler” yardımıyla oluşan H₂’in basıncı, biyokimyasal tepkimeleri olumlu ya da olumsuz etkilemektedir. H₂ basıncı düşük olduğunda fermantasyon bakterileri H₂, CO₂ ve asetik asit üretirken aynı bakteriler H₂ basıncı yüksek olduğunda H₂ ve CO₂ üretirler. H₂ basıncı yüksek olduğunda propiyonik (ve bütirik) asit meydana geleceğinden bu bileşikler daha fazla ayrışmayacaktır. H₂, metanojenik ve sülfat indirgeyen bakteriler tarafından tüketilir ve 10⁻⁵ atm.’den düşük basınçlar H₂ ve CO₂’den CH₄ oluşumu için uygundur (Solak, 2015).

2.4.3.10. Dane Oyutu

Katı atığın dane boyutu azaltılarak katı atıklar daha homojen hale getirilmekte ve mikroorganizmaların organik maddelerle etkileşime giren yüzey alanları büyümektedir. Bu sayede mikroorganizmaların biyokimyasal reaksiyon hızı ve gaz üretim miktarı artmaktadır. Partikül çapı 250 mm’den 10 mm’ye düşürüldüğünde ise gaz üretim hızının 4,4 kat arttığı görülmüştür (Nastev, 1998).

Deponi alanlarında, atıklar depolanmadan önce parçalayıcı yardımıyla atıkların dane boyutu düşürülmektedir. Böylelikle atıklar daha homojen hale gelerek kolayca depolanabilmekte ve sıkıştırılabilmektedir. Atık depolamak için yer sorunu yaşanan ülkemizde depolama sahalarında böylece daha fazla atık depolanabilecek ve daha fazla gaz elde edilecektir.

2.4.3.11. Atık Kompozisyonu

Depolama sahalarında deponi gazı oluşumunu etkileyen en önemli faktörlerin başında atık kompozisyonu gelmektedir. Çünkü atığın içeriğindeki organik madde miktarı ve özellikleri, açığa çıkabilecek maksimum deponi gazı miktarını belirlemektedir. Organik madde miktarı ile deponi gazı oluşma oranı birbiri ile doğru orantılıdır. Organik maddenin oksijensiz ortamda bozunması deponi gazı oluşumunu sağlamaktadır. Hızlı bozunabilir organik atıklar ile park-bahçe atıkları vb. atıklar metan gazı oranını artırmaktadır.

2.4.4. Depo Gazlarının Çevresel Etkileri

Katı atık depolama sahalarında depo gazı yönetiminin temel amacı öncelikle depo alanında oluşan gazın çevre ve insan sağlığına olan olumsuz etkilerini en az düzeye indirmektir. Bunun haricinde metan gazının patlamasını ve depolanan atığın kayma riskini ortadan kaldırarak depo gazının enerji ve doğal gaz geri kazanımında kullanılmasını sağlamaktır. Bunun sonucunda sera gazı emisyonları da azalmaktadır.

2.4.4.1. Yangın ve Patlama Tehlikesi

Katı atık depolama sahalarında oluşan metan gazı, kontrol altına alınamadığında yangın ve patlamalara sebep olmaktadır. Metan gazının yoğunluğu deponi sahasındaki sıcaklığa bağlı olarak $0.6-0.7\text{kg/m}^3$ arasında değişmekte olup bu özelliğiyle havanın yoğunluğunun yaklaşık yarısına denk geldiğinden kolaylıkla deponi sahası dışına sızma eğilimi göstermektedir. Oluşan genel metan gazı miktarının az bir kısmı da toprağa doğru sızarak deponi sahasının içinde veya etrafındaki boşluklarda birikebilir.

Hacimce %5-15 arasındaki metan konsantrasyonlarında ve oksijen varlığında patlama riski oluşurken hacimce %15'in üzerindeki konsantrasyonlarda ise Şekil 31.'de görüleceği gibi metan gazı yanar ve dolayısıyla yangın tehlikesi ortaya çıkar. Bu tür tehlikeleri ortadan kaldırmak için metan gazının birikeceği kapalı mekânların sık sık kontrol edilerek iyi havalandırılması gerekmektedir (Özcan vd., 2005).



Şekil 31. Depolama alanlarında oluşan yangınlar (Öztürk M, 2018)

2.4.4.2. Depo Gazlarının Bitki Örtüsüne Zararları

Atık depolama işlemi tamamlandıktan sonra depolama sahaları kapatılır. Kapatılan bu sahalar; rekreasyon alanı, kültürel alan ve bazen de ticari alan olarak kullanılabilir. Ayrıca bu sahalarda oluşacak depo gazı, kontrol altına alınmadığı takdirde yoğunluk ve basınç farklılıklarına bağlı olarak yukarı doğru hareket ederek atmosfere ulaşabilir. Bunun sonucunda O₂ yer değiştireceğinden nihai örtü ile kapatılan depolama sahası üzerindeki bitkilerin kökleri, yüksek oranda CH₄ ve CO₂ gazının etkisi altında kalır.

CO₂ oranının %5'e eşit ya da düşük olduğu durumlar normal bitki gelişimi için uygundur fakat bu oranın %20'yi geçmesi halinde bitkilere zehirleyici etki gösterir (Özcan, 2009). CH₄ ise doğrudan bitki gelişimini engellemeyebilir ancak CH₄ oksidasyonu esnasında topraktaki oksijen azalır ve ısı açığa çıkar. Bu durum toprağın sıcaklığının yükselmesine yol açacağından bitki kökü havasız kalır.

Depo gazı içerisinde bulunan “amonyak, karbon monoksit ve hidrojen sülfür” gibi inorganik bileşiklerin toksit etkisi, depolama sahası üzerindeki bitki örtüsüne zarar vereceğinden “uçucu organik asitler, halo-organik bileşikler, hidrokarbonlar ve siklik hidrokarbonlar” bitkiler için yüksek oranda tehlike içermektedir (Çakır, 2012).

2.4.4.3. İstenmeyen Kokular

Amonyak, kükürtlü maddeler ve bazı metan gazı haricindeki organik karbonlu maddeler kokunun açığa çıkmasına neden olan bileşenlerdir ve kokuya yol açan iz miktardaki bileşenler toksik olabilir. Deponi alanındaki gaz oluşum fazları, atığın yaşı ve içeriğine bağlı olarak kokunun seviyesi değişkenlik gösterir. Deponi sahalarında meydana gelen kükürtlü bileşikler; merkaptanlar, (CH₃)₂S, yani dimetil sülfid ve hidrojen sülfürdür. Deponi sahalarının yakınlarında koku probleminin ana kaynağı bu kükürtlü bileşiklerdir. Deponi gazında ise bu bileşiklerden en fazla oranda hidrojen sülfür mevcuttur ve düşük konsantrasyonlarda dahi keskin bir çürük yumurta kokusu açığa çıkarır.

2.4.4.4. Yeraltı Suyu Kirliliği

Depo gazı içerisinde bulunan yüksek çözünürlüğe sahip CO₂, yeraltı suyunun pH değerini artırarak bu suları asidik yapma potansiyeline sahiptir. Ayrıca depo gazı içerisinde az da olsa bulunan zehirli gazların da hava ve yeraltı suyu kaynaklarını kirleterek çevre ve insan sağlığına ciddi zararlar verebileceği bilinmektedir.

2.4.4.5. Hava Kirliliği

Depo gazları, katı atık depolama alanlarından atmosfere yayılarak küresel ve bölgesel ölçekte hava kirliliğine yol açmaktadır. CO₂ ve CH₄' ün yanı sıra eser miktarlarda da olsa Uçucu Organik Bileşikler (UOB'ler) atmosfere karışarak hava kirliliğine neden olmaktadır. UOB'ler depo sahasında bulunan atıkların yapısında bulunabilmekle birlikte atıkların parçalanmaları sonucunda da meydana gelebilmektedir (Solak, 2015). Buna ek olarak endüstriyel atıkların evsel atıklarla birlikte depolanmasıyla UOB'leri, koku yayan maddeleri ve tehlikeli hava kirleticileri (HAPs) içeren eser miktarda bileşenler oluşur. UOB'ler ozon tabakasını olumsuz yönde etkilediği gibi kanser riskini de artırmaktadır. Ayrıca eser gazlar, metan üreten bakterilerin büyümemesi üzerinde inhibisyon etkisi yaratarak metan gazı üretimini etkileyebilmektedir. Benzen, civa, vinil klorid, tetrakloroetan, dikloroetan, trikloroetan HAPs'lara örnek verilmektedir ve hava kirliliğine sebep olmakla birlikte insan sağlığı üzerinde de olumsuz etkileri bulunmaktadır (Çakır, 2012).

2.4.4.6. İklim Değişikliği

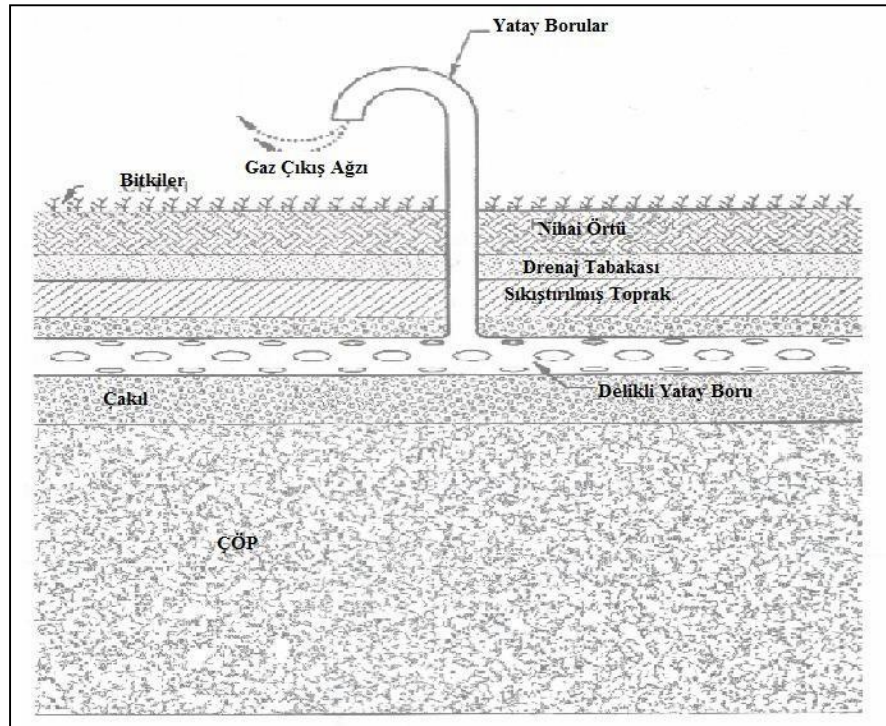
Depolama sahalarında oluşan metan gazının diğer gazlara nazaran atmosferde kalma süresi daha uzundur. Ayrıca bu gazın moleküler ölçekte küresel ısınmaya karbondioksitten 28 kat daha fazla etki ettiği bilinmektedir. Bir depo alanında yayılan CO₂ genellikle sera gazı olarak kabul edilmemektedir. Çünkü CO₂ fotosentez yapan bitkiler tarafından kullanılmaktadır. Metan gazının karbondioksitten çok daha fazla ısıma gücü (emisyona) vardır (Christensen, 2011).

2.4.5. Depo Gazlarının Toplanması ve Kullanılması Kontrol Yöntemleri

Biyobozunur atıkları kabul eden tüm düzenli depolama tesislerinden toplanan depo gazları doğrudan veya işlenerek enerji üretiminde kullanılabilir. Toplanan depo gazı, ekonomik olmaması nedeniyle enerji üretiminde kullanılamadığında meşalelerde yakılmak suretiyle bertaraf edilmelidir. (Düzenli Depolama Tesisleri SahaYönetimi ve İşletme Kılavuzu, 2014).

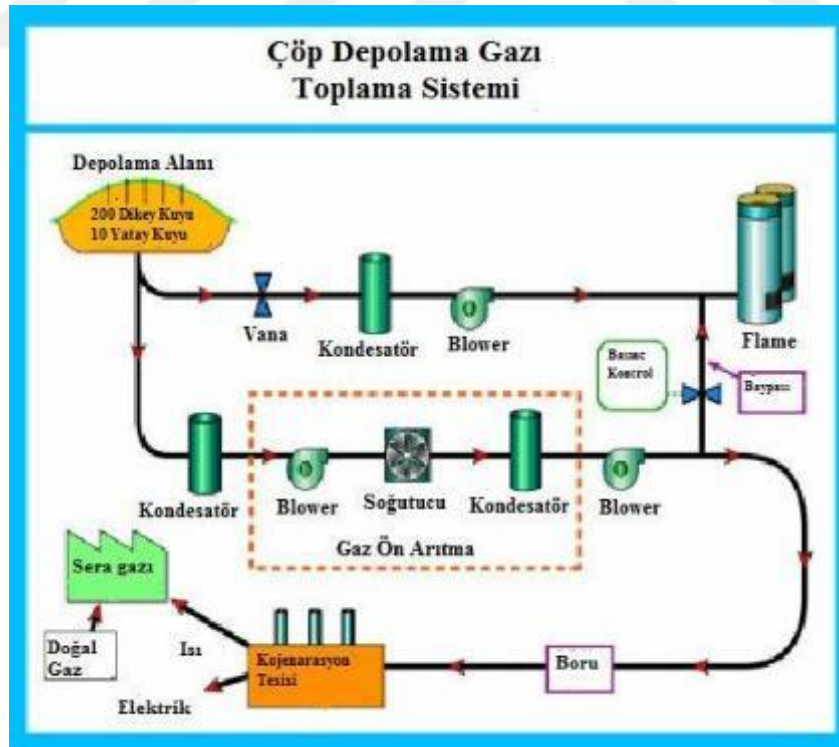
Katı atık depolama alanlarında depo gazının toplanması ve kullanılması için yapılacak gaz yönetim sistemi, aktif ve pasif olmak üzere iki kısımda incelenmektedir.

Depolama sahasında üretilen depo gazının hareketi Şekil 32.'de de görüldüğü gibi pasif toplama sistemlerinde difüzyonla alınıp harici bir emme ünitesine gerek kalmadan toplanan depo gazı, bertaraf edilebilir veya enerji üretimi amacıyla kullanılabilir. Aktif toplama sistemlerinde ise saha çevresinde gaz çekme kuyuları kullanılarak ve bu kuyulara gaz emme körükleri(blower) adı verilen ünitelerce kısmi vakum uygulanarak toplanan depo gazı kontrol altına alınmaktadır (Saltabaş, 2004). Bu esnada gaz emişin aşırı hızda olmaması ve depolama sahasına hava girişinin engellenmesi önem arz etmektedir.



Şekil 32. Pasif gaz toplama sisteminin genel görünüşü (Tchobanoglous ve Vigil, 1993)

Aktif gaz toplama sistemi içerisinde; depo gazının toplanması için dikey veya yatay şekilde depolama gövdesine yerleştirilen *gaz çıkarma kuyuları*, toplanan tüm gazların birleştirildiği *gaz toplama noktası* (Bu nokta bir tank veya bir boru olabilir. Gaz kuyularında biriken damıtma suyunun çökebilmesi için, gaz toplama noktasının kotu tercihen daha aşağıda olmalıdır. Gaz toplama noktası, ölçüm ve ayarlama ekipmanlarıyla donatılmalıdır), damıtma suyunun sıyrıcı veya soğutma tertibatıyla gaz debisinden ayrıştırıldığı ve pompa vasıtasıyla arıtma tesisine gönderildiği *su ayırıcısı*, gaz toplama noktası ile fan arasındaki boru hattı olan *gaz çekme borusu*, fan; gazı depolama gövdesinden çekerken eksi basınç üreten, alevlendirme veya yakma ünitesine gönderirken artı basınç üreten *fan ve basınç ayarı ünitesi* (Basınç ayarı ise eksi ve artı basınçları optimum seviyede tutar. Gaz çekimi için gerekli olan basınçlar, 200-300 mbar düzeyindedir), küçük depolama sahalarında konteynır içinde ya da çatı altında, büyük depolama sahalarında da genellikle yakma ünitesinin bulunduğu binada yer alan *fan kulübesi*, yakma enerji üretim birimi ile gaz temizleme birimi, gaz ayırma birimi, şalter dolapları gibi yan ekipmanlardan oluşan *yakma ünitesi* bulunmaktadır (DHV Consultants BV, 2006).



Şekil 33. Çöp depolama gazının aktif ve pasif olarak işlenmesi (Işık, 2014)

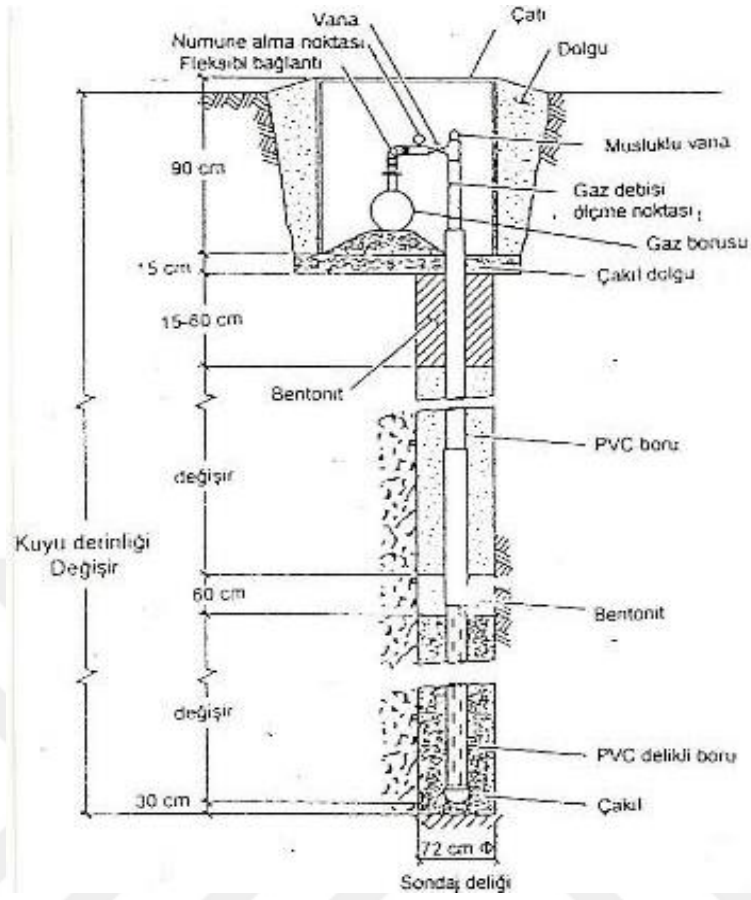
Çöp depolama gazının aktif ve pasif olarak işlenmesi yukarıdaki Şekil 33.'te görülmektedir.

Düşey ve yatay gaz kuyuları, depolama sahalarından aktif veya pasif gaz toplama sistemlerinde kullanılmaktadır. Bazı durumlarda ise her iki tip gaz kuyusu da aynı sistem içerisinde kullanılmaktadır.

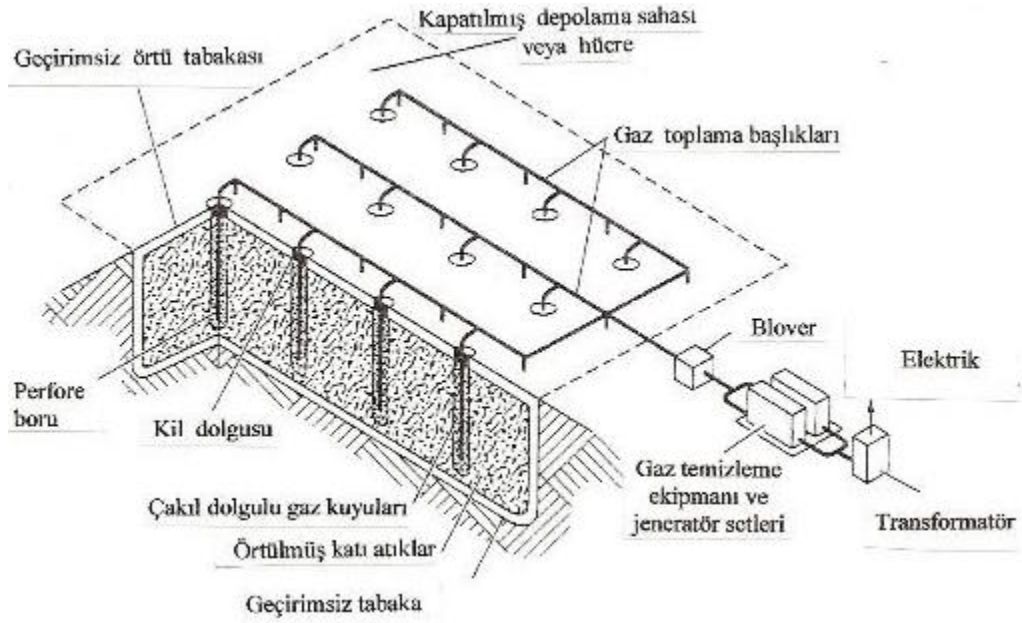
Depolama sahası içerisinde gaz toplamak için yerleştirilecek düşey veya yatay boruların sahadan gazın emilmesine olanak sağlayacak şekilde, 5–12 cm arasında değişen deliklere sahip yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE)'den oluşmaları gerekmektedir.

- Düşey (Dikey) gaz toplama sistemi

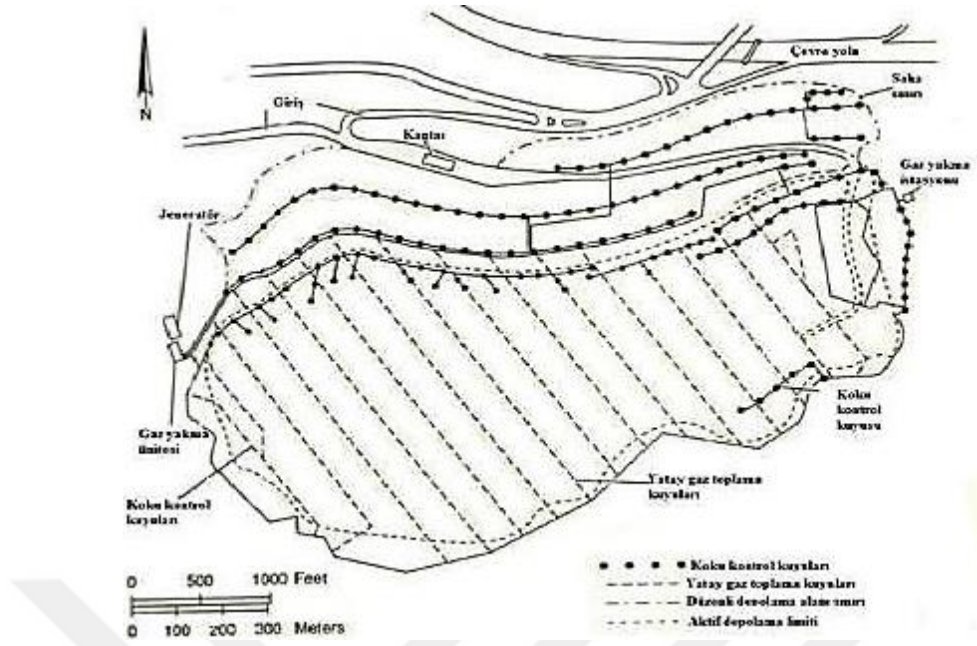
Gaz toplama sistemi, Şekil 34. ve Şekil 35.'te görüleceği üzere 50–70 metre aralıklarla yerleştirilmiş dikey gaz kuyularından oluşmaktadır. Sondaj makineleri vasıtasıyla inşa edilen bu kuyular, depolama sahası üzerinde 80–120 cm çapındadır ve kuyuların derinliği depolama alanının toplam derinliğinin % 50 ila %90'ına ulaşmaktadır. Gazın toplanabilmesi için açılan sondaj kuyularına 10–20 cm çaplı borular yerleştirilir. Gaz toplamak için bu boruların depolama sahası yüzeyine yakın üst kısımlarının 4–5 metresi deliksiz, kalan kısımları ise delikli olmalıdır. İlerleyen zamanlarda depolama alanında atıkların bozunmasıyla oluşacak oturmalarından zarar görmemesi için boru bağlantılarının esnek şekilde inşa edilmeleri gerekmektedir. Delikli boruların deliksiz borularla birleştiği nokta kum/bentonit karışımı bir malzemeyle (en az 0,5 m) kaplanmalıdır. Ayrıca delikli boruların etrafındaki boşluklar çakıl ile deliksiz boruların etrafındaki boşluklar ise kum ile doldurulmalıdır. Bu işlem depolama sahası üzerindeki havanın, atık kütlesi içine girmesini veya toplanan depo gazı ile karışmasını engellemek amacıyla yapılmalıdır (Handbook for the Preparation, 2004)



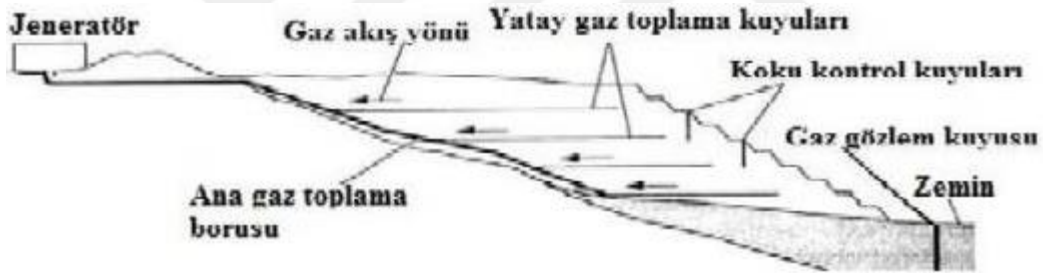
Şekil 34. Dikey bir gaz çekme kuyusu (Tchobanoglous ve Vigil, 1993)



Şekil 35. Düşey kuyular kullanılan gaz geri kazanım sistemi (Tchobanoglous ve Vigil, 1993)



Şekil 37. Yatay gaz toplama sistemi (Tchobanoglous ve Vigil, 1993)

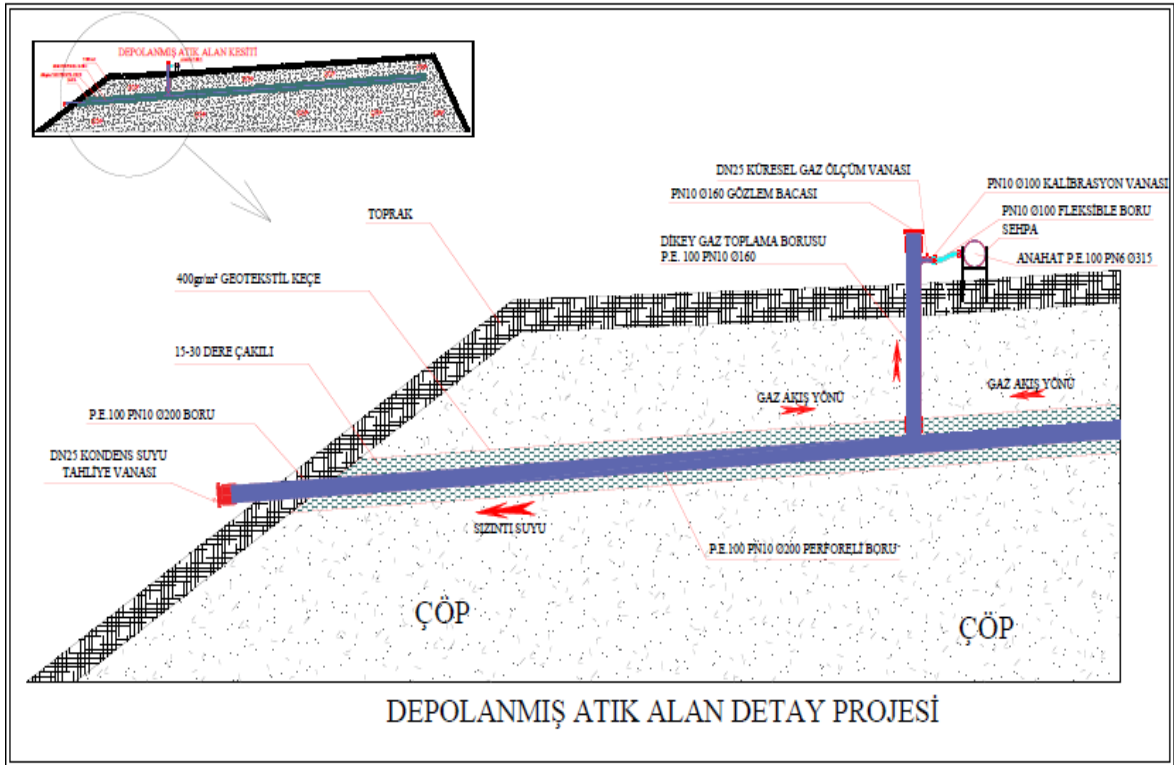


Şekil 38. Yatay gaz çekme kuyularının kullanımı (Tchobanoglous ve Vigil, 1993)

Yuarıdaki Şekil 38.'de yatay gaz çekme kuyularının kullanımı görülmektedir.

Rigole derinliği ve eğim yönü, depolama sahasının yüksekliği, şev eğimi ve sahanın oturma yönü göz önünde bulundurularak belirlenmektedir. Rigoller katı atıkların depolanması ve üzerinin tamamen kapatılması ile oluşan deponi alanının üst kotundan 2-3 metre derinlikte başlayan, %3 eğimle açılarak alanı köşegen olarak kesen uygulamalardır.

Yatay olarak açılan kanallara ilk olarak 70-80 cm kalınlığında çakıl serilir. Kanal içerisindeki çakıl tesfiye edildikten sonar 20 cm çapında delikli borular ile borulama yapılır. Daha sonra boru üzerine yine aynı kalınlıkta çakılı serilmelidir. Çakılın filtre ömrünün uzatılması, çakılın temiz kalmasını sağlaması için çakıl üzerine jeotekstil (400gr/m²) serilmelidir.



Şekil 39. Depolama alanı yatay gaz toplama sistemi kesiti (Ahmet Kavalcıoğlu, kişisel görüşme, 2020)

Şekil 39.'da görüleceği gibi rigole borulaması tamamlandıktan sonra kanal tekrar çöple kapatılacağından, toplanan gazın ana taşıyıcı hatta ulaşması için dikey bir bağlantı ile yüzeye çıkışı yapılmalıdır. Rigole yapılan Şekil 40.'da görülen delikli borulama sisteminin şevden çıkan kısmı olan su tahliye noktasının deliksiz olması gerekmektedir. Uygulama da şeve en az 6m kala çakıl yerine kum ve delikli boru yerine deliksiz boru kullanılması sistemin dışardan oksijen almaması için önemlidir.



Şekil 40. Delikli gaz toplama borusu (TRAB-Rİ KAB)

Gaz toplama sisteminde toplanan gaz, Ø200 mm çapındaki deliksiz yatay borular yardımıyla önce toplama ünitelerine (manifolt) daha sonra da Ø350 mm çapındaki ana taşıyıcı borular yardımıyla yakma bacalarına (Flare) veya enerji üretimi için kullanılacağı tesise iletilir. Depo gazı içindeki nemin yoğunlaşması (kondense) sonucu oluşan su, gaz boruları içerisinde tıkanıklığa neden olacağından gaz hareket edemez hale gelir. Boruların içerisinde biriken bu suları sistemden uzaklaştırabilmek için en düşük kota bir drenaj sisteminin yapılması gerekmektedir.

Depo gazı yakıt olarak kullanıldığında bu gazdan ısı ve elektrik enerjisi üretilmektedir. Üretimin istenilen düzeyde oluşabilmesi için aşağıdaki unsurların gerçekleşmesi gerekmektedir:

- Gazın kullanımı için uygun bir alan belirlenmelidir.
- Organik madde içeren en az 10 metre derinliğe sahip depolama alanı olmalıdır.
- En az 500.000ton atığın depolanmış olması gerekmektedir.
- Atık maksimum 2-10 yıl içerisinde depolanmış olmalıdır.
- Depolama sahası içerisindeki atık, su ile doymuş olmamalıdır (Yıldız, 2006).

2.4.6. Depo Gazı Miktarının Hesaplanması

Alandaki depolama sırasında ve kapatıldıktan sonra gaz üretimiyle ilgili bilgiler sunan matematiksel model hesapları genel olarak atık özellikleri, miktarı ve depolama zamanı gibi bilgilere gereksinim duyulmaktadır.

Katı atık deponi alanlarında meydana gelen gazın belirlenmesine ilişkin modellerden literatürde sıklıkla yararlanılan ve Türkiye şartlarına en uygun sonuçları ortaya koyabilecek USEPA LandGEM ve ve Tabasaran-Rettenberger modellerine aşağıda değinilmiştir (Yarıntepe, 2011).

2.4.6.1. United States Environmental Protection Agency (USEPA) LandGEM Modeli

Depolama Sahası Gazı Emisyonları Modeli (LandGEM=Landfill Gas Emission Model); Birleşik Devletler Koruma Ajansı (United States Environmental Protection Agency) aracılığıyla geliştirilmiştir.

Düzenli depolama sahalarında hava kirliliğine neden olabilecek gazların emisyon miktarlarını tahmin etmek amacıyla Land GEM Modeli geliştirilmiştir. Birinci derece bir bozunma reaksiyonuna sahip olan bu modelde depo gazının yarısını metan yarısını da karbondioksitin oluşturduğu kabul edilmiş diğer kirlleticiler de dikkate alınmıştır.

Atıkların düzenli depolandığı sahalarda oluşabilecek depo gazı emisyonlarının LandGEM modeli ile tahmin edilebilmesi için aşağıdaki kriterlerin bilinmesi gerekmektedir (Öztürk M., 2018):

- Depolama sahasında bertaraf edilebilecek toplam atık kapasitesi,
- Tahmini hesaplamanın yapılacağı ana kadar depolanan atık miktarı ile sahanın ortalama yıllık atık depolama kapasitesi,
- Metan oluşum hızı (k),
- Potansiyel metan üretim kapasitesi (L_0),
- Depolama sahasında ne kadar süre ile atık depolandığı (yıl),
- Sahada tehlikeli atıkların da depolanıp depolanmadığı

LandGEM modelinde kullanılan denklem, birinci derecede bir bozunma denklemi olup

$$Q_{CH_4} = L_0 \cdot R \cdot (e^{-kc} - e^{-kt}) \quad (8)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada;

- Q_{CH_4} : t anındaki metan üretim hızını ($m^3/yıl$),
- L_0 : potansiyel metan üretim kapasitesini ($m^3 CH_4 / ton$ atık),
- R : depolama ömrü boyunca yıllık depolanan atık miktarını ($ton/yıl$),
- k : metan üretim hızı sabitini ($yıl^{-1}$),
- c : saha kapatıldıktan sonraki yıl sayısını (depolama devam ediyorsa yıl, $c=0$),
- t : depolamanın ilk başladığı yıldan beri geçen süreyi (yılı) göstermektedir.

Metan gazı oluşum sabiti (k) ve metan gazı oluşum potansiyeli(L_0) LandGEM modelinin en önemli parametreleridir. Emisyonların hesaplanması CAA (Clean Air Act) ile AP-42 olarak adlandırılan (US EPA Compilation of Air Pollutant Emission Factors) iki farklı standarda göre tasarlanmış ve bunun seçimi kullanıcıya bırakılmıştır. CAA (Clean Air Act) standardı yönetmeliklerin uygulanabilirliği esasına dayanmaktadır ve bu standartta k değeri $0,05 \text{ yıl}^{-1}$ ve L_0 değeri $170 \text{ m}^3/\text{ton}$ atık olarak esas alınmıştır. İkinci standart olan AP-42 (US EPA Compilation of Air Pollutant Emission Factors)'de ise $k = 0,04 \text{ yıl}^{-1}$ ve $L_0 = 100 \text{ m}^3/\text{ton}$ atık olarak kabul edilmiştir (Öztürk M.,2018).

Metan üretim hız sabiti olan k , depolama alanında çöpten oluşan metan gazı oranını belirlemektedir. k değerinin yüksek olması metan gazı oluşumunun başlangıçta çok hızlı olduğunu ve zamanla azaldığını gösterir. k değeri; atık içindeki nem miktarı, metan gazı oluşturmak için besi maddesi mevcudiyeti, pH ve sıcaklık parametrelerine bağlıdır.

L_0 değeri, deponi alanında mevcut olan atığın türüne göre değişiklik göstermekle birlikte bu değer atığın selüloz muhtevasıyla doğru orantılıdır. Modelde depolama alanına ilişkin bir L_0 ve k değeri bilinmediği hallerde USEPA aracılığıyla emisyonların hesaplanması amacı ile iki farklı standart planlanmış ve bu standartlardan yararlanmak için seçim kullanıcıya bırakılmıştır. Bunlar USEPA Compilation of Air Pollutant Emission Factors (AP-42) ve Clean Air Act (CAA) standartlarıdır.

Tablo 11.'de (AP-42) ve (CAA) değerleri hazır parametre olarak verilmiştir

Tablo 11. AP-42 ve CAA parametreleri (USEPA, 2005)

Parametre	AP-42		CAA	
	P>635 mm	P<635 mm	P>635 mm	P<635 mm
k (1/yıl)	0,04	0,02	0,05	0,02
L ₀ (m ³ /ton)	100	100	170	170

Ancak verilen bu değerler kullanıcıya göre değiştirilebilmektedir. Yani bu değerler yerine deneylerle sağlanan verilerden yararlanılabilmektedir (Yarımtepe, 2011).

2.4.6.2. Tabasaran-Rettenberger Modeli

Depo gazının üretim miktarının tahmininde kullanılan bir diğer model olan Tabasaran Modeli karbon içeriği, parçalanabilirliği ve bozunma kinetiğine bağlı olarak değişmektedir. Bu yüzden buharlaşma gibi diğer süreçler göz önüne alınmamaktadır. Avrupa’da çok yaygın olarak kullanılan bu model Tabasaran tarafından (Tabasaran, 1976) başlangıçta kanalizasyonlardaki çürümelerde meydana gelecek olan metan miktarını tahmin etmek için geliştirilmiştir (Öztürk M.,2018).

$$G_a = G_e (1 - e^{-ka}) \quad (9)$$

Burada; G_a: a yılına kadar biriken gaz üretimi (Nm³t⁻¹), G_e: Gaz oluşum potansiyeli [Nm³t⁻¹], k: Bozunma hız sabiti, a: zaman (zaman birim sabiti).

$$G_e = 1,868 C_0 (0,014T + 0,28) \quad (10)$$

Burada;

C₀: Atıktaki parçalanabilir karbon oranı (kg t⁻¹),

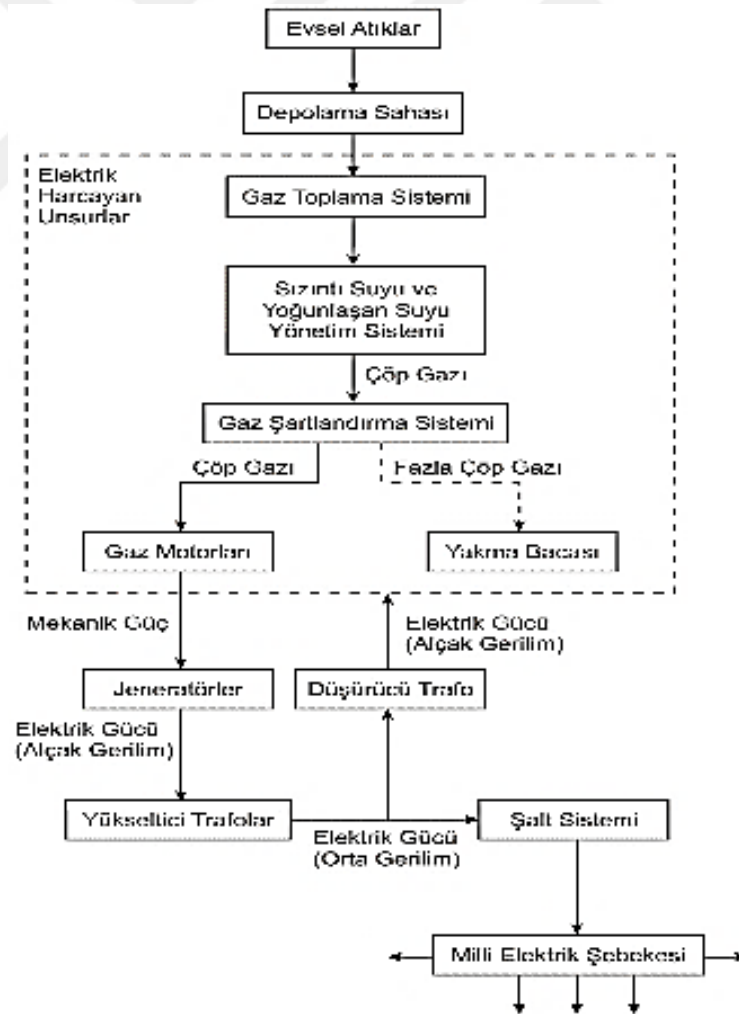
T: Sıcaklık (düzenli depolama alanı içindeki ortam sıcaklığı) (°C).

2.4.7. Depo Gazı Bertaraf Yöntemleri

Aktif halde bulunan deponi alanlarından oluşan depo gazları, meşalelerle yakılarak ve elektrik enerjisi elde edilerek veya her iki durumun birlikte kullanıldığı yöntemle geri kazanılmaktadır kullanılabilmektedir.

2.4.7.1. Motor-Jeneratör Sistemlerinde Yakılan Depo Gazından Elektrik Elde Edilmesi

Atıkların termal yöntemle bertarafının yapılamadığı durumlarda deponi gazının ekonomik olarak değerlendirilmesi amacıyla en elverişli çözümlerden biri de depolama sahalarında oluşan gazdan elektrik üretilmesidir.



Şekil 41. Depo gazından enerji elde etme tesis şeması (Işık, 2014)

Yukarıdaki Şekil 41.'de de görüldüğü üzere depolama sahasından çekilen depo gazı (LFG), ilk olarak ısı eşanjörü ünitesine taşınmaktadır. Daha sonra belirli sıcaklığa kadar soğutulan depo gazının nemini bırakması sağlanmaktadır. Buna bağlı olarak yoğunlaştırıcı(demister) ünitesinde oluşan yoğunlaşma suyu da toplanarak sistemden uzaklaştırılmaktadır. Bu işlemin ardından arıtılmış depo gazı, içten yanmalı motorlar veya gaz tribünlerinde yakılarak önce mekanik enerjiye, ardından da elektrik enerjisine dönüştürülmektedir.

Bölgesel elektrik şebekesi üzerinden dağıtılmak ya da sahadaki gereksinimlerde kullanılmak üzere üretilen elektrik için üretim yönteminin seçilmesinde öngörülen gaz debisi oldukça önemli bir parametredir. Elektrik üretimi için çeşitli yöntemler bulunmakla birlikte en sık yararlanılanları gaz türbinleri ve içten yanmalı motorlardır. Gaz türbinleri elektrik şebekesini durmadan destekleyecek tarzda çalışmaktadır. İçten yanmalı motorlar ise basit bir şekilde kapatılıp açılabilir. Dolayısıyla aralıklı güç gereksinimleri için daha elverişli olmasıyla beraber bölgesel elektrik şebekeleri için de uygundur (Polat, 2010).

Şekil 42.'de de gösterilen içten yanmalı motorlar (deponi gazı uygulamalarında en sık kullanılan dönüşüm teknolojisi olup deponi alanlarında kullanılanlar genellikle 700 kW-1,4 mW kapasitesindedir. İçten yanmalı motorlar makul maliyetli teknolojiler olup özellikle düşük üretim potansiyellerine karşı esnek olmaları, küçük deponi alanları için onları tek seçenek durumuna getirmiştir (Polat, 2010).



Şekil 42. İçten yanmalı motor (TRAB-RI KAB)

2.4.7.2. Yakma Bacası (Flare) Uygulaması

Düzenli depolama sahalarından enerji üretimi için kapasitenin üzerinde çekilen veya gaz motorlarının bakımı/ arızası durumunda fazla gelen depo gazı, aşağıdaki Şekil 43.'te de görüleceği üzere yakma bacasında flare ile yakılmaktadır. Böylelikle zararlı metan gazı, atmosfere bırakılmamakta ve emisyon azaltımına katkıda bulunmaktadır.



Şekil 43. Gaz yakma bacası (TRAB-Rİ KAB)

2.4.7.3. Gaz Depolama Balonları

Gaz depolama balonları, kararlı bir işletme ortamı oluşturmak için sahaya uygulanması gereken vakumun sabitlenmesinin yanında fazla gelen deponi gazının da kısa süreli ara depolanmasına yardımcı olmaktadır. Gaz depolama balonlarına ait görüntüler Şekil 44.'te verilmektedir.



Şekil 44. Membran gaz depolama balonları (TRAB-Rİ KAB)

2.4.7.4. Gaz Saflaştırma ve İyileştirme

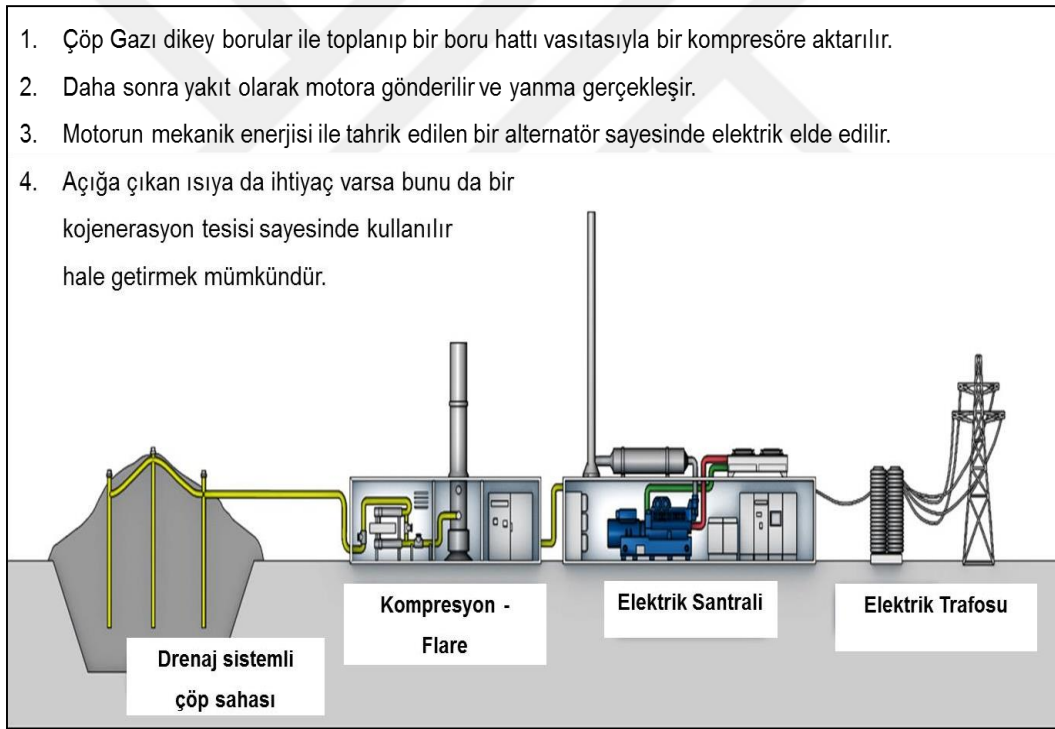
Depo gazının potansiyel kullanım yerlerinde içeriğindeki CH_4 'den CO_2 ayrılmalıdır. CH_4 'den CO_2 'i ayırma işlemi fiziksel, kimyasal ve membran absorpsiyonuyla gerçekleştirilir. Fiziksel ve kimyasal absorpsiyonla birleşen tercihli olarak bir solventle adsorbe edilebilir. Membran ayırmada CH_4 den CO_2 'i uzaklaştırmak için yarı geçirgen membran kullanılmaktadır. Yarı geçirgen membran CH_4 'ı tutarken CO_2 , H_2S ve H_2O 'nun geçmesine izin verir. Membran içi boş elyaf veya düz levha olarak düzenlenir (Tchobanoglous ve Vigil, 1993).

2.4.7.5. Boru Hattına Verme

Deponi gazı, boru gazı kalitesinde saflaştırılarak doğal gaz hattına verilebilmekte ya da bu kalitedeki gazdan taşıt yakıtı olarak yararlanılabilmektedir. Deponi gazı çoğu ülkede yalnızca çöp kamyonlarında yakıt olarak kullanılmaktadır. Nedeni ise, deponi gazı yakıt olarak kullanılmak istendiğinde; doğal gaz kalitesine getirilmesi, taşıtların doğal gaz ile çalışmaya modifiye edilmesi ve bu taşıtlar için yakıt istasyonlarının yapılması gibi birçok işlem gerektirmesidir (Mohamed, 2017).

2.4.8. Çöp Gazından Elde Edilen Elektrik Enerjisinin Tüketicilere İletilmesi

Çöp gazından elde edilen elektrik enerjisi, tüketicinin kullanımı için ulusal elektrik şebekesine verilmektedir. 6094 sayılı Kanunda yapılan değişikliğe bağlı olarak 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun (YEK Kanunu) kapsamında hazırlanan Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Belgelendirilmesi ve Desteklenmesine İlişkin Yönetmelik (YEKDEM Yönetmeliği) gereğince YEK Destekleme Mekanizmasına tabi üretim lisansı sahiplerine, çöp gazından ürettikleri elektriği 10 yıl süre ile 13,3 \$ cent/kWh değerinden alım garantisi verilmekte olup sistemin genel çalışma prensibi Şekil 45.'te ve üretilen elektriğin üretim, dağıtım sistemi Şekil 46.'da gösterilmektedir.



Şekil 45. Sistemin genel çalışma prensibi (Işık, 2014)



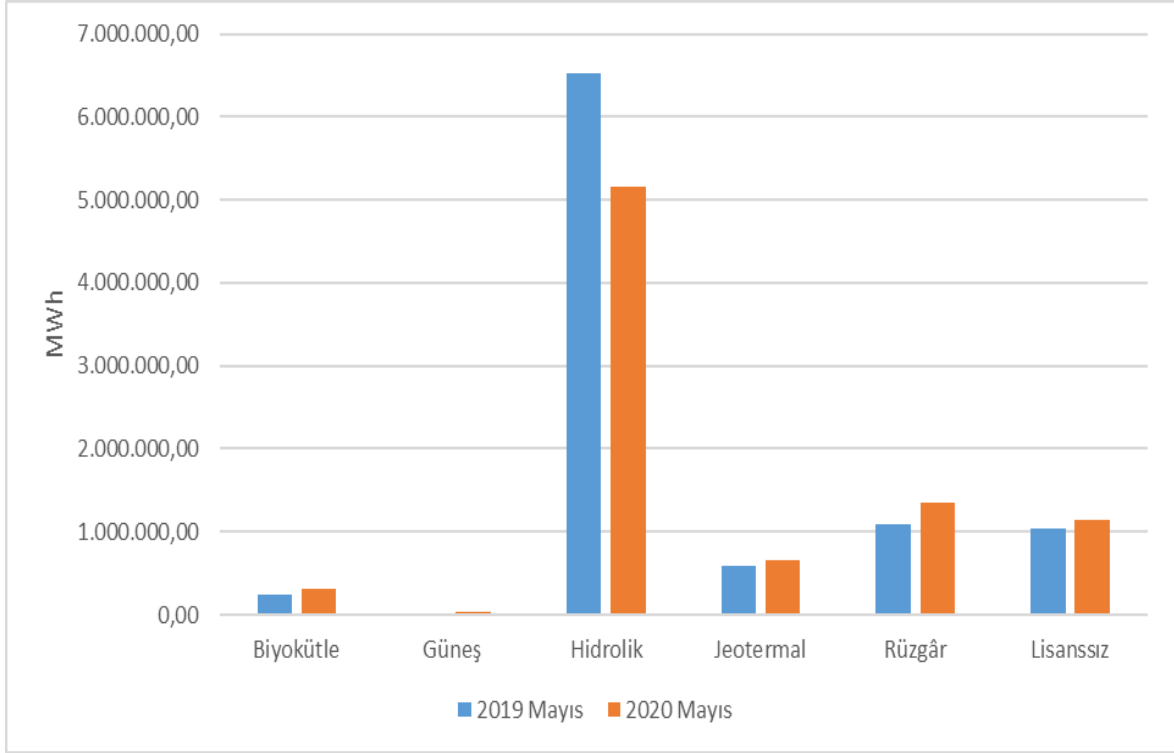
Şekil 46. Elektrik üretim ve dağıtım sistemi (TRAB-Rİ KAB)

2.4.9. Türkiye’de Deponi Gazından Enerji Üretimi

Toplam enerji üretim oranı içinde biyokütleden ileri gelen enerjinin miktarı oldukça düşük olan Türkiye’de; 2019 yılı haziran ayı itibariyle YEKDEM kapsamında biyokütleden üretilen enerji, YEKDEM kapsamında toplam enerji üretiminin yalnızca %3,07’sini oluşturmaktadır. Haziran 2020 döneminde %4,89’a ulaştığı, kaynak bazında Tablo 12.’de ve Şekil 47.’de verilmiştir (EPDK, 2020).

Tablo 12. Haziran 2020 döneminde YEKDEM kapsamındaki üretimin kaynaklara göre dağılımı ve 2019 yılı haziran ayı değeriyle karşılaştırılması (MWh-%) (EPDK, 2020)

Kaynak Türü	2019 Yılı Haziran Ayı YEKDEM Kapsamındaki Üretim (MWh)	2019 Haziran Payı (%)	2020 Yılı Haziran Ayı YEKDEM Kapsamındaki Üretim (MWh)	2020 Haziran Payı (%)	Haziran 2019- Haziran 2020 Değişimi (%)
Biyokütle	228.100,94	3,07	301.764,84	4,89	32,29
Güneş	16.550,45	0,22	39.616,07	0,64	139,37
Hidrolik	4.036.930,86	54,32	2.930.709,31	47,54	-27,40
Jeotermal	540.787,21	7,28	609.483,39	9,89	12,70
Rüzgâr	1.589.402,63	21,39	1.117.905,10	18,13	-29,67
Lisanssız	1.019.827,40	13,72	1.165.766,89	18,91	14,31
Genel Toplam	7.431.599,50	100,00	6.165.245,60	100,00	-17,04



Şekil 47. Haziran 2020 döneminde YEKDEM kapsamındaki üretimin kaynaklara göre dağılımı ve 2019 yılı haziran ayı değeriyle karşılaştırılması (MWh) (EPDK, 2020)

Biyokütle enerji santrallerinin tarihi oldukça yeni olan Türkiye’de bahsi geçen santrallerden ilki 2004 yılında İstanbul’ da kurulmuştur. 2019 yılı Kasım ayı itibariyle ise Türkiye genelinde 78 adet santral devrededir (URL-2). Tablo 13.’te ve Şekil 48.’deki bu santraller ve özellikleri verilmiş olup parantez içindeki enerji değeri, tesisin inşa tamamlandığında ulaşılacak toplam kurulu gücü ifade etmektedir.

Tablo 13. Türkiye’deki biyokütle enerji santralleri (URL-2, 2019)

No	Santral Adı	Bulunduğu İl	Kurulu Güç
1	Odayeri Çöp Gazı Santrali	İstanbul	34 MW
2	Kömürcüoda Çöplüğü Biyogaz Santrali	İstanbul	14 MW
3	Hasdal	İstanbul	4,02 MW
4	Kemberburgaz Çöplüğü Biyogaz Santrali	İstanbul	0,98 MW (5.826 MW)
5	Mamak Çöplüğü Biyogaz Tesisi	Ankara	25 MW (36 MW)
6	Çadırtepe Biyokütle Santrali	Ankara	23 MW
7	ITC-KA Sincan Biyokütle Gazlaştırma Tesisi	Ankara	11 MW
8	Belka Çöp Gazı Biyogaz	Ankara	3,20 MW
9	Albe Biyogaz Santrali	Ankara	3,20 MW
10	Polatlı Biyogaz Tesisi	Ankara	1,47 MW

Tablo 13'ün devamı

No	Santral Adı	Bulunduğu İl	Kurulu Güç
11	Beypazarı Biyogaz Tesisi	Ankara	0,79 MW (2.379 MW)
12	Tire Biyogaz Tesisi	İzmir	4,27 MW
13	Tire Biyogaz Elektrik Santrali	İzmir	1,20 MW (4.8 MW)
14	Sofulu Çöplüğü Biyogaz Santrali	Adana	16 MW
15	Pakmil Biyokütle Santrali	Adana	1,76 MW
16	ITC Antalya Biyokütle Santrali	Antalya	14 MW
17	Manavgat Çöp Gazı Santrali	Antalya	3,60 MW
18	Sezer Bio Enerji	Antalya	0,50 MW
19	Afyon Hayvansal Atık Biyogaz Santrali	Afyonkarahisar	8,40 MW
20	Afyon Biyogaz Enerji Santrali	Afyonkarahisar	4,02 MW
21	Arel Enerji Biyokütle Tesisi	Afyonkarahisar	2,40 MW
22	Sandıklı Biyokütle Elektrik Üretim Tesisi	Afyonkarahisar	1,40 MW
23	Aksaray OSB Gübre Gazı Elektrik Santrali	Aksaray	6,40 MW
24	Aksaray Çöp Gazı Elektrik Santrali	Aksaray	1,42 MW
25	Yapılcanlar Biyogaz Enerji Santrali	Aksaray	1,07 MW
26	Amasya Çöp Gazı Elektrik Üretim Santrali	Amasya	1,20 MW (2.4 MW)
27	Sigma Suluova Biyogaz Tesisi	Amasya	1,00 MW (2 MW)
28	Senkron Efeler Biyogaz Santrali	Aydın	3,60 MW (4.8 MW)
29	Mavi Bayrak Biyokütle Enerji Santrali	Aydın	2,50 MW (12 MW)
30	Bağfaş Gübre Fabrikası Biyogaz Santrali	Balıkesir	9,92 MW
31	Gönen Biyogaz Tesisi	Balıkesir	3,62 MW
32	Mauri Maya Bandırma Biyogaz Santrali	Balıkesir	2,33 MW
33	Bandırma Edincik Biyogaz Santrali	Balıkesir	2,13 MW
34	Biosun Bilecik Kojenerasyon Enerji Santrali	Bilecik	1,6 MW
35	Bolu Çöplüğü Biyogaz Santrali	Bolu	1,13 MW
36	Hamitler Çöplüğü Biyogaz Santrali	Bursa	9,80 MW
37	Karacabey Biyogaz Tesisi	Bursa	6,40 MW
38	Nisa Biyokütle Elektrik Üretim Tesisi	Bursa	5,48 MW
39	Cargill Tarım Bursa Bioenerji Santrali	Bursa	0,12 MW
40	Çorum Mecitözü Biyokütle Enerji Santrali	Çorum	5,00 MW
41	Pir Enerji Düzce Biyogaz Santrali	Düzce	4,26 MW (6.393 MW)
42	Kumkısık Çöplüğü Biyogaz Santrali	Denizli	0,64 MW
43	ITC-KA Elazığ Çöp Gazı Santrali	Elazığ	2,83 MW
44	Eses Enerji Biyogaz Santrali	Eskişehir	2,04 MW
45	Gaziantep Çöp Gazı Santrali	Gaziantep	5,66 MW
46	İskenderun Çöp Gazı Elektrik Üretim Tesisi	Hatay	4,24 MW
47	Hatay Gökçeğöz Çöp Santrali	Hatay	4,24 MW
48	Arel Isparta Çöp Gazı Santrali	Isparta	2,83 MW
49	Eman Enerji Karaman Biyokütle Enerji Santrali	Kahramanmaraş	0,95 MW
50	Karaman Biyogaz Tesisi	Karaman	1,41 MW
51	Kayseri Çöplüğü Biyogaz Elektrik Santrali	Kayseri	5,78 MW
52	Kırıkkale Çöp Gazı Enerji Santrali	Kırıkkale	1,00 MW
53	Vesmec Çöp gazı Santrali	Kırklareli	1,20 MW

Tablo 13'ün devamı

No	Santral Adı	Bulunduğu İl	Kurulu Güç
54	Kocaeli Çöplüğü Biyogaz Santrali	Kocaeli	6,51 MW
55	Dilovası Çöp Biyogaz Santrali	Kocaeli	2,13 MW
56	Kartepe Biyokütle Enerji Santrali	Kocaeli	1,00 MW (1.5 MW)
57	Hayat Biyokütle Elektrik Üretim Santrali	Kocaeli	0,96 MW
58	Solaklar İzaydaş Çöp Gazı	Kocaeli	0,33 MW
59	Konya Aşım Çöplüğü Elektrik Üretim Santrali	Konya	5,66 MW
60	Ekim Grup Gübre Gazı	Konya	1,20 MW
61	Malatya 1 Çöp Gaz Elektrik Üretim Tesisi	Malatya	4,00 MW
62	Malatya BŞB Çöp Gazı Elektrik Üretim Santrali	Malatya	1,20 MW (2.4 MW)
63	Eman Enerji Mersin Biyokütle Enerji Santrali	Mersin	6,02 MW
64	Eman Enerji Silifke Biyokütle Enerji Santrali	Mersin	1,20 MW
65	Mas 1 Yenilenebilir Enerji Üretim Tesisi	Niğde	2,40 MW
66	Atlas İnşaat Osmaniye Çöp Gazı Santrali	Osmaniye	3,12 MW
67	Karma Gıda Biyogaz Santrali	Sakarya	1,49 MW
68	Pamukova Katı Atık Biyogaz Santrali	Sakarya	1,40 MW
69	Avdan Biyogaz Tesisi	Samsun	6,00 MW
70	Samsun Çarşamba Çöp Gazı Santrali	Samsun	1,42 MW
71	Sivas Biyokütle Elektrik Üretim Tesisi	Sivas	2,82 MW
72	Şanlıurfa Biyokütle Enerji Santrali	Şanlıurfa	6,24 MW
73	Doğal enerji Biyokütle Enerji Santrali	Şanlıurfa	0,82 MW (5.2 MW)
74	Modern Biyokütle Enerji Santrali	Tekirdağ	6,00 MW
75	Tokat Çöp gazı Elektrik Üretim Santrali	Tokat	2,30 MW
76	Trabzon Rize Çöp Gazı Santrali	Trabzon	4,24 MW
77	Uşak Çöp Gazı Enerji Santrali	Uşak	1,20 MW
78	İtc-Ka Yozgat Enerji Üretim Tesisi	Yozgat	4,24 MWe



Şekil 48. Biyokütle kaynaklı lisanslı elektrik üretim santralleri (Yıldırım, 2020)

3. BULGULAR

3.1. Trabzon İli Sürmene İlçesi Çamburnu-Kutlular Katı Atık Düzenli Depolama Tesisinde Oluşan Depo Gazı ve Depo Gazından Enerji Elde Edilmesi

3.1.1. Çalışma Alanı

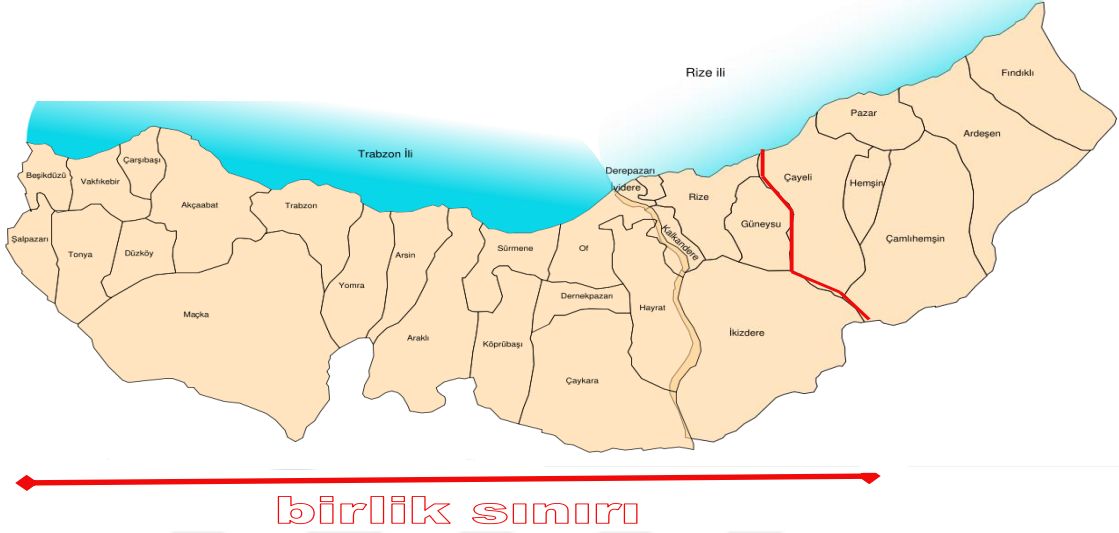
Karadeniz Bölgesinde mevzuata uygun katı atıkların bertarafı için düzenli depolama tesisi yapmak için elverişli alanların bulunması zor olduğundan bazı illerde hala düzensiz depolama yapılmaktadır.

Trabzon ve Rize illerinde de uzun yıllar boyunca atıklar açık alanlara, nehir yataklarına ve deniz kenarlarına dökülerek çevre ve insan sağlığına zarar verilmiştir.

Trabzon ve Rize illerinde katı atık sorununun önüne geçilmesi ve kaynakların verimli kullanılması maksadıyla Trabzon ve Rize illerini kapsayan TRAB-Rİ-KAB (Trabzon ve Rize İli Yerel Yönetimleri Katı Atık Tesisleri Yapma ve İşletme Birliği) katı atık birliği 27.10.1997 tarih ve 97/10183 sayılı Bakanlar Kurulu kararı ile kurulmuştur. İlk kurulduğu yıllarda birliğe üye belediye sayısı 25 olup, hizmet alanı oldukça küçüktü. Birlik aktif olarak çalışmalarına Çamburnu Kutlular düzenli depolama sahasının 2007 yılında faaliyete geçmesi ile başlamıştır. Birliğin sorumlulukları; belediyeler tarafından toplanan evsel nitelikli atıkların transfer istasyonlarından depolama sahalarına naklini sağlamak, düzenli depolama sahasını ve transfer istasyonlarını işletmek ve tıbbi atıkların toplanması, taşınması ve bertarafı faaliyetlerini yürütmektir. Birliğin üye sayısı 2007 yılında 53 belediye iken bu rakam 2012 yılı itibari ile de 88 belediyeye ulaşmıştır. Ancak 06.12.2012 tarihli ve 28489 Resmi Gazete Sayılı 6360 kanun numaralı “On Dört İlde Büyükşehir Belediyesi Ve Yirmi Yedi İlçe Kurulması İle Bazı Kanun Ve Kanun Hükmünde Kararnamelerde Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun” ile birlikte Birlik üye sayısı düşmüştür. Birliğin günümüz itibari ile Rize İl Özel İdaresi ile Rize ilinden 9 belediye ve Trabzon İli Büyükşehir Belediyesi dahil olmak üzere Trabzon ilinden 19 belediye ile birlikte 29 üyesi bulunmaktadır.

Birliğin coğrafi alanı Trabzon ve Rize illerinin birleşiminden oluşmakta olup 5939 km²'dir. Bu alan, 4.685 km² yüzölçümüne sahip Trabzon ilinin tamamı ile Rize ilinin doğuda Gündoğdu beldesi ile güneyde Güneysu ve İkizdere ilçesi dâhil olmak üzere Trabzon il

sınırına kadar olan 1254 km²'lik alanın toplamından oluşmaktadır. TRAB-Rİ KAB birlik sınırını gösteren harita Şekil 49.'da verilmiştir.



Şekil 49. TRAB-Rİ KAB sınırlarını gösteren fiziki harita

Trabzon ve Rize illerinde katı atık sorununun çözümü için başlatılan depolama sahası bulma çalışmaları sonucunda Trabzon İli, Sürmene İlçesi, Kutlular Mevkiinde bulunan eski bir maden ocağı alanı düzenli depolama için uygun bulunmuş ve 2007 yılında mevzuata uygun düzenli depolama tesisleri inşaatı tamamlanarak işletmeye alınmıştır. Bu tarihten itibaren Birlik üyesi belediyelerin mücavir alanlarında bulunan bütün düzensiz depolama alanları kapatılarak toplanan atıkların Kutlular düzenli depolama sahasında bertaraf edilmesi başlamıştır.

Kutlular düzenli depolama sahası dolum kapasitesi bitmiş olup sahanın hemen güneybatı kısmında 1,88 ha büyüklüğünde ek lot yapılmıştır. Ek lotun ömrü yaklaşık 1 yıl olup yeni ilave lotlar yapmak için uygun genişleme alanı bulunmamaktadır. Yapılan uzun araştırmalara rağmen düzenli depolama tesisleri kurmak için uygun yer bulunamamıştır.

Doğu Karadeniz Bölgesinin coğrafi yapısı, dağların denize dik uzanmasından dolayı dağlık alanlardan oluşmakta olup düz alan bulmak oldukça zordur. Yerleşim yerleri bir arada bulunmayıp dağınık halde bulunmaktadır. Bu sebeple katı atıkların düzenli depolanması için uygun alan bulmak oldukça güçtür.

Katı atıkların bertarafında gerek Dünya’da gerekse ülkemizde kullanılan en ekonomik bertaraf metodu olan düzenli depolama tesislerinin kurulabilmesi için geniş sahalara ihtiyaç

duyulmaktadır. Bu tarz tesislerin kurulumunda geniş sahaların yanı sıra yerleşim birimlerine olan uzaklık ile tesise ulaşım güzergahları da önemli olduğundan TRAB-Rİ KAB bölgesinde düzenli depolama tesisi yerine, atıkların bertarafı için başka metotların kullanılması yoluna gidilmiştir.

Bu sebeple, düzenli depolamaya gönderilecek atığın çok az olduğu bir Entegre Katı Atık Değerlendirme ve Bertaraf Tesisleri kurulmasına karar verilmiştir. Bu tesisler genel olarak aşağıdaki sistemleri içerecektir.

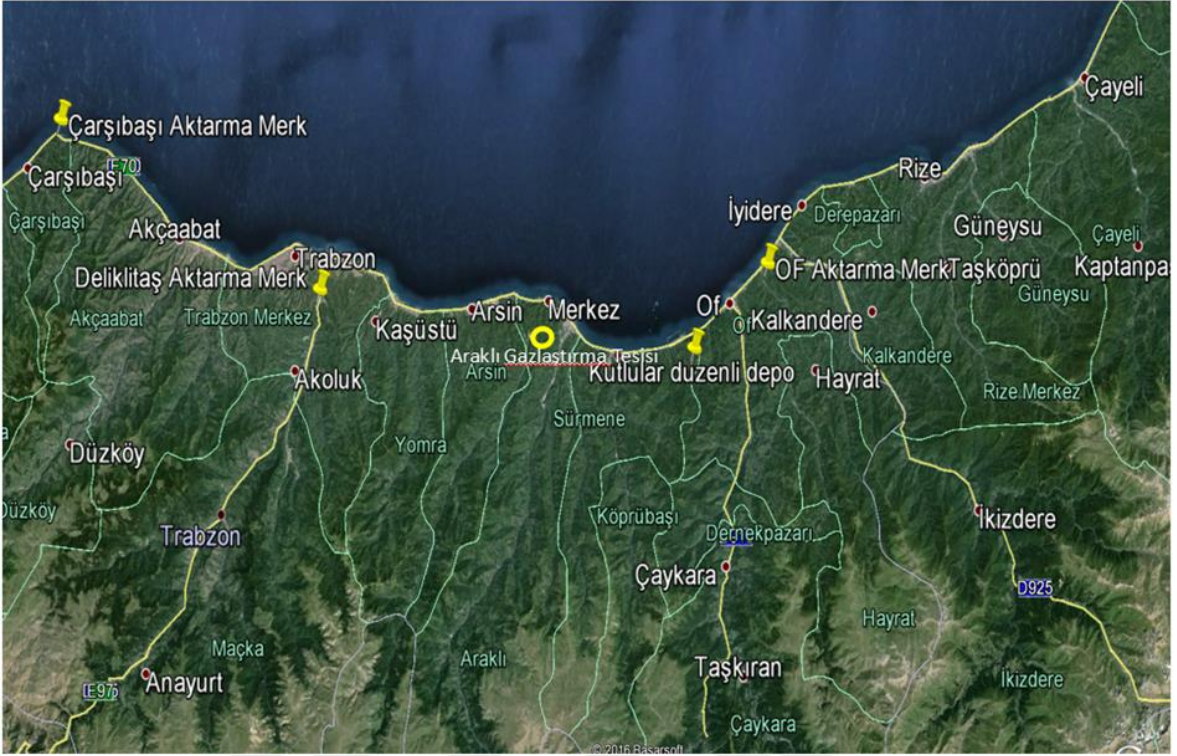
- ✓ Mekanik Ayırma, Biyokurutma ve Atıktan Türetilmiş Yakıt Tesisi,
- ✓ Gazlaştırma ve Enerji Üretim Tesisi (Sentez Gazı Üretimi),
- ✓ II. Sınıf Düzenli Depolama Tesisi.

Bu entegre tesis; Trabzon İli, Araklı İlçesi, Taşönü Mevkiindeki 243.563,54 m² büyüklüğünde Trabzon Büyükşehir Belediyesine ait olup 26.05.2016 yılında 25 yıllığına TRAB-Rİ KAB'a tahsisi yapılmıştır.

15.03.2018 tarihinde ÇED olumlu raporu alınan Entegre Katı Atık Değerlendirme ve Bertaraf Tesisinin ihalesi Yap-İşlet-Devret modeliyle 2019 yılında 25 yıllığına ihale edilmiş olup 2020 yılı sonunda işletmeye açılmıştır.

3.1.2. Mevcut Katı Atık Yönetim Sistemi

Birlik üyesi belediyelerin mücavir alanlarında toplanan belediye katı atıkları aşağıdaki Şekil 50.'de de verildiği üzere Trabzon Deliklitaş, Trabzon Of ve Trabzon Çarşıbaşı'nda bulunan 3 adet aktarma istasyonu ile 2020 yılı sonuna kadar Sürmene Kutlular mevkiinde bulunan düzenli depolama tesisinde depolanmıştır. Araklı Entegre Katı Atık Bertaraf ve Değerlendirme tesisinin devreye alınması ile birlikte üye belediyeler tarafından toplanan atıklar aktarma istasyonları vasıtasıyla bu tesise gönderilmekte ve enerji ve geri kazanım için işleminden geçirilmektedir.



Şekil 50. TRAB-Rİ KAB düzenli depolama tesisi, Araklı gazlaştırma tesisi ve aktarma merkezleri lokasyonları

Kutlular Düzenli Depolama sahasında 2015 yılında 10 yıllığına ihale edilerek kurulmuş metan gazından elektrik üreten 4,2 mW/h kurulu güce sahip yenilenebilir enerji santrali bulunmaktadır.

Tıbbi atıklar ise Deliklitaş Aktarma İstasyonu içinde bulunan 5000 kg kapasiteli Tıbbi Atık Sterilizasyon tesisinde etkisiz hale getirilmekte ve düzenli depolama sahasına gönderilerek bertaraf edilmektedir.

3.1.3. Kutlular Katı Atık Düzenli Depolama Tesisi

Trabzon İli, Sürmene İlçesi, Çamburnu Kutlular Mevkiinde düzenli depolama için uygun yer bulunmuş ve 2007 yılında mevzuata uygun düzenli depolama tesisleri inşaatı tamamlanarak işletmeye alınmıştır. Bu tarihten itibaren Birlik üyesi tüm yerleşimlerde düzensiz depolama alanları kapatılarak atıklar Kutlular düzenli depolama alanında bertaraf edilmeye başlanmıştır. Kutlular II. Sınıf düzenli depolama alanı Trabzon-Rize sahil yolu 50. km'den 6 km içeride bulunmaktadır. Halihazırda kullanılmakta olan Kutlular düzenli

depolama alanından görünüm aşağıdaki şekilde verilmiştir. 2007 yılından beri işletilen bu alanda yaklaşık 3.046.381 ton atık depolanmıştır.

TRAB-Rİ-KAB, 2007 yılından beri aşağıdaki katı atık yönetim sistemlerini işletmektedir. Düzenli depolama sahasında aşağıdaki üniteler bulunmaktadır;

- Düzenli depolama lotları (7,4 ha)
- İdari bina (200 m²)
- Atölye binası (110 m²)
- Sızıntı Suyu Dengeleme Havuzları
- Sızıntı Suyu Arıtma Tesisi
- Elektronik Araç Tartım Kantarı
- Araç Teker Yıkama Ünitesi
- Depo Gazından Enerji Üretim Tesisi

Kutlular düzenli depolama tesis alanında bulunan ve toplam 6.5 ha'lık lotun kapasitesi dolmuştur. Bu sebeple 2016 yılında 1.88 ha ek lot yapılmış 2020 yılının sonunda ek lotun da kapasitesi tamamlanmış ve katı atık düzenli depolama sahasına evsel katı atık alımı durdurularak nihai örtü ile ilgili proje ve yapım çalışmaları başlatılmıştır.

Kutlular düzenli depolama alanından görünüm aşağıdaki Şekil 51.'de verilmiştir.



Şekil 51. Kutlular düzenli depolama alanından görünüm

3.1.4. Çalışma Alanı Genel Bilgileri

Karadeniz sahili ile Doğu Karadeniz Dağları arasında yer alan ve 4,685 km² yüzölçümüne sahip 18 ilçeli Trabzon ili, 38° 39’-40° 30’ doğu meridyenleri ile 40° 30’ ve 41° 30’ kuzey paralelleri arasında yer almaktadır. Batısında Giresun/ Eynesil ilçesi, güneyinde Gümüşhane/ Torul ilçesi ve Bayburt ili, doğusunda da Rize ilinine bağlı İkizdere ve Kalkandere ilçeleri, kuzeyinde ise Karadeniz bulunmaktadır. Dar bir sahil şeridinin ardından denize dik uzanan dağlık bir araziye sahip olan iç kesimleri dağlar ve vadilerden oluşmaktadır. Bu durum kıyıda dar bir alanda yer alan merkezindeki yapılaşmanın nüfus artışına paralel olarak köylere kadar ulaşmasına neden olmuştur. Yükseklik, deniz seviyesinden başlayarak güneye doğru artmakta ve yer yer 3000 metreyi bulmaktadır. Yüksek kesimlerde dağlar, tepeler ve yaylalar bulunmaktadır.

Batısında Trabzon, doğusunda Artvin, Güneybatısında Bayburt, güneyinde Erzurum illeri yer alan ve 3,920 km² yüzölçümüne sahip 12 ilçeli Rize ili, 40° 21’-41° 25’ doğu boylamları ile 40° 33’-41° 20’ kuzey enlemleri arasında yer almaktadır. Şehirde topografik yapıya uygun olarak dağınık bir biçimde yerleşim düzeni olmakla birlikte, şehrin merkezinde de toplu yerleşim görülmektedir. Şehrin iç kesimlerinde, zengin ormanlarla kaplı yaylalar (Ayder, Anzer, Çat, Elevit ve Handüzü yaylaları) turizm gelirlerini artırmakta ve bu durum bölgenin ekonomik olarak kalkınma göstermesinde büyük rol oynamaktadır.

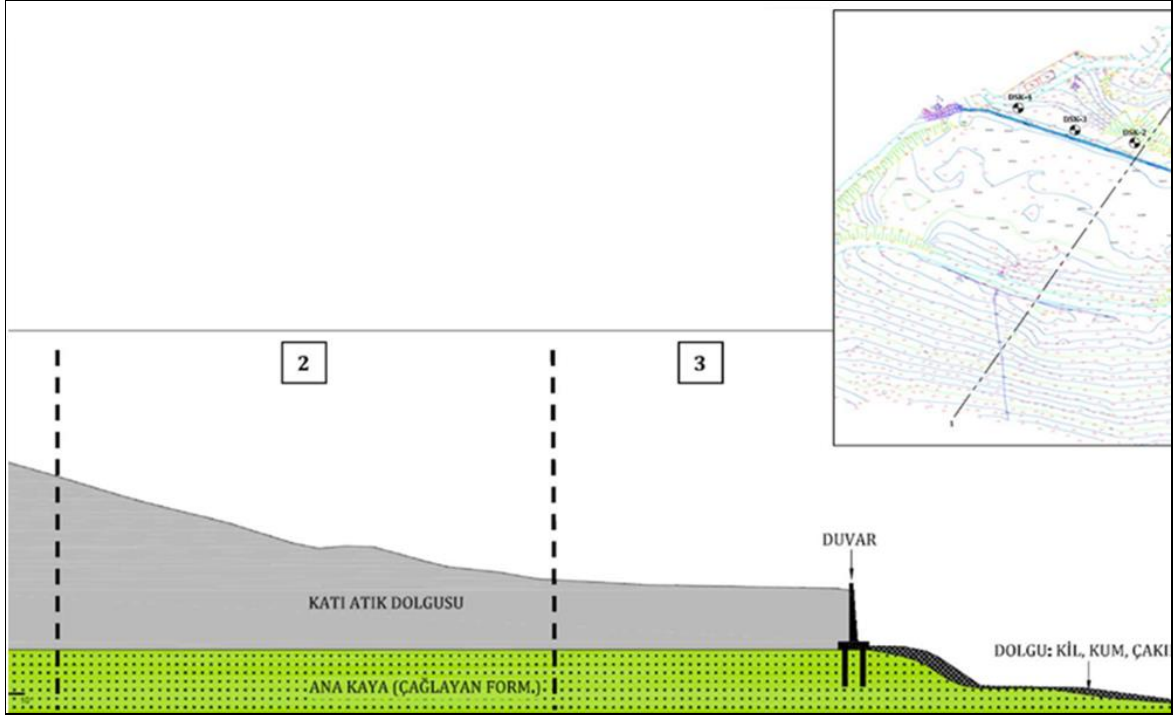
3.1.5. Atık Dolgusu ve İstinat Yapısı Özellikleri

Kutlular katı atık depolama sahası, açık işletme şeklindeki eski bir maden ocağı içerisinde bulunmaktadır. Bu bölge, sağlam kaya şevleri ile çevrelenmiş, oldukça korunaklı ve stabil durumdaki bir çukurluk şeklindedir. Ancak sahanın kuzey tarafındaki aksında, düşük kotlara sahip bir topoğrafik çöküntü (açıklık) bulunmaktadır. Bu nedenle, depolama alanının bu kesimi, 11 m yüksekliğinde, donatılı beton istinat duvarı ile korunmuş ve desteklenmiştir.

Sahadaki dolgu şevleri genellikle düzensiz olup, 3 farklı bölge görünümündedir. Depolamanın tamamlandığı sahanın, kuzey tarafındaki üst kotlarda, katı atık şevleri dik ve düzensizdir Orta bölge ise, nispeten daha stabil (%30) eğimli atık şevlerine sahip olup, farklı seviyelerde yatay platformlar inşa edilerek dolgu stabilitesi arttırılmıştır. Mevcut istinat

duvarının gerisindeki alt bölge ise, 50 m boyunca yataya yakın konumda olup, gayet stabil şekilde atık depolanmıştır.

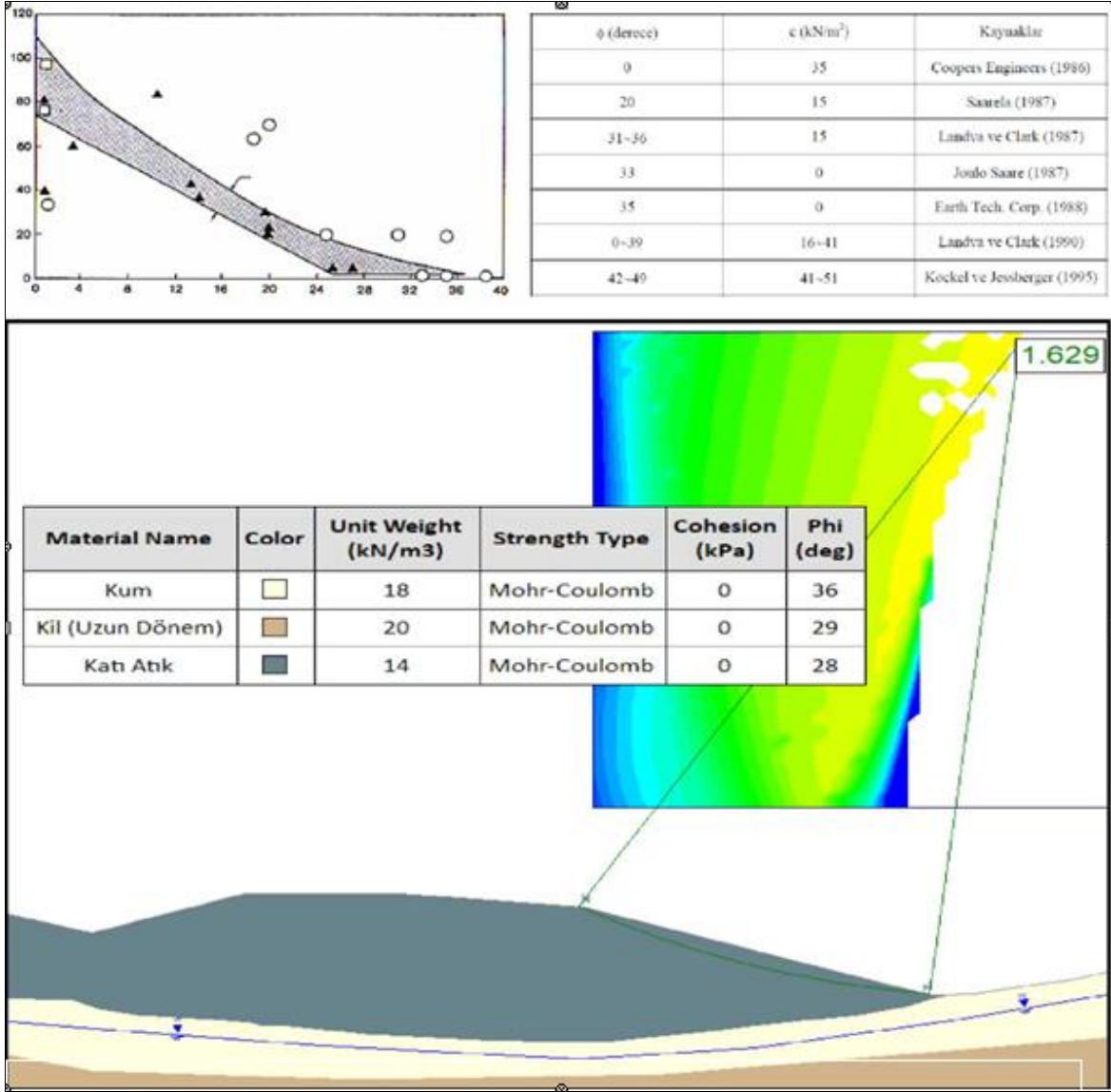
Aşağıda depolama sahasına ait kesit Şekil 52.'de verilmiştir.



Şekil 52. Genel saha kesiti (TRAB-Rİ KAB)

3.1.6. Şev Stabilitesi Değerlendirmeleri

Katı atık şevlerinin stabilite incelemesinde, dış stabilite ve iç stabilite koşulları dikkate alınmıştır. Atık sahasınının tabanında kayaç varlığı ve dolguyu destekleyen kazıklı perde duvar nedeniyle, taban kayaçlarının içinden geçen kaymaların oluşması söz konusu değildir. Ancak dolgunun kendi içindeki uzun dönemli stabilite açısından incelenmesi gerekir. Katı atık şevlerinin 3 Yatay: 1 Düşey eğimlerle düzenlenmesi durumunda, uzun dönemdeki güvenlik katsayısı $GK > 1.5$ değerinin üzerinde olup, gerekli stabilite koşulları sağlanmaktadır. Moohr-Coulomb Hesaplama yöntemine göre Şekil 53.'te görüleceği üzere katı atıklar için sürtünme açısı 28° olduğunda mukavemet 28 KN/m^3 'tür.



Şekil 53. Katı atıklar için sürtünme açısı-kohezyon diyagramı/Mukavamet parametreleri (TRAB-Rİ KAB)

3.1.7. İklim

Trabzon ilinde, yazlar serin kışlar ılık geçmekle birlikte her mevsim yağış alan Karadeniz iklimi görülür. Güneye dağlık bölgeye doğru gidildikçe iklim sertleşir ve kıyıda yağmur olarak görülen yağış yüksek yerlerde kar şekline dönüşür. Yılın 140 günü yağış alan şehrin yıllık yağış miktarı 730 mm ile 1680 mm arasında değişmektedir. Şimdiye kadar tespit edilen en düşük sıcaklık -7,4°C (9 Şubat 1929) ve en yüksek sıcaklık 38,2°C (20 Ağustos 1941) olmuştur.

Rize ilinde, yazları serin ve kışları ılık geçmekle birlikte her mevsim bol yağış görülen bir iklim görülmektedir. Yıllık yağış ortalaması merkez ilçede 2500 mm civarında olup yılın 140 günü yağış aldığından şehir, Türkiye'nin en çok yağış alan yeridir. Kıyıda uzaklaştıkça iklim sertleşir. Kafkas Dağları, Rize ilini soğuk kuzey rüzgârlarından korur. Yıllık ısı ortalaması 15°C'dir (Merkez ilçede) ve sıcaklık -6,9°C ile 37,9°C arasında değişmektedir.

3.1.8. Nüfus Tahminleri

Trabzon ve Rize illerindeki katı atık sorununa çözüm bulmak amacıyla buralardaki katı atık miktarlarının tespit edilmesi için öncelikle bu illere ait nüfus tahminlerinin yapılması gerekmektedir. Trabzon ve Rize İlleri Yerel Yönetimleri Katı Atık Birliği (TRAB-Rİ KAB) üyelerinin 2019 yılındaki toplam nüfusu 1.059.306 kişi olup 30 yıllık dönem için nüfus tahmini yapılmıştır.

Nüfus tahminleri yapılırken bölgenin iklim, enerji, yoksulluk, gıda, küresel ekonomi, politik istikrarsızlık gibi pek çok özelliklerinin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. İllerin sosyo-ekonomik durumu ve bölgesel özellikleri dikkate alınarak İller Bankası yöntemi, Aritmetik Artış Yöntemi ve Geometrik Artış Yöntemi gibi farklı yöntemlerle TRAB-Rİ KAB'a üye belediyeler için gelecek nüfus öngörüsü yapılmıştır.

- Nüfus Projeksiyonlarının Karşılaştırılması

İller Bankası yöntemi, aritmetik artış yöntemi ve geometrik artış yöntemi ile elde edilen sayısal sonuçlar değerlendirilerek tahmini nüfus hesaplaması yapılarak aşağıdaki Tablo 14.'te oluşturulmuştur.

Tablo 14. TRAB-Rİ KAB'ın nüfus projeksiyonu

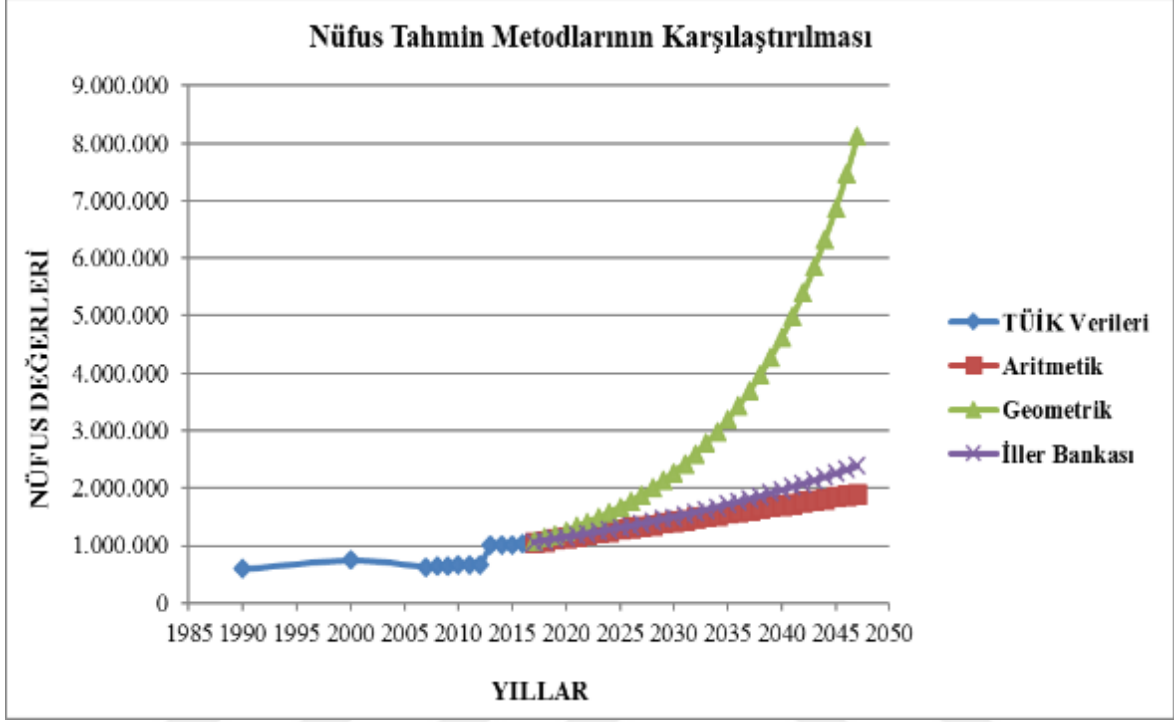
Yıllar	Aritmetik Artış Yöntemine Göre Nüfus	Geometrik Artış Yöntemine Göre Nüfus	İller Bankası Yöntemine Göre Nüfus
1990	596.164	596.164	596.164
2000	745.613	745.613	745.613
2007	631.929	631.929	631.929
2008	633.988	633.988	633.988
2009	649.434	649.434	649.434
2010	657.328	657.328	657.328
2011	663.628	663.628	663.628
2012	668.903	668.903	668.903

Tablo 14'ün devamı

Yıllar	Aritmetik Artış Yöntemine Göre Nüfus	Geometrik Artış Yöntemine Göre Nüfus	İller Bankası Yöntemine Göre Nüfus
2013	1.009.341	1.009.341	1.009.341
2014	1.014.949	1.014.949	1.014.949
2015	1.016.088	1.016.088	1.016.088
2016	1.028.144	1.028.144	1.028.144
2017	1.056.385	1.079.717	1.055.889
2018	1.084.626	1.135.191	1.084.426
2019	1.112.867	1.194.912	1.113.782
2020	1.141.108	1.259.255	1.143.973
2021	1.169.349	1.328.632	1.175.024
2022	1.197.590	1.403.501	1.206.965
2023	1.225.831	1.484.360	1.239.823
2024	1.254.072	1.571.761	1.273.623
2025	1.282.313	1.666.314	1.308.395
2026	1.310.554	1.768.684	1.344.163
2027	1.338.795	1.879.610	1.380.955
2028	1.367.036	1.999.904	1.418.803
2029	1.395.277	2.130.469	1.457.741
2030	1.423.518	2.272.290	1.497.799
2031	1.451.759	2.426.468	1.539.008
2032	1.480.000	2.594.213	1.581.402
2033	1.508.241	2.776.866	1.625.016
2034	1.536.482	2.975.912	1.669.887
2035	1.564.723	3.192.989	1.716.050
2036	1.592.964	3.429.919	1.763.549
2037	1.621.205	3.688.722	1.812.417
2038	1.649.446	3.971.634	1.862.694
2039	1.677.687	4.281.135	1.914.424
2040	1.705.928	4.619.980	1.967.647
2041	1.734.169	4.991.228	2.022.408
2042	1.762.410	5.398.282	2.078.754
2043	1.790.651	5.844.913	2.136.729
2044	1.818.892	6.335.325	2.196.385
2045	1.847.133	6.874.193	2.257.765
2046	1.875.374	7.466.720	2.320.922
2047	1.903.615	8.118.699	2.385.911

Nüfus tahmin metodlarının sonuçları aşağıdaki Şekil 54.'te gösterilmiştir. TÜİK verilerine göre geçmiş yıllara ait nüfus sayım sonuçlarını gösteren eğrinin eğimi ile tüm metodlara göre yapılan nüfus tahmin sonuçlarını gösteren eğrilerin eğimleri karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma neticesinde geçmiş yılların nüfus sayım eğrisinin eğimine en yakın eğime sahip olan metod İller Bankası metodu olarak belirlendiğinden

mevcut düzenli depolama sahasına gelebilecek atık miktarının hesaplanmasında bu metodunun nüfus projeksiyonlarının kullanılmasına karar verilmiştir.



Şekil 54. Nüfus tahmin metodlarının karşılaştırılması

Yapılan değerlendirme sonucunda projede kullanılmasına karar verilen nüfus değerleri Tablo 15.'te verilmektedir.

Tablo 15. İller bankası metoduna göre nüfus değerleri

Yıllar	İller Bankası Metoduna Göre Nüfus Artış Senaryosu
2016	1.028.144
2017	1.055.889
2018	1.084.426
2019	1.113.782
2020	1.143.973
2021	1.175.024
2022	1.206.965
2023	1.239.823
2024	1.273.623
2025	1.308.395
2026	1.344.163

Tablo 15'in devamı

Yıllar	İller Bankası Metoduna Göre Nüfus Artış Senaryosu
2027	1.380.955
2028	1.418.803
2029	1.457.741
2030	1.497.799
2031	1.539.008
2032	1.581.402
2033	1.625.016
2034	1.669.887
2035	1.716.050
2036	1.763.549
2037	1.812.417
2038	1.862.694
2039	1.914.424
2040	1.967.647
2041	2.022.408
2042	2.078.754
2043	2.136.729
2044	2.196.385
2045	2.257.765
2046	2.320.922
2047	2.385.911

3.1.9. Yıllara Dayalı Birim Atık Miktarları

TRAB-Rİ KAB'a üye bütün belediyelerin mücavir alanlarında toplanan evsel katı atıkların tamamı tartım işlemi yapılarak aktarma istasyonuna alınmakta ve daha sonrasında büyük hacimli tırlarla Çamburnu-Kutlular düzenli depolama alanına gönderilmektedir. Depolama alanındaki kantar verilerine göre aşağıdaki Tablo 16.'da görüleceği üzere TRAB-Rİ KAB için 2014 yılı içerisinde kişi başına düşen günlük atık miktarı 0,704 kg'dır.

Tablo 16. TRAB-Rİ KAB için 2014 yılı atık verileri

	Nüfus (kişi)	Atık (ton/yıl)	Birim Atık (kg/gün kişi)
Trabzon	766.782	205.728	0,735
Rize	329.779	73.280	0,610
TRAB-Rİ KAB	1.014.949	260.982	0,704

Türkiye genelinde İSTAÇ tarafından yapılan atık karakterizasyon çalışmasında yer alan Trabzon ve Rize illerinin 2014 yılına ait atık miktarları ile birim atık oluşum verileri esa esas alınarak TRAB-Rİ KAB'a üye belediyelerin birim atık oluşum tahminleri Tablo 17.'de hesaplanmıştır.

Tablo 17. Yıllara göre atık oluşum tahminleri ve atık oluşum artışı (TRAB-Rİ KAB)

Yıllar	Birim Atık Oluşum Tahminleri, kg/kişi.gün	Birim Atık Oluşumunun Artışı, %
2014	0,70449	
2015	0,71153	1,00
2016	0,71865	1,00
2017	0,72584	1,00
2018	0,73309	1,00
2019	0,74042	1,00
2020	0,74783	1,00
2021	0,75531	1,00
2022	0,76286	1,00
2023	0,77049	1,00
2024	0,77819	1,00
2025	0,78598	1,00
2026	0,79187	0,75
2027	0,79781	0,75
2028	0,80379	0,75
2029	0,80982	0,75
2030	0,81590	0,75
2031	0,81997	0,50
2032	0,82407	0,50
2033	0,82820	0,50
2034	0,83234	0,50
2035	0,83650	0,50
2036	0,83859	0,25
2037	0,84069	0,25
2038	0,84279	0,25
2039	0,84489	0,25
2040	0,84701	0,25
2041	0,84701	0,00
2042	0,84701	0,00
2043	0,84701	0,00
2044	0,84701	0,00
2045	0,84701	0,00
2046	0,84701	0,00

3.1.10. Atık Karakterizasyonu

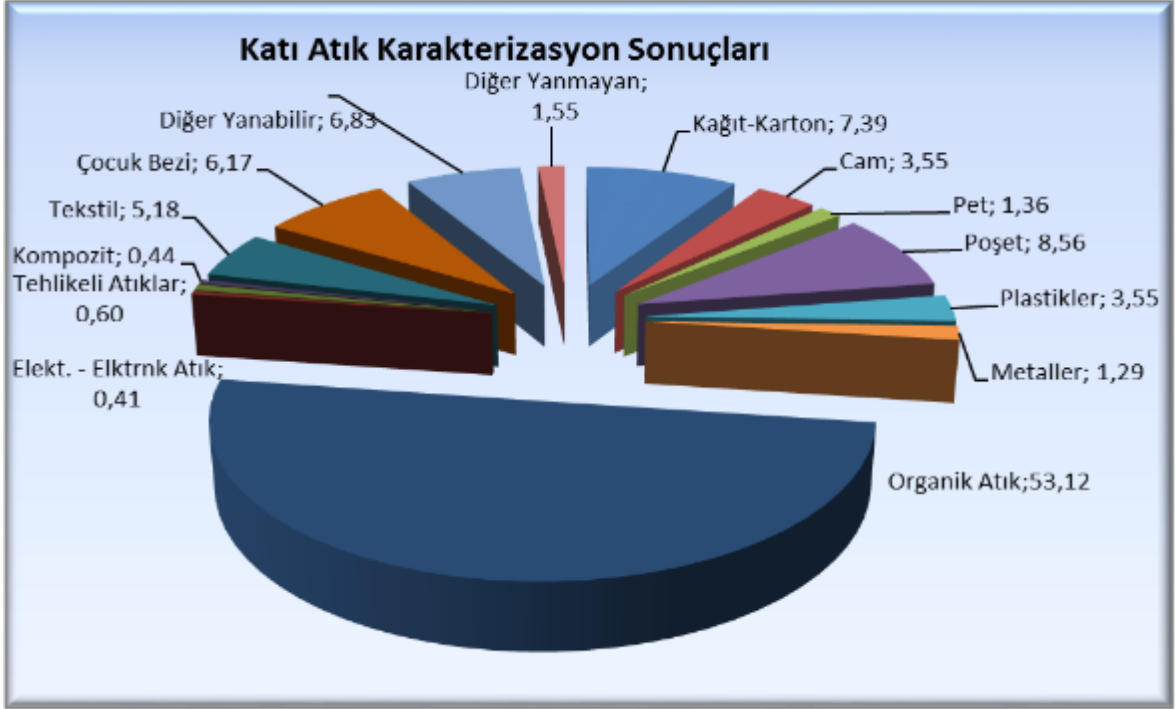
Atık yönetimi çalışmalarına başlamadan önce atık karakterizasyonu yapılarak “atık miktarı, atık yoğunluğu, madde grup analizi, nem muhtevası, kızdırma kaybı, kalorifik değeri” elementel analizlerle tespit edilip atığın özelliklerini belirlemek gerekmektedir. Bu analizler, atıkların termal yöntemlerle bertarafında ve enerji elde edilmesi düşünüldüğünde atık içerisinde yanabilir kısım ve organik madde miktarının tespitinde büyük önem taşımaktadır.

Trabzon ve Rize illerinde toplanan evsel atıkların tamamı aktarma istasyonlarına getirildikten sonra düzenli depolama sahasında bertaraf edildiğinden karakterizasyon çalışmaları; Deliklitaş, Of-Eskipazar ve Çarşıbaşı aktarma istasyonlarında ve Çamburnu/Kutlular katı atık düzenli depolama sahasında yapılmıştır.

Aktarma istasyonlarında yapılan karakterizasyon çalışmasında; toplam 24 numuneden 14’ü merkez ilçelerden, 10’u da merkez dışı ilçe ve beldelerden atık getiren araçlardan alınarak sosyo-ekonomik gelişmişliğin atığın muhtevasındaki etkisi araştırılmıştır (TRAB-Rİ KAB).

Düzenli depolama sahasında yapılan çalışmada ise ayrıştırma işlemi için homojen karışım yapılmış, 0,5 m³’lük numuneler alınarak ve toplamda yaklaşık 3.036 kg atığa işlem uygulanmıştır. Bu çalışmalar neticesinde serbest atık yoğunluğu ortalamasının 253 kg/m³ olduğu tespit edilmiştir.

Karakterizasyon çalışmalarına ait sonuçlar aşağıdaki Şekil 55.’te verilmektedir.



Şekil 55. Trabzon ve Rize illerine ait atık karakterizasyon sonuçları (TRAB-Rİ KAB)



Şekil 56. Karakterizasyon çalışmasından görüntüler (TRAB-Rİ KAB)

Karakterizasyon çalışmalarına ait görüntüler Şekil 56.'da verilmiş olup bu çalışmalar sonbahar mevsiminde yapılmış olduğundan atık içerisindeki kül miktarı oldukça düşük çıkmış ve bu durum kül bileşenin de içerisinde yer aldığı üst kategori olan diğer yanmayan bileşenin miktarının da çok düşük olmasına neden olmuştur.

Çalışmanın yapıldığı yer, Türkiye'nin en çok yağış alan bölgelerindendir. Açık konteyner sistemi ile atık toplamanın yapıldığı bölgelerde yağışlı zamanlarda su tutma kapasitesi yüksek olan atıklarda ağırlıkça artış olması beklenen bir sonuçtur.

Atıkların özelliklerini belirlemek için toplam 24 numune üzerinde yapılan çalışmaların laboratuvar analiz sonuçları Tablo 18.'de verilmiş olup bu çalışmalar neticesinde ortalama su muhtevası %50,6 bulunmuştur. Çalışmanın yapıldığı süre ve 2-3 hafta öncesindeki dönemde önemli düzeyde yağış olmadığından su muhtevası değeri beklenen değerin altında tespit edilmiştir.

Tablo 18. Trabzon ve Rize illerinin atıklarına ait laboratuvar analizleri sonuçları (TRAB-Rİ KAB)

TARİH	NUMUNE	NEM %	ÜST KALORİ- Kcal/Kg	ALT KALORİ- Kcal/Kg	Loi %
08.10.2017	1-T-M	52,7	3554	1373	77,8
	2-T-M	56,7	4166	1474	88,3
	3-R-M	52	4582	1897	90,5
	4-O-M	38	4062	2294	85,4
	5-T-M	53,4	3912	1511	84,1
	6-Ç-D	54,7	4380	1666	86
	7-O-D	55,8	4369	1605	86,9
	8-T-D	59,8	4130	1309	86
	9-R-M	50,9	4127	1727	89,3
	10-T-M	42,3	3840	1969	83,2
	11-T-D	48	3925	1760	81,4
	12-R-M	49	3340	1418	81,7
09.10.2017	13-T-M	43,5	3893	1943	85,6
	14-T-M	48,6	4089	1818	88,3
	15-T-M	47	3969	1828	83,5
	16-Ç-D	54,4	3499	1279	78,4
	17-O-D	49,4	3670	1567	77,3
	18-R-M	64,1	3975	1050	88
	19-T-M	56,1	4100	1471	88,6
	20-O-D	37	4053	2339	87,8
	21-R-M	41,9	4353	2284	92,3
	22-T-D	53,7	4027	1550	89
	23-T-D	48,7	3947	1739	88,4
	24-R-M	55,9	4157	1506	79,9
ORTALAMA		50,6	4004,7	1682,4	85,3

Yapılan çalışmanın sonucunda atık üst kalorifik değeri 3.340-4.582 kcal/kg aralığında, atık alt kalorifik değeri ise atığın %50,6 nem muhtevasına bağlı olarak yaklaşık 1.682 kcal/kg olarak bulunmuştur. Atık alt kalorifik değeri yağışlı mevsimlerdeki nem miktarındaki artışla beraber azalacağından ortalama atık nem muhtevasının %60 olarak alınması durumunda bu değer 1.250 kcal/kg olarak bulunmaktadır.

3.1.11. Oluşacak Atık Miktarları

Yukarıda verilen İller Bankası metoduna göre yapılan nüfus tahmin değerleri üzerinden Trabzon ve Rize illerinde günlük ve yıllık atık oluşum miktarları hesaplanmış olup Tablo 19.'da verilmektedir.

Tablo 19. Günlük ve yıllık atık miktarları (TRAB-Rİ KAB)

Yıllar	Günlük Atık Oluşumu, kg/gün	Yıllık Atık Miktarı ton/yıl	Yıllar	Günlük Atık Oluşumu, kg/gün	Yıllık Atık Miktarı ton/yıl
2014	715.020	260.982	2031	1.261.948	460.611
2015	722.981	263.888	2032	1.303.193	475.666
2016	738.875	269.689	2033	1.345.830	491.228
2017	766.402	279.737	2034	1.389.907	507.316
2018	794.986	290.170	2035	1.435.472	523.947
2019	824.672	301.005	2036	1.478.893	539.796
2020	855.496	312.256	2037	1.523.673	556.141
2021	887.504	323.939	2038	1.569.855	572.997
2022	920.746	336.072	2039	1.617.486	590.382
2023	955.270	348.674	2040	1.666.610	608.313
2024	991.126	361.761	2041	1.712.993	625.242
2025	1.028.367	375.354	2042	1.760.718	642.662
2026	1.064.403	388.507	2043	1.809.823	660.585
2027	1.101.739	402.135	2044	1.860.352	679.029
2028	1.140.424	416.255	2045	1.912.341	698.005
2029	1.180.510	430.886	2046	1.965.836	717.530
2030	1.222.047	446.047	2047	2.020.882	737.622

3.1.12. Gaz Potansiyelinin Belirlenmesi

Katı atık depolama sahalarında oluşacak gaz miktarının belirlenmesi amacıyla birçok farklı model geliştirilmiştir. Geliştirilen bu modellerde; “atığın depolama zamanı, depolanan

atığın miktarı ve atıkların özellikleri”yle ilgili veriler esas alınmaktadır. Türkiye için kullanılan en yaygın ve en güvenilir model EPA’nın (Environmental Protection Agency) geliştirdiği LandGEM (Depo Gazı Emisyon Modeli) ve Tabasaran Modellerine göre Trabzon ilindeki düzenli depolama sahasında oluşacak tahmini gaz miktarları ve metan miktarları Tablo 20.’de verilmiştir.

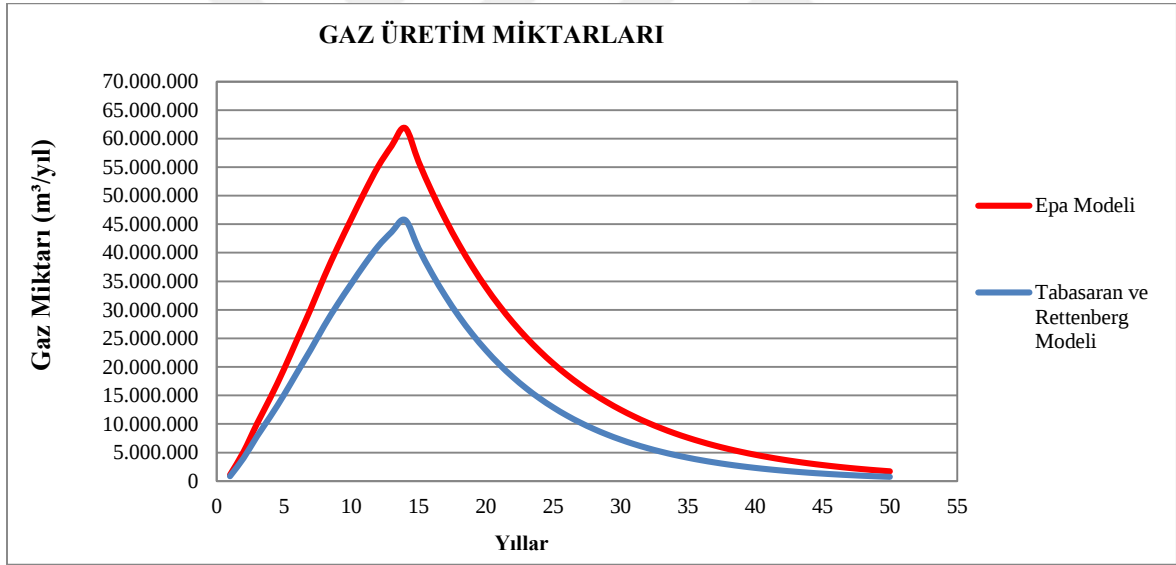
Tablo 20. Farklı gaz modellerine göre oluşacak gaz ve metan miktarları

Yıllar		Atık Miktarı (ton)	Oluşacak Gaz Miktarı (m3/yıl)		Oluşacak Metan Miktarı(m3/yıl)	
			LandGEM	Weber	LandGEM	Weber
1	2007	32.526	1.059.507,00	832.537,10	540.348,57	424.593,92
2	2008	126.356	5.074.620,00	3.976.214,00	2.588.056,20	2.027.869,14
3	2009	166.033	10.000.090,00	7.793.593,00	5.100.045,90	3.974.732,43
4	2010	170.581	14.604.986,00	11.312.247,00	7.448.542,86	5.769.245,97
5	2011	194.225	19.541.851,00	15.053.443,00	9.966.344,01	7.677.255,93
6	2012	221.155	24.886.134,00	19.077.090,00	12.691.928,34	9.729.315,90
7	2013	235.471	30.188.172,00	23.029.601,00	15.395.967,72	11.745.096,51
8	2014	260.982	35.816.654,00	27.205.262,00	18.266.493,54	13.874.683,62
9	2015	263.888	41.004.175,00	31.001.205,00	20.912.129,25	15.810.614,55
10	2016	269.689	45.887.001,00	34.532.826,00	23.402.370,51	17.611.741,26
11	2017	280.801	50.667.129,00	37.964.810,00	25.840.235,79	19.362.053,10
12	2018	284.685	55.118.885,00	41.122.984,00	28.110.631,35	20.972.721,84
13	2019	271.890	58.730.214,00	43.610.208,00	29.952.409,14	22.241.206,08
14	2020	268.099	61.874.392,00	45.729.914,00	31.555.939,92	23.322.256,14
15	2021	0	55.986.265,00	40.756.829,00	28.552.995,15	20.785.982,79
16	2022	0	50.658.467,00	36.324.562,00	25.835.818,17	18.525.526,62
17	2023	0	45.837.677,00	32.374.300,00	23.377.215,27	16.510.893,00
18	2024	0	41.475.645,00	28.853.625,00	21.152.578,95	14.715.348,75
19	2025	0	37.528.716,00	25.715.820,00	19.139.645,16	13.115.068,20
20	2026	0	33.957.386,00	22.919.249,00	17.318.266,86	11.688.816,99
21	2027	0	30.725.914,00	20.426.802,00	15.670.216,14	10.417.669,02
22	2028	0	27.801.956,00	18.205.407,00	14.178.997,56	9.284.757,57
23	2029	0	25.156.250,00	16.225.586,00	12.829.687,50	8.275.048,86
24	2030	0	22.762.317,00	14.461.068,00	11.608.781,67	7.375.144,68
25	2031	0	20.596.196,00	12.888.441,00	10.504.059,96	6.573.104,91
26	2032	0	18.636.209,00	11.486.835,00	9.504.466,59	5.858.285,85
27	2033	0	16.862.739,00	10.237.652,00	8.599.996,89	5.221.202,52
28	2034	0	15.258.037,00	9.124.317,00	7.781.598,87	4.653.401,67
29	2035	0	13.806.043,00	8.132.056,00	7.041.081,93	4.147.348,56
30	2036	0	12.492.224,00	7.247.703,00	6.371.034,24	3.696.328,53
31	2037	0	11.303.432,00	6.459.522,00	5.764.750,32	3.294.356,22
32	2038	0	10.227.768,00	5.757.055,00	5.216.161,68	2.936.098,05
33	2039	0	9.254.467,00	5.130.981,00	4.719.778,17	2.616.800,31

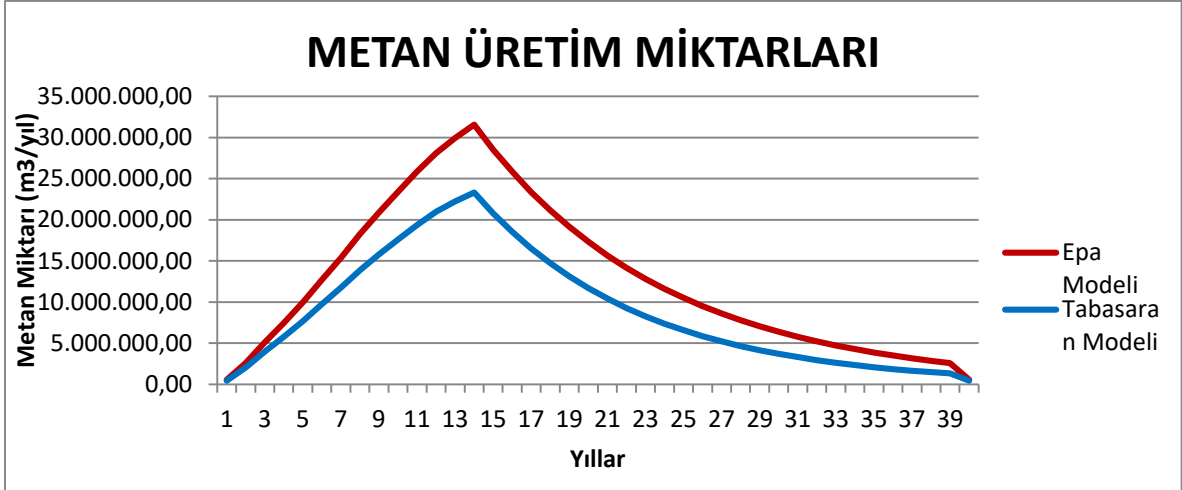
Tablo 20'nin devamı

Yıllar		Atık Miktarı (ton)	Oluşacak Gaz Miktarı (m ³ /yıl)		Oluşacak Metan Miktarı(m ³ /yıl)	
			LandGEM	Weber	LandGEM	Weber
34	2040	0	8.373.788,00	4.572.991,00	4.270.631,88	2.332.225,41
35	2041	0	7.576.917,00	4.075.683,00	3.864.227,67	2.078.598,33
36	2042	0	6.855.878,00	3.632.456,00	3.496.497,78	1.852.552,56
37	2043	0	6.203.455,00	3.237.430,00	3.163.762,05	1.651.089,30
38	2044	0	5.613.118,00	2.885.362,00	2.862.690,18	1.471.534,62
39	2045	0	5.078.959,00	2.571.582,00	2.590.269,09	1.311.506,82
40	2046	0	1.059.507,00	832.537,10	540.348,57	424.593,92

Depolanan atık miktarlarına bağlı olarak hesaplanan gaz ve metan miktarlarının karşılaştırılması Şekil 57. ve Şekil 58.'de yapılmıştır.



Şekil 57. Yıllara göre oluşacak gaz miktarları



Şekil 58. Yıllara göre oluşacak metan miktarları

Depo gazı miktarının hesaplanması bölümünde daha öncede bahsedilen EPA Modeline göre hesaplama yapılırken $Q_{CH_4} = L_0 \cdot R \cdot (e^{-kc} - e^{-kt})$ formülünde yer alan $k = 0,003-0,4 \text{ yıl}^{-1}$ değerleri verilmektedir. (k gaz üretim hızı sabiti yağışlı bölgelerde 0,1-0,35, orta derecede yağış alan bölgelerde 0,05-0,15, kurak bölgelerde ise 0,02-0,10 aralığında alınmaktadır.) Depolama tesisinin bulunduğu alan yağışlı bölge olduğu için k sabiti 0,1 olarak kabul edilmiş, $L_0=180\text{m}^3/\text{ton}$ kabullerine göre hesap yapılmıştır.

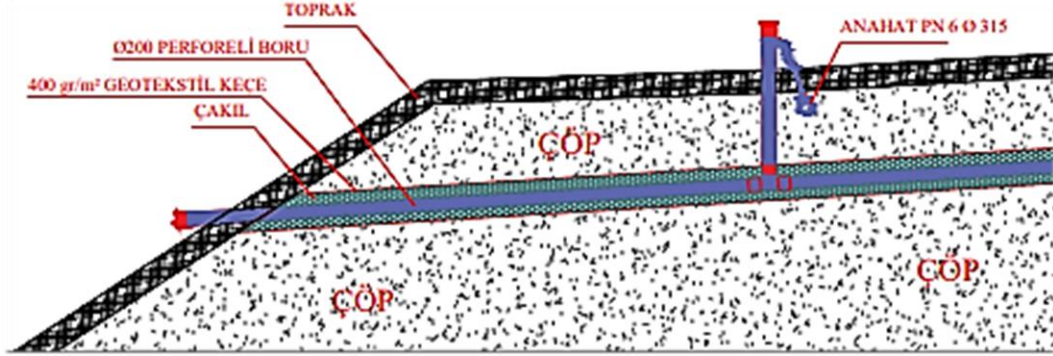
Tabasaran modelinde ise $k=0,025-0,05 \text{ yıl}^{-1}$ alınması önerildiğinden $G_e = 1,868 C_0(0,014T + 0,28)$ formülüne göre hesaplama yapılırken $k=0,05 \text{ yıl}^{-1}$, $C_0=180 \text{ kg/ton}$ atık, $T=30$ alınmıştır (İSTAÇ A.Ş., 2014).

3.1.13. Gaz Toplama Sistemi

Gaz toplama sisteminin verimliliği, enerji üretim tesisinin verimliliğini doğrudan etkileyen en önemli faktördür. Ülkemizde ilk olarak Ankara ili Mamak ilçesinde bulunan katı atık alanında başlayan evsel atıklardan elektrik enerji üretiminde kullanılan metotlar, yıllar içerisinde geliştirilerek Türkiye’de oluşan atığın karakteristik özelliklerine göre projelendirilmiştir.

Yurt dışından getirilen uzman kişilerden bu konularda yardım alınmış fakat yurt dışında uygulanan bu sistemlerden ülkemizde atıkların kaynağında ayrıştırma yapılamaması sebebiyle yeterli verim alınamamıştır.

Trabzon Rize Katı Atık Birliğine ait atık depolama alanında uygulanan gaz toplama ve enerji üretim tesisi güncel bilgiler ışığında işletmeye alınmıştır.



Şekil 59. Mevcut katı atık depolama sahası gaz toplama sistemi (Ahmet Kavalcıoğlu, kişisel görüşme, 2020)

Şekil 59.'da depolanmış atık içerisinde oluşan mevcut gazı toplamak için yapılmış bir adet yatay gaz toplama sistemi görülmektedir. Trabzon ilinde bulunan atık depolama alanının mevcut genişliğinden dolayı 2018 yılına kadar ortalama kanal uzunlukları 200 metreyi bulurken, saha atık alım alanının küçülmesi nedeniyle 2018 yılı itibarıyla ortalama kanal uzunlukları 100 metreye düşürülmüştür. Kanal genişliği ise yine mevcut depolama alanının atık yüksekliği ve genişliği ile alakalıdır. Ortalama 1,2 metre kanal derinliğinde uygulanmakta olan kanal sistemi son yıllarda depolama yüksekliklerinin 30 metreyi bulması nedeniyle Şekil 60.'da görüleceği üzere 1,5 metre olarak yapılmaktadır. Kanal genişliğinin artırılmasındaki amaç, yüksek depolamadan dolayı kanal başına düşen atık miktarının fazla olmasına bağlı olarak daha fazla gaz depolama hacmi oluşturabilmektir.



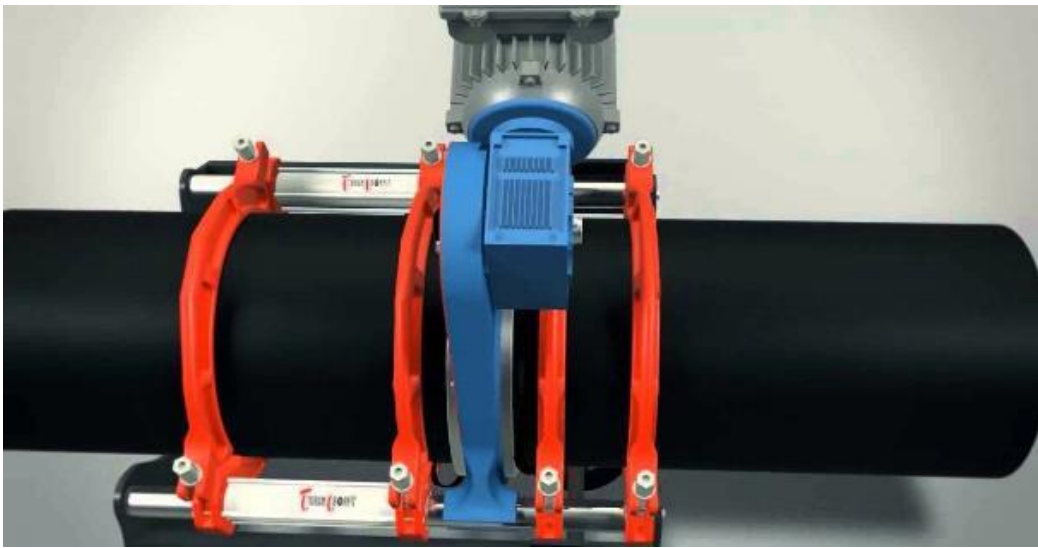
Şekil 60. Mevcut depolama alanında kanal açma çalışması (TRAB-Rİ KAB)

Atık depolama şekline göre değişen kanal aralıkları, atık depolama yüksekliği ortalama 30 metreleri bulan TRAB-Rİ KAB düzenli depolama sahasında 12-14 metre aralığındadır. Atık depolama işleminin yüksekliği gaz toplama verimini ciddi oranda düşürmektedir. Kanal aralıkları geniş ve atık yüksekliği fazla olduğundan maksimum alana vakum uygulayabilmek için (vakum çapı yaklaşık 7 metre olduğundan) atık alanının her tarafına aynı emme basıncıyla nüfuz etmek zorlaşmakta, bu durum gaz verimini düşürmekte ve gazın atmosfere kaçmasına neden olmaktadır. Ayrıca tek noktaya uzun süre atık alımı yapılmakta ve bu durum gaz veriminin en yüksek olduğu aşamalarda kanal yapımını engellemekte ve gaz üretiminin en verimli safhasında gazın atmosfere kaçmasını sağlamaktadır.



Şekil 61. Depolama sahasında kanal açılması (TRAB-Rİ KAB)

Şekil 61.'de de görüleceği üzere açılan kanalın eğimi, gaz toplama sistemi içerisine girecek sızıntı sularının yer çekim kuvveti ve vakum gücüyle en alt noktadan tahliye edilebilmesi için minimum %3 olmalıdır. Mevcut katı atık alanında depolanan atığın eğimi ve yüksekliğinden dolayı kanal eğimi yaklaşık olarak %10 civarındadır. Bu durum atığın çürümesinden kaynaklanacak oturmalar neticesinde kanal eğiminde yaşanacak bozuklukları minimize etmektedir. Kanal eğiminde yaşanacak bozukluklar, sızıntı ve kondens suyu toplanmasını olumsuz etkileyeceğinden kanal, işlevini yitirir ve gaz emme noktalarından gazın alınması imkânsız hâle gelir.



Şekil 62. Gaz toplama borusu kaynak makinesi (TRAB-Rİ KAB)

Fabrika çıkışı yaklaşık 13,5 metre olan borular, kanal boyu ölçülerek Şekil 62.'de de görülen alın kaynak makinesiyle ısıtılıp eritilerek birleştirilir. Kaynak işlemi yapılırken boruların çap ve kalınlıklarına göre verilen ısı ve kaynak süresi dikkate alınmalı ve soğuma süreleri beklenmelidir. Atık içerisine yapılan gaz toplama sistemlerinin dayanımını ve verimini en üst seviyede tutmak için kaynak işlemi azami öneme sahiptir.



Şekil 63. Kanal boru altı ve üstü çakıl uygulaması (TRAB-Rİ KAB)

Şekil 63.'te olduğu gibi kanal içine çakıl serilmesi boru alt ve üstüne 70-80 cm kalınlığında yapılır. Çakıl, gaz toplama sisteminin en önemli unsurlarından biridir. Kullanılan çakıl kalsiyum karbonat açısından en düşük seviyede olan dere çakılı ve yıkanmış çakıl olmalıdır. Çakıl hem sızıntı suları için tahliye oluştururken aynı zamanda gazın boru içerisine aktarılması için depo görevi de görür. Sızıntı suyu asit oranı çok yüksek olacağından Şekil 64.'te görüldüğü üzere uygun olmayan çakıl, özelliğini kaybederek gaz aktarımını imkânsız hâle getirebilir.



Şekil 64. Gaz toplama sisteminde standartlara uygun çakıl kullanılmaması (TRAB-Rİ KAB)



Şekil 65. Gaz toplama sisteminde gaz çekim noktası (TRAB-Rİ KAB)

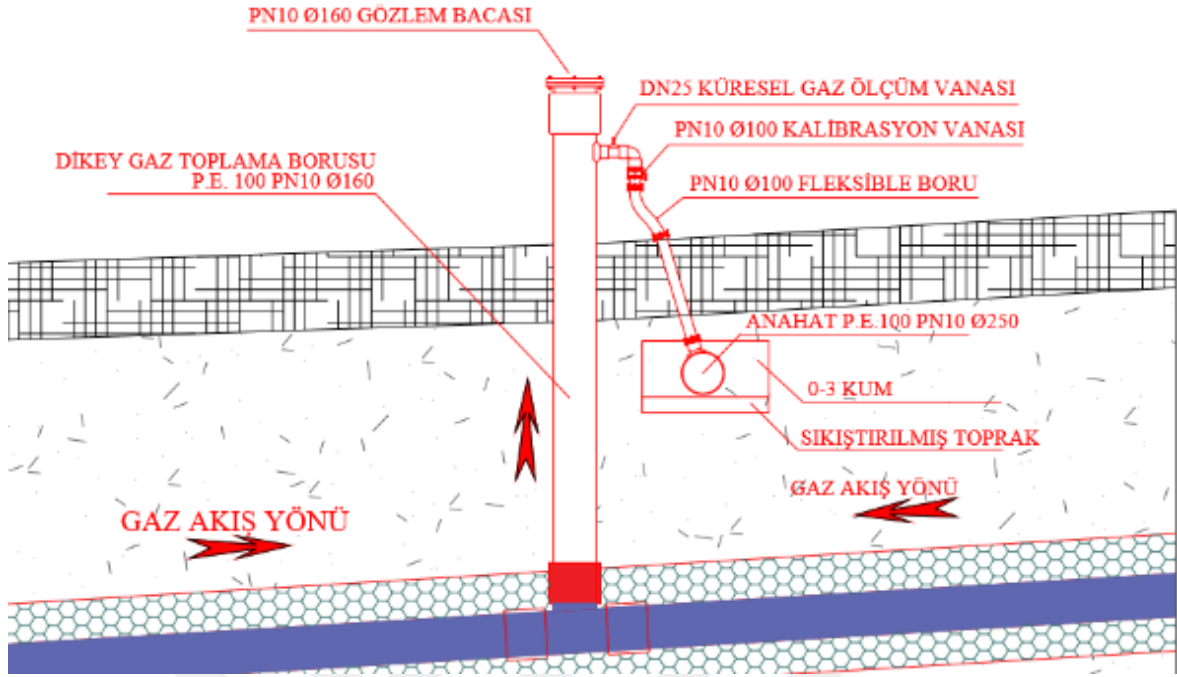
Şekil 65.'te gaz toplama sisteminde kanala çakıl serilip boru yerleştirildikten sonra boruya gaz çekim (emme) sisteminin yapılışı gösterilmektedir.



Şekil 66. Gaz toplama kanalına geotekstil serilmesi (TRAB-Rİ KAB)

Son olarak kanal kapatılmadan önce kanal çakıl drenajının ömrünü uzatmak amacıyla çakılın üzeri tamamen Şekil 66.'da olduğu gibi geotekstil keçe ile örtülür ve üzeri atık ile kapatılır. Geotekstil keçe için en uygun aralık 400 gr/m^2 dir. Fakat aşırı yağış alan bölgede yağmur suyu, sızıntı sularına karıştığından sızıntı suyunun debisini çok fazla artırmakta ve bu nedenle Çamburnu/Kutlular katı atık düzenli depolama sahasında 500 gr/m^2 geotekstil keçe kullanılmaktadır.

Yapılan tüm uygulamalar maliyetleri yükseltmekle birlikte gaz toplama sisteminin veriminin ve çalışma süresinin artırılması açısından azami öneme sahiptir.



Şekil 67. Gaz toplama sisteminde emme bacası kesiti (Ahmet Kavalcıoğlu, kişisel görüşme, 2020)

Yukarıdaki Şekil 67’de mevcut depolama sahasında uygulanan gaz toplama sisteminin bir parçası olan kanallardan gelen gazı ana gaz toplama sistemine aktaran emme bacası kesiti görülmektedir.

PN10 Ø200 mm çapında gaz toplama borusuna yukarı yönlü bir emme noktası bırakılır. Bu Ø200’lük emme borusunun içerisine atığın çürümesi ve sıkışması sonucunda oluşacak hareketleri minimize edebilmek için Ø160 mm çapında boru dikey olarak kaynak yapılır. Bu borunun uzunluğu en az 1,5 metre olmalıdır. Ø160’lık boruda ise ana gaz toplama hattına bağlanabilmesi için Ø160’dan Ø100’a redüksiyon ile düşürülerek bir bağlantı noktası bırakılır.

P10 Ø100 Flexible boru yaz kış sıcaklık farklarından kaynaklı uzama ve kısalmalar sonucu oluşabilecek kırılmalar için kullanılır. Fakat atık alım alanının ve atık depolamanın uygunsuz olması neticesi Trabzon’da kullanılmamaktadır.



Şekil 68. Mevcut depolama alanı gaz çekme bacası (TRAB-Rİ KAB)

Mevcut depolama sahasında kanal tamamen kapatıldıktan sonra Ø200 mm çapında gaz toplama borularını Ø315'lik ana gaz toplama hattına bağlamak için yapılan dikey yönlü boru bağlantısı Şekil 68.'de görülmektedir. Bu noktada yapılacak bağlantı ile birlikte ölçüm noktası ve gaz ayar vanası imal edilir ve mümkün olan en yakın noktadan ana gaz toplama noktasına giriş bağlantısı yapılır. Fakat mevcut depolama alanındaki atık depolama yönteminin elverişli olmamasından dolayı ana gaz toplama hattı ile emme noktası arasında uzun bağlantılar oluşmaktadır. Bu durum artan boru uzunluğu ve hacmiyle emme basıncında artışlara sebebiyet vermektedir. Emme basıncındaki artış da atık alanı içerisine oksijen girişi riskini artırdığından gaz üretimi mevsim geçişlerinden ciddi olarak etkilenmektedir.



Şekil 69. Mevcut depolama sahasında gaz ölçümü (TRAB-Rİ KAB)

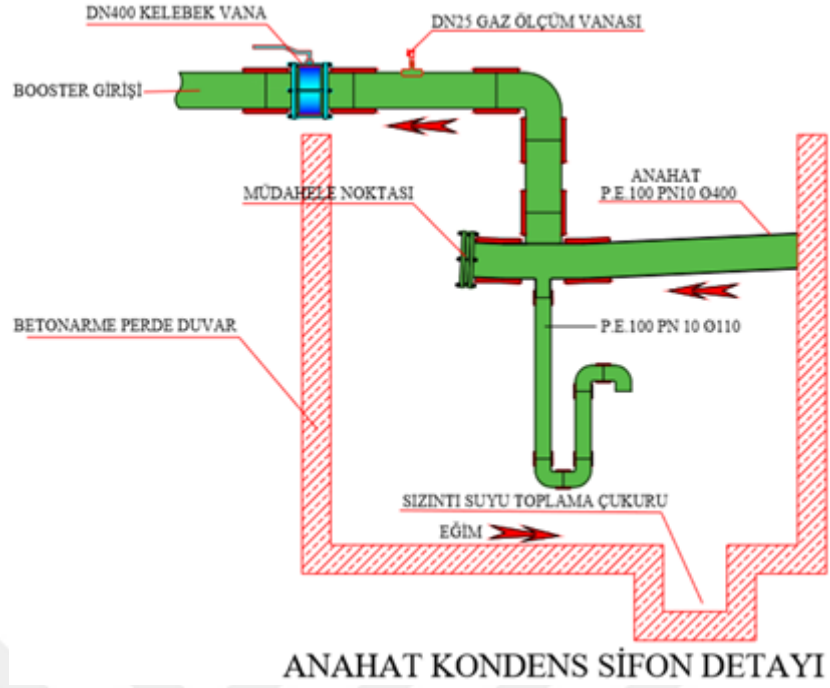
Her bir hatta mevcut gaz miktarını ve gazın özelliklerini belirleyebilmek için bir adet ölçüm noktası ve ayarlanabilir vana konularak Şekil 69.'da görüldüğü gibi günde en az iki kere saha kalibrasyonu yapılmalıdır. Daha önce de bahsedildiği üzere gaz oluşum aşamalarını takip ve kontrol etmek için metan ve oksijen oranlarının bilinmesi son derece önemlidir. Ayrıca hidrojen sülfür gazının motor ve ekipmanlara vereceği zararı engellemek için hidrojen sülfür kontrol altında tutulmalıdır. Bu değerler saha içerisindeki ana gaz toplama borusunun son noktasından da saatlik ölçülerek kayıt altına alınmaktadır.



Şekil 70. Gaz taşıma hattı kondens sifonu (TRAB-Rİ KAB)

Gaz sıcaklığı ve ortam sıcaklığı arasındaki fark sebebiyle oluşan kondens suyu gaz toplama sistemindeki eğim bozuklukları vasıtasıyla hat içerisinde belli bölgelerde birikebilir. Bu biriken su, hattı tamamen tıkayarak gaz geçişini engelleyebileceği gibi boru hacmini küçülteceğinden emiş basıncında da artışlara sebebiyet vermektedir. Emiş basıncındaki artışlar topraklamanın yeterli zaman aralıklarında ve yeterli seviyede toprak örtü olmayan Trabzon ilindeki düzenli depolama sahasında atık içerisine oksijen girişine sebebiyet vereceğinden ciddi problemlere yol açmaktadır. Ayrıca elektrik üretim hattına gelmeden önce hatlardaki nem ve su miktarı minimum seviyeye düşürülmelidir. Bu amaçlarla ana gaz toplama hattı üzerine belirli aralıklarla Şekil 70.'de de görülen kondens suyu için sifon sistemi uygulanmalıdır.

Bu sifon; yer çekimi kuvveti sayesinde sürekli su akışını sağlamakla birlikte atmosferden sisteme oksijen girişini engellemektedir.



Şekil 71. Anahat kondens sifon detayı (Ahmet Kavalcıoğlu, kişisel görüşme, 2020)

Şekil 71.'de tesis giriş öncesi kondens suyunu boşaltarak işletmeye gelmesini engelleyen sifon detayı, Şekil 72.'de de Trabzon ili düzenli depolama tesisi anahat kondens sifon görünüşü görülmektedir.



Şekil 72. Anahat kondens sifon görünüşü (TRAB-RI KAB)

Gaz toplama sisteminin verimli bir şekilde çalışabilmesi için önemli olan hususlardan bir tanesi de toprak örtüdür. Şekil 73.'te de görüldüğü gibi yüzeyi tamamen açık olan sahanın üst ve şev kısımları bütünüyle toprak örtü ile kapatılmalıdır.



Şekil 73. Mevcut düzenli depolama sahasından görüntü (TRAB-Rİ KAB)

Toprak örtü yağmur sularının sızıntı sularına karışmasını engelleyerek sızıntı suyu yükünü azaltmaktadır. Türkiye'nin en çok yağış alan bölgesinde bulunan tesiste yeterli toprak örtü yapılmadığından yağmur sularının sızıntı sularına karışması ciddi problemlere sebebiyet vermektedir. Bu durumda yağmur suyu, saha içerisine nüfuz ederek saha içerisindeki ısıyı düşürmekte, atığın içerisine oksijen girişine neden olmakta ve çürüme aşamalarını olumsuz yönde etkilemektedir. Ayrıca saha içerisine nüfuz eden yüksek debilerdeki su, gaz toplama sistemlerinde birikerek gaz toplama sistemlerinin verimini önemli ölçüde azaltmaktadır.

Toprak örtünün yeterli olmayışından kaynaklı en önemli sorunlardan biri de atık depolama alanı üst yüzeyi tamamen şev olan Trabzon katı atık alanında rüzgârların saha içerisine sürekli etki etmesidir. Bu nedenle özellikle kış aylarında gaz üretiminde düşüşler olmaktadır.

Mevcut düzenli depolama sahasının yandan görünüşünde aralarda teras sistemi(basamaklandırma) olmayışı ana gaz toplama borusunun çöp içerisine konulmasını zorunlu hâle getirmiştir. Bu durum hareketli olan atıktan dolayı ana gaz toplama hattında devamlı eğim bozulmalarına sebebiyet vermektedir. Bu bozulmalar kondens suyunun hat içerisinde kalmasına neden olmakta ve gaz iletimini zorlaştırmaktadır.

Şekil 74.'te önceden depolanmış atık içerisine yapılması planlanan kanalları ve ana gaz toplama sistemini gösterilmektedir. Atık depolama planı hazırlanırken gaz toplama sistemlerinin dizaynı için önceden planlama yapılarak atık depolama işlemi gerçekleştirilmelidir. Aksi takdirde plansız depolama yapılan atık alanında gaz toplama verimliliği istenilen seviyelerin altında gerçekleşecektir.



Şekil 74. Gaz toplama sistemi dizayn projesi (Ahmet Kavalcıoğlu, kişisel görüşme, 2020)

Trabzon ilinde mevcut atık depolama sahasının kapasitesini doldurması ve kapasitesinin üzerinde atık depolanmasından dolayı atıkların alımı planlı bir şekilde yapılamamaktadır. Yapılan bir yanlış da depolanmış atığın şev uçlarının devamlı

birleştirilerek basamaklandırma yapılmayıp tek bir basamak olarak şevlendirme yapılmasıdır.

3.1.14. Elektrik Üretim Tesis

Metan gazından elektrik enerjisi üretilmesini sağlayan elektrik üretim tesislerinin gaz oluşumundaki rolünü ve tesis işletilmesinde gaz içeriğinin elektrik tesislerinde meydana getirdiği sorunları mevcut depolama sahasında bulunan elektrik üretim tesisi üzerinden inceleyelim.

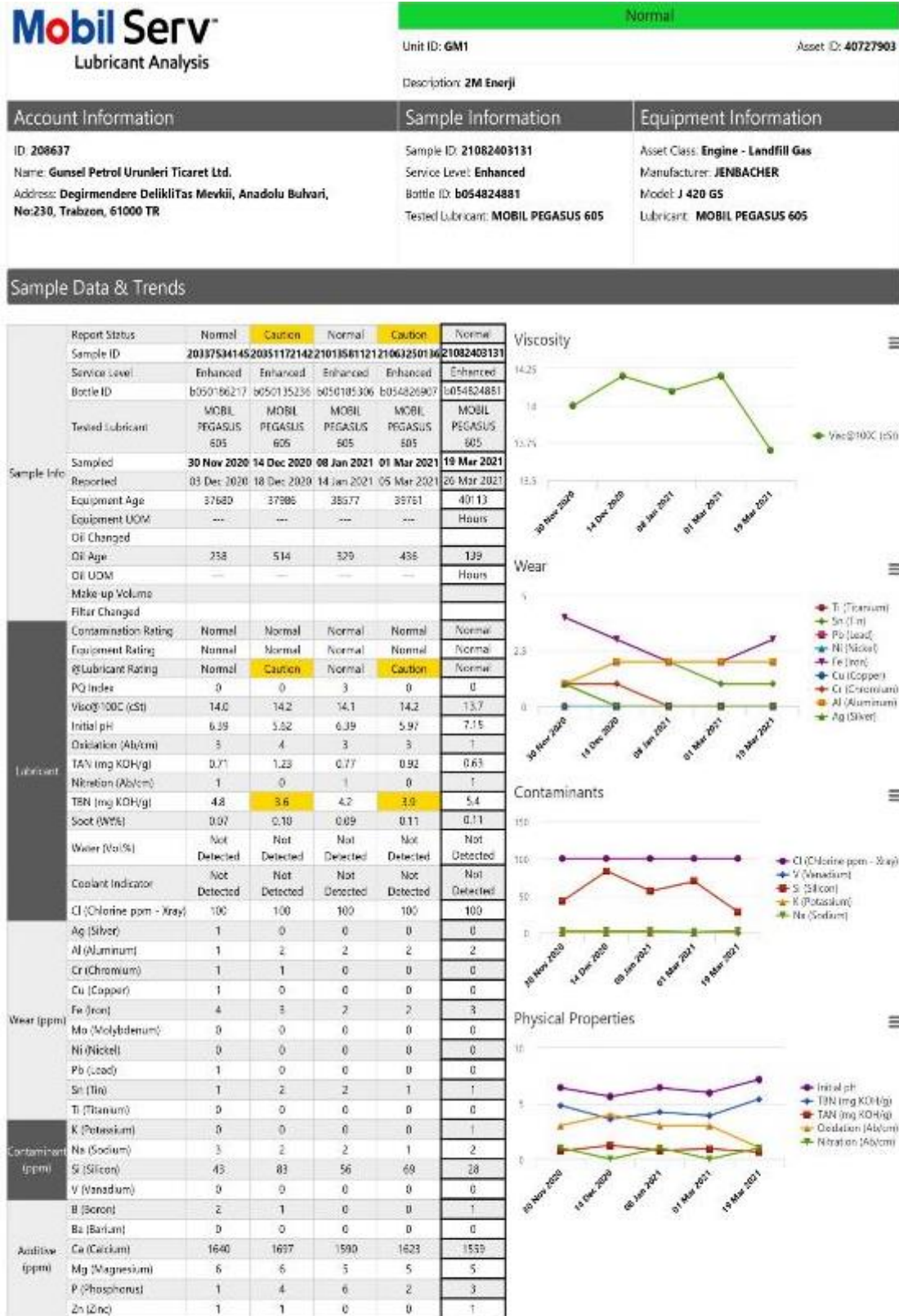
Elektrik üretim tesisleri, metan gazı salınımını önemli ölçüde azaltmakta ve ülke ekonomisine doğrudan katkı sağlamaktadır.

Mevcut katı atık düzenli depolama sahasında bulunan elektrik üretim tesisine gaz alımı, 2 adet blowerla düşük emme basıncı (40-90 mbar) uygulanarak yapılmaktadır. Tesiste 3 adet 1,4mW/h elektrik üretim kapasitesine sahip içten yanmalı motor bulunmaktadır.

Bu tesislerin sürdürülebilir olmasını sağlayan en önemli parametre elektrik enerjisi üreten ve atık alanından toplanan gazlarla çalışan gaz motorlarıdır. Bu gaz motorları hammadde olarak metan gazını kullanmaktadır. Fakat atık alanından blowerlarla çekilen deponi gazının içerisinde birçok gaz bulunmakta olup bu gazların bazıları motor ve ekipmanlara ciddi zararlar vermektedir. Bu zararların giderilmesinde kullanılan kaynaklar tesisin işletme maliyetlerinin en büyük kısmını oluşturmaktadır.

Tesisin maksimum kapasitede çalışması ve tesiste yedek motor bulunmaması da burada dikkat edeceğimiz en önemli husustur. Motorlara bakım yapıldığı sürelerde yedek motor olmadığından fazla gelen metan gazı doğrudan atmosfere salınmakta, bu durum hem çevre açısından hem de ekonomik açıdan büyük zararlar oluşturmaktadır.

Motor duruşları ve bakım periyotları düzenli bir şekilde takip edilmekte olup sürekli olarak yağ numunesi alınmakta, laboratuarda yağ analizi yaptırılarak yağ içerisinde ki gaz durumları ve gazdan dolayı oluşan kirlenme kontrol edilmekte ve müdahaleler gerçekleştirilmektedir.



Şekil 75. Normal düzeyde yağ analizi laboratuvar sonucu (TRAB-Rİ KAB)

Yukarıdaki Şekil 75.'teki laboratuvar analizinde sonuçların normal olduğu ve yağ veya motor üzerinde herhangi bir eylem gerekli olmadığını sonuçların tüm seviyelerin kabul edilebilir aralıklarda olduğunu gösteriyor.



Şekil 76. Yağ değişimi gerektiğini gösteren analiz sonucu (TRAB-Rİ KAB)

Şekil 76.'daki analizde ise TBN (Toplam Baz Sayısı)seviyesinin düşük olduğu ve yağın değişmesi, TBN'nin düşme sebebinin tespit edilip düzeltici bir önlem alınması gerektiği görülmektedir. TBN'nin düşük olması yağın asitli olmaya başladığının ve dolayısıyla bazlılık rezervinin ciddi derecede düştüğünün bir göstergesi olabilir. TBN'nin düşmesinin olası sebepleri: Verimsiz yanma, aşırı kompresyon kaçağı, yağ ilavesinin düşük miktarda olması, daha düşük TBN'li bir yağla seyrelme ya da kirlenme, düşük motor çalışma sıcaklıklarına eşlik eden yüksek su içeriği, yağ kullanım süresinin aşırı uzatılması, yüksek kükürt içerikli yakıtla çalışmadır.

Bu noktada en büyük poblemler ise gaz içerisindeki silikonun yağın bazlık seviyesini ciddi miktarda düşürmesi ve H_2S (Hidrojen sülfür) gazının da parçalanarak kükürte(S) dönüşmesidir.

Aşağıda Şekil 77.'de ise kükürtün (S) motor parça ve ekipmanları üzerindeki etkisi gösterilmektedir.



Şekil 77. Hidrojen sülfürün parçalanarak kükürte dönüşmesi sonucu motorlara verdiği zarar görüntüleri (TRAB-Rİ KAB)

Yağ analizlerinden de anlaşılacağı üzere yağ tüketimini ve tam yağ değişimini doğrudan etkileyen faktör, atık alanın dan elektrik enerjisi üretimi için alınan gaz içeriğidir.

Mevcut depolama sahasından çekilen gaz, arıtma ünitesinde temizlendikten sonra motorlara alınsa bu tür sıkıntılar yaşanmayacaktır.

Yağ tüketimi ve tam yağ değişimi ise motor ömür ve bakım periyotlarını gösteren en önemli göstergedir. Motor bakım ve yağ değişim periyotlarının sıklığı ise yedek motor bulunmayan Trabzon elektrik üretim tesisinin bulunduğu düzenli depolama sahasındaki gazın verimliliğini ve atmosfere dağılmasını etkileyen ciddi bir parametredir.

27.06.2019-13.03.2021 tarihleri arasında tesisimizde bulunan GM1 numaralı motorun yağ tüketimi ve tam yağ değişim periyotlarını gösteren Tablo 21.'de verilmiştir.

Tablo 21. GM1 numaralı motorun yağ tüketim ve tam yağ değişim periyodu (TRAB-Rİ KAB)

Tam Yağ Değişim No	GM1	
	Yağ Miktarı(lt)	Yağ Tüketim Süresi(sa)
	100	74
	100	86
	100	72
	100	95
1	700	66
	100	66
	100	112
	100	99
	100	151
	100	140
	100	164
	100	123
	100	199
2	700	1143
	100	155
	80	143
	100	439
	100	310
	100	325
	100	187
	100	208
	100	191
	100	113
3	800	2065
	100	149
	100	63
	100	254
	100	122
	100	136
	100	125
	100	162
	100	138
	100	116
	100	78

Tam Yağ Değişim No	GM1	
	Yağ Miktarı(lt)	Yağ Tüketim Süresi(sa)
	100	188
	100	115
	100	74
	100	66
	100	103
	100	86
	100	97
	100	62
	100	77
	100	90
	100	63
	100	67
	100	68
	100	72
	100	72
	100	81
	100	73
	100	63
	100	108
	100	71
	100	119
	100	94
	100	87
	100	89
	100	76
	100	40
	100	81
4	700	3530
	100	178
	100	522
5	700	1035
	150	335
	100	348
	100	292

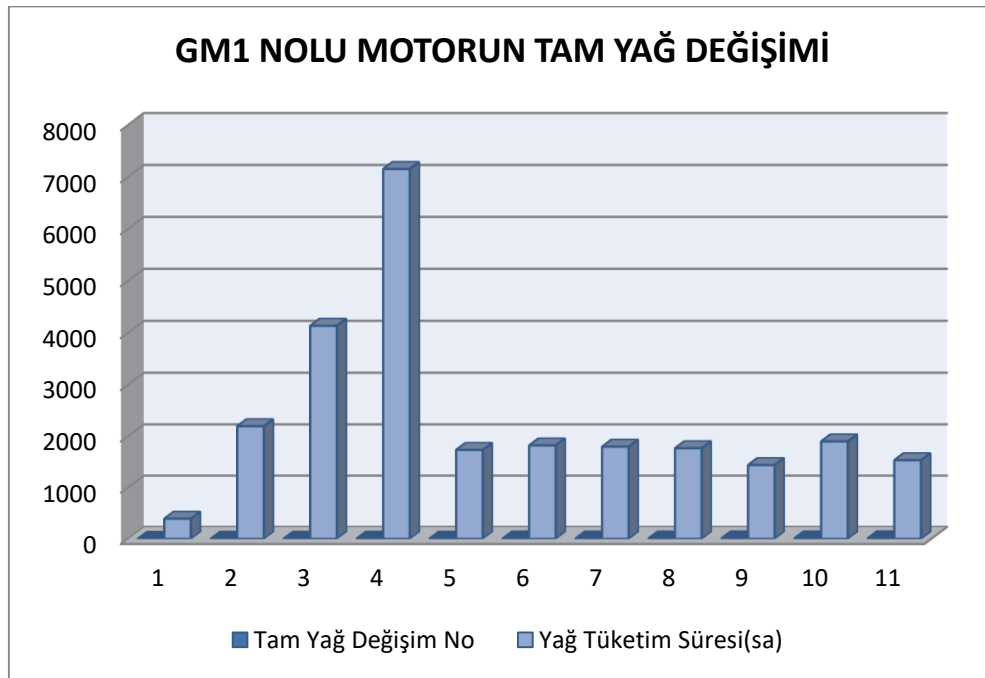
Tablo 21'in devamı

Tam Yağ Değişim No	GM1	
	Yağ Miktarı(lt)	Yağ Tüketim Süresi(sa)
6	700	847
	100	207
	100	115
	100	303
	100	307
7	700	866
	100	255
	50	179
	100	402
8	800	932
	100	325

Tam Yağ Değişim No	GM1	
	Yağ Miktarı(lt)	Yağ Tüketim Süresi(sa)
	100	338
9	700	776
	100	511
	100	312
10	800	1077
	100	254
	100	229
	100	403
11	800	649
TOPLAM	15.780	25.878

GM1 motorunun yağ tüketim ve değişim süresi 25.878 saat ve toplam yağ tüketimi 15.780 lt olduğundan GM1 motoru saatte yaklaşık olarak 0,61 lt yağ ile çalışmaktadır.

Laboratuvarda yapılan analizlerin sonucuna göre tam yağ değişim periyodunu aşağıdaki Şekil 78.'deki grafik üzerinde incelersek yağ değişim periyotlarının uzadığı durumlarda gaz içerisindeki zararlı gazların miktarının azaldığı ve motor bakım periyodlarının uzadığını, bu sürenin kısaldığı dönemlerde de motor bakım periyodlarının da kısaldığı sonucuna ulaşabiliriz.



Şekil 78. GM1 numaralı motorun tam yağ değişim grafiği (TRAB-Rİ KAB)

Şekilde de görüldüğü üzere 2020 yılına doğru gelindiğinde değişim periyotları kısalmaktadır. Bu durum tesis üretim verilerine yansımakta olup tesisteki maksimum enerji üretiminin 2020 yılı içerisinde gerçekleştiği ve atmosfere en az metan gazı salınımının yapıldığı görülmektedir.

3.1.15. Mevcut Saha Atık Verileri, Depo Gazı ve Enerji Verileri

Trabzon ili düzenli depolama tesisinde atık kabulüne 2007 yılında başlanılmıştır. 2016 yılı ocak ayından itibaren ise Şekil 79.'da da görüldüğü üzere depo gazından elektrik enerjisi üretim tesisi tam kapasite ile devreye alınmıştır.



Şekil 79. Trabzon enerji üretim tesisi ve düzenli depolama sahası (TRAB-Rİ KAB)

Trabzon ve Rize illerine ait yıllık atık miktarları ve birim atık oluşum verileri hesaplanırken tesisteki kantar ölçüm sonuçları baz alınmıştır. Yıllara göre depolanan atık miktarı ve birim atık oluşum miktarı Tablo 22.'de verilmiştir.

Tablo 22. Yıllara göre depolanan atık miktarları (TRAB-Rİ KAB)

Yıl	Nüfus(kişi)	Atık Miktarları (ton/yıl)	Birim Atık Miktarları (kg/gün kişi)
2007	631.929	32.526	-
2008	633.988	126.356	0,546
2009	649.434	166.033	0,700
2010	657.328	170.581	0,711
2011	663.628	194.225	0,802
2012	668.903	221.155	0,906
2013	1.009.341	235.471	0,639
2014	1.014.949	260.982	0,704
2015	1.024.846	263.888	0,705
2016	1.019.743	269.689	0,725
2017	1.026.430	280.801	0,750
2018	1.070.419	284.685	0,729
2019	1.059.306	271.890	0,703
2020	1.060.758	268.099	0,692

İSTAÇ A.Ş.'nin TRAB-Rİ KAB'a hazırlamış olduğu mevcut depolama sahasına ait depo gazı ölçüm raporunda; depolama sahalarından edinilen bilgilere göre, 700-710 m³/h debili depo gazının içeriğinin yarısının (350-355m³/h) metan gazından (CH₄) oluştuğu ve bu gazdan 1,415 mW/h elektrik enerjisi üretileceğinden bahsedilmektedir (İSTAÇ A.Ş., 2014).

Mevcut depolama sahasında yapılan ölçümler neticesinde sahada oluşan depo gazı içerisindeki 2020 yılı metan (CH₄) gazı oranı verileri Ek 1., Ek 2., Ek 3., Ek 4., Ek 5., Ek 6., Ek 7., Ek 8., Ek 9., Ek 10., Ek 11., Ek 12.'de sunulmuş olup bu verilerden metan gazı ortalaması Tablo 23. ve Tablo 24.'te görüleceği üzere yaklaşık olarak %55 olarak bulunmuştur. Gaz toplama verimliliği ise %75 olarak kabul edilmiştir.

Tablo 23. 2020 yılı aylara göre ölçülen metan gazı miktarı (TRAB-Rİ KAB)

AYLAR	2020 YILI AYLIK VERİLER	
	METAN ORTALAMA (%)	ELEKTRİK VERİLERİ (mW)
OCAK	53,11	1.963,61
ŞUBAT	55,69	2.007,83
MART	53,75	2.349,63
NİSAN	55,14	2.545,01
MAYIS	53,75	2.034,62
HAZİRAN	54,44	1.931,11

Tablo 23'ün devamı

AYLAR	2020 YILI AYLIK VERİLER	
	METAN ORTALAMA (%)	ELEKTRİK VERİLERİ (mW)
TEMMUZ	54,45	2.526,49
AĞUSTOS	55,70	2.395,83
EYLÜL	55,62	2.554,58
EKİM	53,43	2.269,24
KASIM	57,85	2.576,00
ARALIK	55,35	2.496,21

Tablo 24. 2020 yılı ölçülen ortalama yıllık metan gazı miktarı

2020 YILI YILLIK VERİLER	
METAN ORTALAMA (%)	ELEKTRİK YILLIK TOPLAM (mW)
54,86	27.650,16

Trabzon İli Çamburnu/Kutlular Katı Atık Düzenli Depolama Sahasında yukarıdaki veriler ışığında 2016-2020 yılları arasında toplanan depo gazı miktarları Tablo 25.'te, toplanan metan (CH₄) miktarı Tablo 26.'da ve üretilen elektrik enerjisi miktarları da Tablo 27.'de gösterilmektedir.

Tablo 25. Yıllara göre toplanan depo gazı miktarları

TOPLANAN DEPO GAZI MİKTARI(m ³)					
Yıl	2016	2017	2018	2019	2020
Ay					
OCAK	647.521,22	1.117.200,47	1.430.416,68	1.236.906,82	1.274.117,24
ŞUBAT	429.145,62	793.684,97	1.482.271,39	1.098.120,56	1.221.307,65
MART	815.361,90	1.191.291,66	1.670.888,26	1.019.930,70	1.477.701,96
NİSAN	905.959,70	1.119.279,91	1.423.520,88	1.019.038,47	1.547.837,40
MAYIS	1.104.458,64	1.200.980,93	1.546.344,88	1.079.673,79	1.286.645,59
HAZİRAN	1.095.724,85	1.143.640,24	1.249.665,69	1.266.636,96	1.174.461,49
TEMMUZ	1.153.723,01	1.189.041,92	1.191.030,13	1.449.905,91	1.594.003,60
AĞUSTOS	1.187.952,63	1.209.498,19	1.192.872,98	1.384.561,88	1.457.286,44
EYLÜL	1.165.634,65	1.251.558,41	1.265.261,21	1.178.762,69	1.553.817,25
EKİM	1.205.384,31	1.326.401,94	1.346.119,25	1.186.138,36	1.463.769,88
KASIM	1.170.435,19	1.235.507,96	1.145.070,73	1.199.358,24	1.566.744,59
ARALIK	1.161.889,95	1.149.390,18	1.437.505,88	1.180.330,64	1.518.228,91
TOPLAM	12.043.191,67	13.927.476,77	16.380.967,95	14.299.365,03	17.135.922,00

Tablo 26. Yıllara göre toplanan metan miktarları

TOPLANAN METAN MİKTARI(m ³)					
Yıl	2016	2017	2018	2019	2020
Ay					
OCAK	267.102,50	460.845,19	590.046,88	510.224,06	525.573,36
ŞUBAT	177.022,57	327.395,05	611.436,95	452.974,73	503.789,41
MART	336.336,78	491.407,81	689.241,41	420.721,41	609.552,06
NİSAN	373.708,37	461.702,96	587.202,36	420.353,37	638.482,93
MAYIS	455.589,19	495.404,63	637.867,26	445.365,44	530.741,31
HAZİRAN	451.986,50	471.751,60	515.487,10	522.487,75	484.465,36
TEMMUZ	475.910,74	490.479,79	491.299,93	598.086,19	657.526,48
AĞUSTOS	490.030,46	498.918,00	492.060,11	571.131,78	601.130,66
EYLÜL	480.824,29	516.267,84	521.920,25	486.239,61	640.949,61
EKİM	497.221,03	547.140,80	555.274,19	489.282,07	603.805,07
KASIM	482.804,52	509.647,03	472.341,67	494.735,28	646.282,14
ARALIK	479.279,60	474.123,45	592.971,18	486.886,39	626.269,42
TOPLAM	4.967.816,56	5.745.084,17	6.757.149,28	5.898.488,07	7.068.567,82

Tablo 27. Yıllara göre üretilen elektrik enerjisi miktarları

ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİM MİKTARLARI (kW)					
Yıl	2016	2017	2018	2019	2020
Ay					
OCAK	1064648	1836890	2351877	2033710	2094891
ŞUBAT	705597	1304969	2437136	1805519	2008062
MART	1340610	1958710	2747258	1676960	2429623
NİSAN	1489570	1840309	2340539	1675493	2544939
MAYIS	1815940	1974641	2542485	1775189	2115490
HAZİRAN	1801580	1880362	2054688	2082592	1931038
TEMMUZ	1896940	1955011	1958280	2383921	2620845
AĞUSTOS	1953220	1988645	1961310	2276483	2396056
EYLÜL	1916525	2057800	2080330	1938110	2554771
EKİM	1981881	2180857	2213276	1950237	2406716
KASIM	1924418	2031410	1882714	1971973	2576026
ARALIK	1910368	1889816	2363533	1940688	2496257
TOPLAM	19801297	22899420	26933426	23510875	28174714

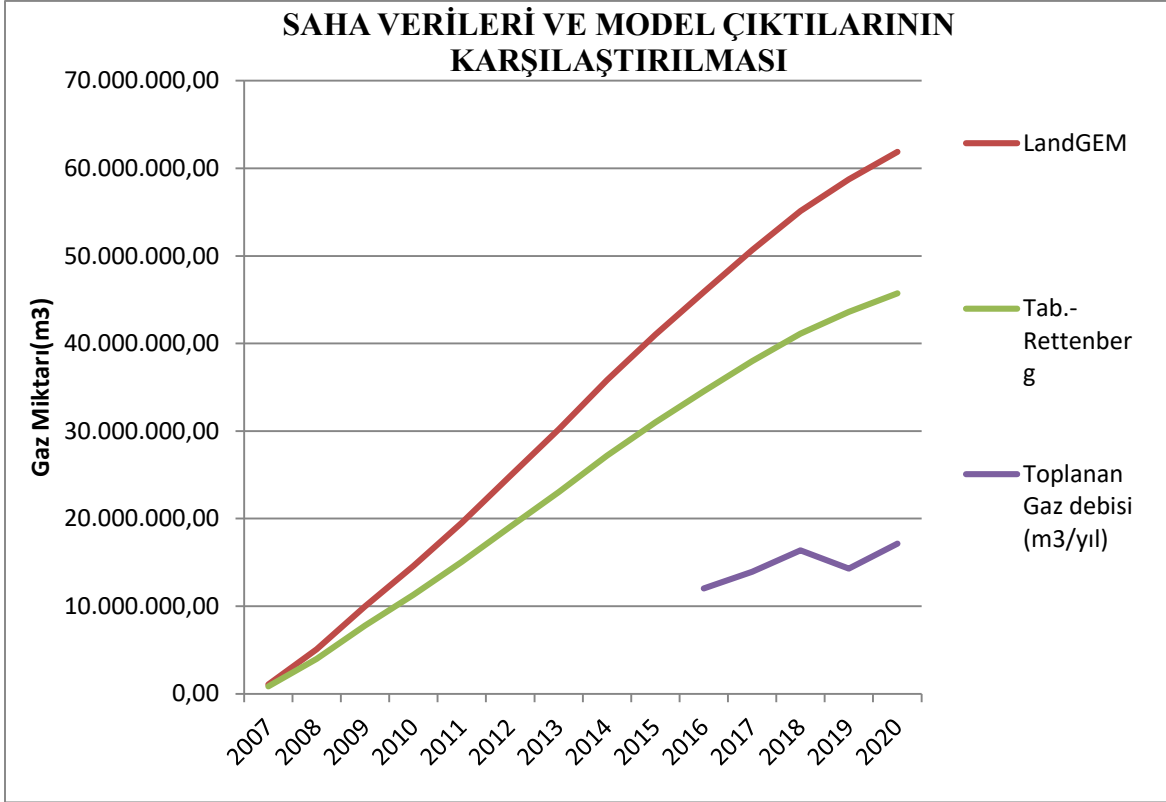
4. TARTIŞMA

2008-2020 yılları arasında “Tabasaran – Rettenberger”, ve “LandGEM” model çıktıları ile 2016-2020 yılları arasında toplanan gaz miktarları Tablo 28.’de verilmiştir.

Tablo 28. 2016-2020 yılları arasında oluşan gaz debi miktarları ve model sonuçları

Yıllar	LandGEM	Tab.-Rettenberg	Gaz debisi (m ³ /yıl)
2007	1.059.507,00	832.537,10	
2008	5.074.620,00	3.976.214,00	
2009	10.000.090,00	7.793.593,00	
2010	14.604.986,00	11.312.247,00	
2011	19.541.851,00	15.053.443,00	
2012	24.886.134,00	19.077.090,00	
2013	30.188.172,00	23.029.601,00	
2014	35.816.654,00	27.205.262,00	
2015	41.004.175,00	31.001.205,00	
2016	45.887.001,00	34.532.826,00	12.043.191,67
2017	50.667.129,00	37.964.810,00	13.927.476,77
2018	55.118.885,00	41.122.984,00	16.380.967,95
2019	58.730.214,00	43.610.208,00	14.299.365,03
2020	61.874.392,00	45.729.914,00	17.135.922,00
Toplam	454.453.810,00	342.241.934,10	73.786.923,42

Çalışmada ele alınan iki modelin 2007-2020 yılları arasında yıllık gaz verileri ile Trabzon düzenli depolama tesisinden 2016-2020 yıllarına ait toplanan gaz verileri karşılaştırmasında, LandGEM modeli daha yüksek sonuçlar vermektedir. Buna rağmen Tabasaran – Rettenberger sonuçları diğer modellemeye göre gerçeğe daha yakın sonuçlar vermektedir. Diğer taraftan 2016 ve 2020 yılları arasında toplanan gaz miktarına en yakın tahmini içeren Tabasaran – Rettenberger modelinin sonuçlarının olduğu görülmektedir. Ele alınan modellerin ve Trabzon Kutlular düzenli depolama tesisinden alınan gaz verilerinin grafiksel olarak karşılaştırılması Şekil 80.’de görülmektedir.



Şekil 80. Model çıktıları ve gaz verilerinin karşılaştırılması

Yukarıdaki grafikten de anlaşılacağı üzere saha verileriyle model çıktıları arasında çok büyük farklılıklar görülmektedir. Her ne kadar 2016 yılında Trabzon Kutlular depolama sahasında oluşan gazın toplanmasına ve ekonomiye kazandırılmasına başlanılmış olsa da gazın toplanmaya başlanıldığı ilk yıl olan 2016’da toplanan gaz, yıllık 12 milyon m³ olmuştur. Toplanan gaz miktarına bakıldığında bu sonuca en yakın tahmini Tabasaran – Rettenberger modelleme sonucunun vermekte olduğu görülüp bu değer 34 milyon m³ tür. Kutlular düzenli depolama sahasından 2020 yılında ise 17 milyon m³ gaz toplanmasına rağmen en yakın tahmini modelleme sonucu 46 milyon m³ olmuştur. Hesaplanan değerlere bakıldığında toplanan gaz ile modelleme sonuçları arasındaki fark giderek artmıştır. Bu sonuçlara göre, metan gazından elektrik üretimini yapan firmanın yönetimsel sorunları ve daha önce de bahsedildiği üzere katı atık depolama sisteminden kaynaklanan problemler, tesisin bulunduğu bölgenin iklimi ve topografik yapısı nedeniyle oluşan gazın büyük bir kısmının havaya karışmasından dolayı gazdan hedeflenen düzeyde enerji elde edilememiştir.

Trabzon Kutlular Katı Atık Düzenli Depolama Tesisinde metan gazından elektrik enerjisi üretilmesi ile gazın oluşum ve toplanmasını etkileyen faktörler:

Düzenli depolama sahasında coğrafi konum ve fiziki şartlar nedeniyle tek noktaya uzun süre atık alımı yapıldığından depolanan atığın yüksekliği gaz borusu döşemek için kanal yapımını engellemekte, bu durum gaz veriminin en yüksek olduğu aşamalarda dahi gaz toplama verimini ciddi oranda düşürmekte ve gazın atmosfere kaçmasına neden olmaktadır.

Depolama sahasında yapılan toprak örtünün yeterli olmayışından dolayı yağmur ve kar sularının depolanan atık içerisine doğru akışa geçerek nüfuz etmesi, saha içerisindeki ısıyı düşürdüğünden atığın içerisine oksijen girişine neden olmaktadır. Böylelikle atıkların anaerobik bozunma süreci olumsuz yönde etkilenmekte ve metan gazı oluşum miktarında düşüş gerçekleşmektedir. Ayrıca saha içerisine nüfuz eden yüksek debilerdeki su, gaz toplama sistemlerinde birikerek gaz toplama sistemlerinin verimini de önemli ölçüde azaltmaktadır.

Yine toprak örtünün yeterli olmayışından kaynaklı en önemli sorunlardan biri ise atık depolama alanı üst yüzeyi tamamen şev olan Trabzon katı atık alanında rüzgârların saha içerisine sürekli etki etmesidir. Bu nedenle özellikle kış aylarında gaz üretiminde düşüşler görülmektedir.

Depolama alanı kapatıldıktan sonra sahanın üzeri 50 cm kalınlığında kil tabakası ile kaplanmalı, onun da üzerine en az 50 cm kalınlığında üzerinde yetişecek bitki türüne bağlı olarak toprak tabakası örtülerek sızdırmazlık sağlanmalıdır.

Trabzon Kutlular düzenli depolama sahasında atık depolama işlemlerinde teraslama(basamak) sistemi uygulanamaması, metan gazı ana toplama borusunun çöp içerisine konulmasını zorunlu hâle getirmiştir. Bu durum da hareketli zemine sahip olan atıktan dolayı ana gaz toplama hattında devamlı olarak eğim bozulmalarına sebebiyet vermektedir. Bu bozulmalar kondens suyunun hat içerisinde kalmasına neden olmakta ve elektrik üretimi sağlamak için toplanan gazın motorlara iletimini zorlaştırmaktadır.

Depo gazı tesislerinde ortalama 1,2 mW'lık kurulu güç için, günlük ortalama 200 ton belediye atığına ihtiyaç duyulmaktadır (Coşkun, 2005). Trabzon Kutlular düzenli depolama sahasında günlük ortalama 750-800 ton civarında atık depolanmakta olup bu bilgiler doğrultusunda Trabzon'da kurulu olan 4,2 mW/saat'lik çöp gazından enerji elde edilen tesisin depolanan çöp-oluşan gaz durumuna göre uygulama açısından yeterli olduğu görülmüştür. Ancak elektrik üretim tesislerinde oluşan depo gazından maksimum düzeyde elektrik enerjisi üretimini sağlamak ve atmosfere gaz salınımı en aza indirmek için yedek motor ve gaz temizleme ünitelerinin bulundurulması gerekmektedir. Tesiste gaz temizleme

sistemi bulunmadığından motorlara sık sık bakım yapılmak zorunda kalındığından bu bakım sürecinde ciddi oranda üretim kaybı yaşanmaktadır.

Trabzon Kutlular Katı Atık Düzenli Depolama Tesisinde yıllara göre üretilen elektrik enerji miktarı verilerine göre saatte; 2016 yılında 2,26 mW, 2017 yılında 2,61 mW, 2018 yılında 3,07 mW, 2019 yılında 2,68 mW ve 2020 yılında ise 3,22 mW ortalama üretim yapılmıştır.

Herhangi bir ailenin yılda ortalama olarak 2400 kW enerji tüketeceğini varsayarsak (Öztürk M., 2018) Trabzon'daki depolama sahasında 2020 yılı için 28.174.714 kW elektrik enerjisi üretildiğinden bu da ortalama 11.739 ailenin (58.695 nüfuslu bir şehrin) bir yıllık elektrik enerji ihtiyacının sağlandığını göstermektedir.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Atıktaki biyolojik olarak bozunabilir organik madde içeriği, depolama sahalarından ileri gelen metan gazı oranını etkileyen en önemli parametredir. Buna ilaveten depolama sahasının üzerinin toprak tabakası ile örtülü olup olmadığı, atığın depolama yüksekliği, atığın depolanma süresi, nem içeriği ve iç sıcaklığı gibi parametreler de meydana gelecek metan gazı oranına etki etmektedir. Trabzon'da oluşan belediye atığının biyolojik olarak bozunabilen organik madde içeriği yüksek olduğundan bu atık içerisindeki metan gazı oranı %55 seviyesinde ölçülmektedir.

İşletilmekte olan düzenli depolama tesislerindeki aktif bölmeler (lotlar) 3 yılı aşmamak üzere kapatılıp aktif gaz toplama sistemi ile depo gazı toplanarak enerji üretiminde kullanımı sağlanmalıdır.

Saha kapandıktan sonra sahanın üzeri nihai örtü tabakası ile bir an önce örtülerek sızdırmazlık sağlanmalıdır. Bu işlemden sonra sondaj kuyuları açılarak gaz ölçümleri yapılmalıdır. Böylece kapanan sahadan 10-20 yıl süreyle enerji elde edilmeye devam edilebilecektir.

Trabzon ilinin evsel katı atıkları, geri kazanılabilir atıkları ve inert atıklarının (kül vb.) kaynağında ayrı toplama sistemiyle toplanmasına başlanılmalıdır. Bu toplama sistemine öncelikle yüksek ve orta gelir düzeyine sahip yerleşim alanlarından başlanılmalıdır.

Kaynağında ayrı toplanan ve düzenli depolama tesisinde depolanacak olan evsel ve inert atıkların ayrı ayrı lotlarda depolanması depolama alanlarının verimli şekilde işletilmesini sağlayacaktır. Evsel atıklar ile inert atıkların karışması, metan gazı oluşumunu sağlayan bakterilere olumsuz etki ettiğinden metan gazı üretimini, atığın parçalanma süresini ve bozunma hızını da düşürmekte ve bu durum depolama alanının daha hızlı dolmasına neden olmaktadır.

Dünya nüfusunun hızla artmasından dolayı büyük bir sorun hâline gelen atıkların bertarafının çözülebilmesi için yeni yöntemlerin kullanımının artması gerekmektedir. Atıkların bertarafı için uygun yöntem belirlenirken atıklar ekonomik bir kaynak ve enerji hammaddesi olarak değerlendirilip çevre ve insan sağlığı yönünden en az tehdit oluşturacak yöntem seçilmelidir.

Katı atıklardan enerji elde edilmesi, yalnızca biyoenerji uygulaması olarak düşünülmemelidir. Atmosferik CH konsantrasyonlarının yılda ortalama %1-2 oranında arttığı

göz önünde bulundurulduğunda metan gazı salınımını doğrudan atmosfere verilmesini önleyerek çevre ve insan sağlığı üzerindeki negatif etkiyi de minimum düzeye düşürmektedir.

Halen kullanılmakta olan veya atık depolama işlemi tamamlanmış düzensiz depolama ve düzenli depolama sahalarından enerji üretimi yapılabilmesi için envanterlerinin çıkartılıp acilen ıslahlarının yapılarak depo gazlarının CH₄ salınımını önleyecek şekilde yönetiminin gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Bu çalışma sonucunda, depo gazından enerji üretimi tesislerine gereken önemin verilmesi durumunda enerjide dışa bağımlılığının azalacağı görüşüne varılmıştır.



6. KAYNAKLAR

- Akar, İ., 2019. Afyonkarahisar Katı Atık Düzenli Depolama Tesisinde Oluşan Depo Gazının Matematiksel Modeller Kullanılarak Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- Akpınar, N., 2006. Kentsel Katı Atıklardan Enerji Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Alvarez, J.M., 2003. Biomethanization of the organic fraction of municipal solid wastes, IWA Publishing, London.
- Banar, M., 2009. Anadolu Üniversitesi M.M.F. Çevre Mühendisliği Bölümü Katı Atık Yönetimi Ders Notları, 11, 19-20, Eskişehir.
- Bilgili, M. S., 2002. Katı Atık Düzenli Depo Sahalarında Depo Gazı Oluşumunu Etkileyen Faktörlerin Belirlenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Christensen, T.H., Cossu, R., 1998. Basic Processes in Landfills, Proceedings of the International Training Seminar on Management and Treatment of MSW Landfill Leachate, CISA-Sanitary Environmental Engineering Centre, 2-4 December 1998, Cagliari, Italy.
- Christensen, T. H., 2011. Solid Waste Technology & Management. Lyngby: wiley, Denmark.
- Coşkun, M. C., 2015. Evsel Atıktan Enerji Üretimi–Gaziantep Örneği, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Çakır, A. K., 2012. İzmir Harmandalı Düzenli Depolama Alanındaki Metan Gazı Potansiyelinin Belirlenerek Elektrik Enerjisi Değerlerinin Elde Edilmesi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İzmir.
- Çelik, A., 2005. İstanbul Büyükşehir Belediyesi evsel katı atıklardan enerji üretim faaliyetleri, 11. Uluslararası Kojenerasyon, Kombine Çevrim ve Çevre Konferansı, ICCI 2005, 26-27 Mayıs, 76-81 s, İstanbul.
- DHV Consultants BV, R&R Bilimsel ve Teknik Hizmetler Ltd.Şti, 2006. Düşük ve Yüksek Bütçeli Belediyeler için Katı Atık Depolama Sahalarının Standart Olarak Planlanması ve Tasarımı, İzaydaş Yerel Yönetimlerin ÇalışmasınaYardımcı Olacak Kılavuz Kitapçıklar, İstanbul.
- Ersoy, Y., 2007. İzmir Evsel Çöpünden Biyometan Şeklinde enerji Geri Kazanılabirliği. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.

Feasibility Study Of Thermal Treatment Options For Waste In The Limerick Clare/Kerry Region, 2005.OECD.

Gendebien, A. and Commission of the European Communities,1992. Landfill gas from environment to energy- Final report, Commission of the European Communities, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

Güleç, S., 2004. Belediyelerde Katı Atık Yönetimi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, 9-12, Kayseri.

Handbook for the Preparation of Landfill Gas to Energy Projects in Latin America and the Caribbean, 2004. The World Bank – ESMAP, USA.

Hauser V. L., 2009. Evapotranspiration Covers for Landfills End Waste Sites, CRC Press.

Heide, J. and Eisma, M., 1997. Soil Management part 3: Municipal solid waste disposal selected topics, Delft University of Technology.

Hoornweg, D. and Bhada-Tata, P., 2012. What A Waste A Global Review of Solid Waste Management. Washington: The World Bank, 8-11.

Işık, A., 2014. Katı Atık Bertaraf Tesislerinde Organik Atıklardan Açığa Çıkan Depo Gazı ile Enerji Elde Edilmesi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Karabük.

Johannessen, L.M., 1999. Guidance note on recuperation of landfill gas from municipal solid waste landfills, The World Bank, USA.

Karasu, A., 2013. Çevresel Atıklar ve Nedenleri, Çevresel Atıkların Geri Dönüştürülmesi ve Yenilenebilir Enerji Olanaklarının Araştırılması, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bilecik.

Kankılıç, T. ve Topal, H., (2015). Belediye Atıklarından Düzenli Depolama Sahalarında Biyogaz ve Enerji Üretimi. Mühendis ve Makine Dergisi, 56 (669), 58-69.

Karaçay, G., 2005. Tersine Lojistik: Kavram ve İşleyiş, Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 1.

Kiriş A. ve Saltabaş F., 2011.The Landfill Gas Management At Sanitary Landfill Site And Istanbul Case Study, Araştırma Makalesi, Journal of Engineering and Natural Sciences Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 3, 209-218.

Kumar, S., 2000. Technology options for municipal solid waste-to-energy project, TERI Information Monitor on Environmental Science, 5, 1, 1-11.

McBean, E. A., Rovers, F. A., & Farquhar, G. J., 1995. Solid waste engineering and design, Prentice Hall PTR New Jersey.

- Mohamed, A. A. M., 2017. Evsel Atıklardan Elde Edilen Enerji Üretimi ve Isparta Örneği, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta.
- Nastev, M., 1998. Modeling landfill gas generation and migration in sanitary landfills and geological formations.
- Ostrem, K.M., Millrath, K. and Themelis, N.J., 2004. Combining anaerobic digestion and waste-to-energy, 12th North American Waste to Energy Conference.
- Öbekcan, H., 2014. Çorum İlinin Biyogaz Üretim Potansiyelinin Araştırılması, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Samsun.
- Özbil, Ö., 2019. II. Sınıf Düzenli Depolama Sahası Tasarımı: Örnek Çalışma, Yüksek Lisans tezi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ.
- Özcan, H.K., 2009. Katı Atık Düzenli Depolama Gazlarının Genetik Algoritmalarla Modellenmesi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, İstanbul.
- Özcan H.K., Borat M. ve Bayat C., 2005. Katı Atık Depo Sahası Gazları ve Çevresel Etkileri, II. Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacılar Kongresi, İstanbul.
- Özçakıl, M., 2001. Türkiye’de Katı Atık Depo Gazı Geri Kazınım Tesislerinin Değerlendirilmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Öztürk, İ., 2010. Katı Atık Yönetimi ve AB Uyumlu Uygulamaları, İSTAÇ, İstanbul.
- Öztürk, İ., 2014. Katı Atık Yönetimi ve AB Uyumlu Uygulamaları, İSTAÇ, 56-65, İstanbul.
- Öztürk, İ., 2015. Katı Atık Yönetimi ve AB Uyumlu Uygulamaları, İSTAÇ, 7-13, İstanbul.
- Öztürk M., 2008. Katı Atık Depolama Alanında Metan Gazı Oluşumu, Ankara.
- Öztürk, M., 2018. Katı Atık Depolama Alanında Depo Gazı Oluşumu, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 36, Ankara.
- Palabıyık, H., Altunbaş, D., 2004. Kentsel Katı Atıklar ve Yönetimi, Çevre Sorunlarına Çağdaş Yaklaşımlar: Ekolojik, Ekonomik, Politikve Yönetimsel Perspektifler, 103-124, İstanbul.
- Parker, D., 2010. Briefing: Remanufacturing and Reuse- trends and prospects, Waste and Resource Management, 163, 4, 141-147.
- Polat, U., 2010. Solid Waste Management Case Studies In İstanbul-Kemerburgaz and Bursa–Gecit, Boğaziçi Üniversitesi, Institute for Graduate Studies, Graduate, Program, İstanbul.

- Rand, T., Haukohl, J., Marxen, U., 2000. Municipal Solid Waste Incineration a Decision Maker's Guide, The World Bank, Washington, D.C., USA.
- Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration, 2006. European Commission Integrated Pollution Prevention and Control, Brüksel.
- Sayar, Ş., 2012. Sakarya İli Entegre Atık Yönetimi ve Ambalaj Atıklarının Geri Dönüşümü, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya.
- Saltabaş, F., 2004. Biyogaz Esaslı Kojenerasyon Santralleri, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Sedef, M., 2016. Katı Atık Yönetimi, Yüksek Lisans Tez, İller Bankası Anonim Şirketi, 9.
- Sezgin, N., Özcan, H. K., Varınca, K. ve Borat, M., 2003. Katı Atık Depo Gazından Elektrik Üretiminin Türkiye’de Uygulanabilirliğine İki Örnek: İstanbul ve Bursa Tesisleri, Yıldız Teknik Üniversitesi Dergisi, 3, 89-96.
- Solak, O., 2015. Türkiye’deki Katı Atık Deponi Alanlarında Oluşan Gazın Çevresel ve Ekonomik Açından İncelenmesi. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Tarakci, H., 2018. Katı Atıkların Termal Yöntemlerle Etkisiz Hale Getirilmesi ve Trabzon-Rize Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Avrasya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 16-20, Trabzon.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H. and Vigil, S.A., 1993. Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues, McGrawHill International Editions.
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Ambalaj Atıkları Şube Müdürlüğü, 2018. Ambalaj Bülteni, 13, Ankara.
- T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, 2008. Atık Yönetimi Eylem Planı (2008-2012), Ankara.
- T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, 2010. Düzenli Depolama ve Tıbbi Atık Bertaraf Tesisleri İşletme ve Kontrol Kılavuzları, 1-6, Ankara.
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, 2017. Sıfır Atık El Kitabı, Ankara.
- T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, 2011. Katı Atıklar, Aile ve Tüketici Hizmetleri, 5, Ankara.
- T.C. Resmî Gazete, 2008. Atık Yönetimi Genel Esasları Yönetmeliği, Başbakanlık Basımevi 26927.
- T.C. Resmî Gazete, 2010. Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik, Başbakanlık Basımevi 27533.

T.C. Resmî Gazete, 2015. Atık Yönetimi Yönetmeliği, Başbakanlık Basımevi 29314.

T.C. Resmî Gazete, 2017. Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, Başbakanlık Basımevi 29959.

TRAB-Rİ KAB, Trabzon ve Rize İlleri Yerel Yönetimleri Katı Atık Tesisleri Yapma ve İşletme Birliği.

Türkiye İstatistik Kurumu web sitesi, <[http: www.tuik.gov.tr](http://www.tuik.gov.tr)>.

Türkiye Belediyeler Birliği, 2016. Katı Atık Geri Dönüşüm ve Arıtma Teknolojileri, Ankara.

Yarımtepe, C.C., 2011. Depo Gazı Oluşum Modellerinin Karşılaştırması: Çanakkale Örneği, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale.

Yıldırım, B.,2020. Depo Gazından Enerji Üretimi ve Bir Örnek Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 48, Sivas.

Yıldız, Ş., 2006. Depolama Sahalarında Sızıntı Suyu ve Depo Gazının Yönetimi, 22-24 Mayıs 2006 Katı Atıkların Düzenli Depolanması ve Vahşi Depolama Sahalarının Rehabilitasyonu Eğitimi, İstanbul.

Zaher, U., Grau, P., Benedetti, E. & Ayesa, P.A., 2007. Transformers For Interfacing Anaerobic Digestion Models to Pre- and Post-Treatment Processes In A Plant-Wide Modelling Context. Environmental Modelling & Software, 48-52.

URL-1, <https://docplayer.biz.tr/5259827-Kati-atiklarin-duzenli-depolanmasi-enes-keles-mart-2015.html>, (05.11.2019).

URL-2, <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik>>, (05.11.2019).

7. EKLER

Ek 1. 2020 Yılı Ocak Ayı Metan Gazı Verileri

2020 YILI OCAK AYI VERİLERİ		
GÜNLER	METAN VERİSİ (%)	GÜNLÜK ÜRETİLEN ELEKTİRİK (mW)
1	0,00	78,04
2	50,98	75,24
3	55,00	74,19
4	53,32	64,21
5	58,84	68,90
6	48,19	72,14
7	49,55	72,60
8	52,00	69,89
9	55,39	70,28
10	52,88	69,13
11	50,73	69,06
12	49,16	55,50
13	56,82	58,83
14	55,10	72,11
15	57,28	69,57
16	46,73	62,88
17	0,00	41,24
18	52,20	70,33
19	48,69	72,27
20	59,25	70,59
21	53,00	70,67
22	53,13	71,08
23	50,67	68,84
24	53,08	67,25
25	50,52	62,96
26	53,22	62,46
27	49,19	52,35
28	57,95	57,82
29	54,26	52,82
30	53,01	53,44
31	59,95	64,96
TOPLAM	1.540,09	1.963,61

2020 YILI OCAK AYI VERİLERİ	
METAN ORTALAMA (%)	ELEKTRİK TÜRÜ (mW)
53,11	1.963,61

Ek 2. 2020 Yılı Şubat Ayı Metan Gazı Verileri

2020 YILI ŞUBAT AYI VERİLERİ		
GÜNLER	METAN VERİSİ (%)	GÜNLÜK ÜRETİLEN ELEKTİRİK (mW)
1	54,95	78,45
2	56,18	78,93
3	58,50	78,57
4	58,55	77,42
5	58,76	60,40
6	52,26	28,47
7	50,67	66,17
8	54,42	28,30
9	0,00	4,60
10	54,56	50,86
11	52,31	52,36
12	58,97	63,90
13	55,43	77,26
14	54,24	78,17
15	57,78	77,90
16	55,35	72,83
17	53,21	77,88
18	56,21	79,58
19	54,78	80,43
20	55,19	80,72
21	56,21	78,45
22	57,96	81,21
23	58,64	80,16
24	50,11	78,53
25	51,78	79,22
26	55,24	80,00
27	59,87	76,73
28	57,53	79,07
29	59,78	81,26
TOPLAM	1.559,44	2.007,83

2020 YILI ŞUBAT AYI VERİLERİ	
METAN ORTALAMA (%)	ELEKTRİK ORTALAMA (mW)
55,69	2.007,83

Ek 3. 2020 Yılı Mart Ayı Metan Gazı Verileri

2020 YILI MART AYI VERİLERİ		
GÜNLER	METAN VERİSİ (%)	GÜNLÜK ÜRETİLEN ELEKTİRİK (mW)
1	53,30	80,04
2	57,83	79,10
3	59,90	80,80
4	50,14	79,49
5	54,36	83,56
6	53,26	79,20
7	57,40	81,70
8	57,09	74,84
9	57,61	81,55
10	53,33	63,75
11	59,73	81,87
12	54,18	81,18
13	57,30	82,58
14	57,61	82,68
15	53,68	83,39
16	51,70	82,26
17	59,74	82,14
18	57,80	83,30
19	53,61	73,52
20	56,26	82,22
21	59,61	81,43
22	52,70	81,66
23	52,78	67,02
24	57,12	74,18
25	55,16	74,61
26	50,28	75,40
27	54,96	75,76
28	54,86	76,84
29	51,59	68,25
30	58,35	78,84
31	56,30	76,51
TOPLAM	1.666,24	2.349,63

2020 YILI MART AYI VERİLERİ	
METAN ORTALAMA (%)	ELEKTRİK TÜRÜ (mW)
53,75	2349,63

Ek 4. 2020 Yılı Nisan Ayı Metan Gazı Verileri

2020 YILI NİSAN AYI VERİLERİ		
GÜNLER	METAN VERİSİ (%)	GÜNLÜK ÜRETİLEN ELEKTİRİK (mW)
1	59,39	79,28
2	56,72	78,67
3	52,48	74,70
4	52,62	84,04
5	56,41	81,97
6	53,17	86,57
7	50,56	88,54
8	53,70	86,02
9	56,24	85,89
10	51,95	79,56
11	54,28	86,73
12	54,05	86,96
13	56,50	88,00
14	54,23	87,61
15	51,93	79,78
16	56,23	88,34
17	54,26	86,93
18	54,75	73,27
19	54,37	85,70
20	59,58	84,19
21	51,80	87,12
22	52,04	86,60
23	59,67	86,69
24	59,77	86,57
25	52,14	87,62
26	59,68	87,54
27	59,58	86,66
28	57,13	87,84
29	51,88	87,90
30	57,12	87,72
TOPLAM	1.654,23	2.545,01

2020 YILI NİSAN AYI VERİLERİ	
METAN ORTALAMA (%)	ELEKTRİK TÜRÜ (mW)
55,14	2.545,01

Ek 5. 2020 Yılı Mayıs Ayı Metan Gazı Verileri

2020 YILI MAYIS AYI VERİLERİ		
GÜNLER	METAN VERİSİ (%)	GÜNLÜK ÜRETİLEN ELEKTİRİK (mW)
1	57,44	78,93
2	59,85	85,51
3	59,92	85,66
4	58,08	87,15
5	59,98	86,55
6	54,95	84,53
7	60,25	84,13
8	57,54	78,75
9	57,57	85,44
10	55,14	79,04
11	55,15	87,59
12	55,03	83,14
13	55,08	74,21
14	55,03	65,74
15	0,00	62,63
16	0,00	65,28
17	56,51	70,70
18	0,00	69,66
19	0,00	56,11
20	0,00	64,24
21	0,00	58,86
22	0,00	58,39
23	0,00	64,73
24	0,00	66,92
25	0,00	60,58
26	0,00	44,49
27	0,00	55,19
28	0,00	37,78
29	0,00	30,14
30	58,54	45,16
31	55,09	56,32
TOPLAM	913,71	2.034,62

MAYIS AYI VERİLERİ	
METAN ORTALAMA (%)	ELEKTRİK TÜRÜ (mW)
53,75	2.034,62

Ek 6. 2020 Yılı Haziran Ayı Metan Gazı Verileri

2020 YILI HAZİRAN AYI VERİLERİ		
GÜNLER	METAN VERİSİ (%)	GÜNLÜK ÜRETİLEN ELEKTİRİK (mW)
1	52,52	54,05
2	52,54	45,52
3	0,00	58,20
4	0,00	60,18
5	0,00	56,97
6	52,52	62,61
7	0,00	55,49
8	0,00	55,25
9	0,00	57,58
10	54,83	60,15
11	59,48	82,53
12	59,70	76,09
13	52,18	81,16
14	56,23	90,86
15	57,14	89,19
16	54,85	77,89
17	54,86	87,02
18	52,39	84,85
19	0,00	86,51
20	52,43	70,04
21	0,00	60,35
22	0,00	56,95
23	0,00	45,64
24	52,43	49,81
25	0,00	63,27
26	0,00	32,44
27	0,00	42,87
28	0,00	61,07
29	0,00	61,17
30	52,49	65,40
TOPLAM	816,59	1.931,11

2020 YILI HAZİRAN AYI VERİLERİ	
METAN ORTALAMA (%)	ELEKTRİK TÜMÜ (mW)
54,44	1.931,11

Ek 7. 2020 Yılı Temmuz Ayı Metan Gazı Verileri

2020 YILI TEMMUZ AYI VERİLERİ		
GÜNLER	METAN VERİSİ (%)	GÜNLÜK ÜRETİLEN ELEKTİRİK (mW)
1	56,52	87,36
2	56,29	85,42
3	59,58	95,15
4	54,81	87,64
5	57,37	88,47
6	54,88	72,41
7	58,46	83,65
8	54,93	57,75
9	59,33	89,17
10	55,50	86,56
11	54,92	85,20
12	58,51	93,03
13	55,02	93,35
14	59,50	88,78
15	55,02	87,26
16	52,51	91,52
17	55,01	78,03
18	59,49	82,68
19	59,50	78,38
20	0,00	89,49
21	0,00	81,79
22	0,00	89,69
23	0,00	81,05
24	58,51	72,07
25	0,00	84,19
26	2,50	76,03
27	59,76	94,37
28	0,00	78,10
29	0,00	74,69
30	0,00	89,46
31	0,00	91,11
TOPLAM	1.197,92	2.526,49

2020 YILI TEMMUZ AYI VERİLERİ	
METAN ORTALAMA (%)	ELEKTRİK TÜRÜ (mW)
54,45	2.526,49

Ek 8. 2020 Yılı Ağustos Ayı Metan Gazı Verileri

2020 YILI AĞUSTOS AYI VERİLERİ		
GÜNLER	METAN VERİSİ (%)	GÜNLÜK ÜRETİLEN ELEKTİRİK (mW)
1	0,00	84,36
2	0,00	83,12
3	0,00	87,96
4	0,00	87,03
5	57,51	86,70
6	0,00	86,02
7	0,00	85,82
8	0,00	86,44
9	0,00	84,99
10	0,00	84,67
11	0,00	87,17
12	0,00	87,38
13	0,00	83,52
14	0,00	65,48
15	0,00	61,16
16	0,00	62,45
17	0,00	35,58
18	0,00	54,84
19	0,00	58,91
20	0,00	74,08
21	0,00	77,90
22	0,00	71,99
23	0,00	47,70
24	0,00	74,64
25	0,00	86,73
26	52,47	79,25
27	59,46	85,66
28	53,42	87,71
29	54,84	83,88
30	56,41	85,19
31	55,80	87,50
TOPLAM	389,91	2.395,83

2020 YILI AĞUSTOS AYI VERİLERİ	
METAN ORTALAMA (%)	ELEKTRİK TÜRÜ (mW)
55,70	2.395,83

Ek 9. 2020 Yılı Eylül Ayı Metan Gazı Verileri

2020 YILI EYLÜL AYI VERİLERİ		
GÜNLER	METAN VERİSİ (%)	GÜNLÜK ÜRETİLEN ELEKTİRİK (mW)
1	54,72	89,79
2	56,95	86,07
3	54,57	83,30
4	58,91	91,16
5	54,53	87,51
6	56,68	90,88
7	52,21	88,30
8	52,20	70,45
9	0,00	59,98
10	56,86	85,64
11	52,26	88,32
12	56,76	76,18
13	56,73	84,31
14	56,60	87,29
15	58,94	88,48
16	60,96	89,72
17	58,66	89,83
18	58,86	83,62
19	57,40	90,41
20	57,53	90,53
21	57,54	88,55
22	50,03	91,29
23	57,51	90,47
24	55,00	84,43
25	52,51	90,73
26	52,51	90,28
27	52,53	88,90
28	55,02	80,52
29	52,51	75,81
30	0,00	71,83
TOPLAM	1.557,49	2.554,58

2020 YILI EYLÜL AYI VERİLERİ	
METAN ORTALAMA (%)	ELEKTRİK TÜRÜ (mW)
55,62	2.554,58

Ek 10. 2020 Yılı Ekim Ayı Metan Gazı Verileri

2020 YILI EKİM AYI VERİLERİ		
GÜNLER	METAN VERİSİ (%)	GÜNLÜK ÜRETİLEN ELEKTİRİK (mW)
1	0,00	60,95
2	0,00	70,34
3	52,51	87,59
4	65,04	88,05
5	52,50	81,67
6	5,00	85,35
7	62,50	87,54
8	57,45	86,39
9	0,00	83,57
10	54,91	81,84
11	0,00	86,56
12	57,42	87,12
13	52,47	86,32
14	54,93	86,48
15	0,00	85,75
16	52,48	86,48
17	0,00	86,62
18	52,48	94,16
19	0,00	60,89
20	0,00	75,65
21	0,00	78,85
22	59,52	75,87
23	52,52	79,39
24	57,53	75,28
25	55,03	78,06
26	62,52	75,07
27	0,00	79,07
28	54,99	78,33
29	0,00	0,00
30	0,00	0,00
31	0,00	0,00
TOPLAM	961,80	2.269,24

2020 YILI EKİM AYI VERİLERİ	
METAN ORTALAMA (%)	ELEKTRİK TÜRÜ (mW)
53,43	2.269,24

Ek 11. 2020 Yılı Kasım Ayı Metan Gazı Verileri

2020 YILI KASIM AYI VERİLERİ		
GÜNLER	METAN VERİSİ (%)	GÜNLÜK ÜRETİLEN ELEKTİRİK (mW)
1	52,49	79,38
2	0,00	82,14
3	56,50	82,43
4	0,00	82,71
5	0,00	68,84
6	0,00	60,91
7	0,00	61,28
8	55,07	86,39
9	59,87	89,61
10	57,28	91,77
11	55,93	91,06
12	56,49	89,69
13	54,84	89,32
14	58,45	91,29
15	54,87	89,38
16	54,85	91,75
17	54,83	88,46
18	55,86	90,50
19	54,91	89,72
20	55,83	91,30
21	54,83	83,02
22	54,86	91,27
23	52,42	89,51
24	53,80	91,32
25	57,12	91,47
26	52,03	89,89
27	57,77	87,30
28	51,48	88,43
29	56,89	90,27
30	59,08	85,59
TOPLAM	1.388,35	2.576,00

2020 YILI KASIM AYI VERİLERİ	
METAN ORTALAMA (%)	ELEKTRİK TÜRÜ (mW)
57,85	2.576,00

Ek 12. 2020 Yılı Aralık Ayı Metan Gazı Verileri

2020 YILI ARALIK AYI VERİLERİ		
GÜNLER	METAN VERİSİ (%)	GÜNLÜK ÜRETİLEN ELEKTİRİK (mW)
1	0,00	70,36
2	57,38	90,14
3	52,48	81,75
4	51,93	90,86
5	54,72	89,72
6	57,14	79,78
7	56,99	90,58
8	51,55	91,25
9	55,45	91,77
10	53,25	91,20
11	56,62	30,99
12	54,73	55,51
13	58,21	91,09
14	57,03	90,85
15	59,10	86,87
16	54,93	86,54
17	54,87	87,00
18	59,72	86,99
19	54,83	85,75
20	54,82	85,61
21	54,86	85,08
22	54,85	86,76
23	54,85	87,95
24	57,26	87,92
25	54,86	82,51
26	57,15	85,59
27	52,35	86,89
28	0,00	71,22
29	0,00	61,81
30	52,47	61,12
31	0,00	44,75
TOPLAM	1.494,40	2.496,21

2020 YILI ARALIK AYI VERİLERİ	
METAN ORTALAMA (%)	ELEKTRİK TÜRÜ (mW)
55,35	2.496,21

ÖZGEÇMİŞ

İlköğrenimini Ankara’da Yeni Turan İlkokulu’nda tamamladı. Orta ve lise öğrenimini ise Trabzon İmam Hatip Lisesi ’nde tamamladı. 1997 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Gümüşhane Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde lisans programına başladı. 2001 yılında bu bölümden mezun oldu. 2004-2006 yılları arasında özel bir proje ve mühendislik bürosunda çalışmıştır. 2006 yılında Trabzon ve Rize İlleri Yerel Yönetimleri Katı Atık Tesisleri Yapma ve İşletme Birliği’nde çalışmaya başladı. 2018 yılında Avrasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında tezli yüksek lisans öğrenimine başlamış olup halen Trabzon’da çalışmaktadır.