



**KATI ATIK DÜZENLİ DEPOLAMA TESİSLERİNDE
DEPO GAZI VE ERZURUM İLİ METAN GAZINDAN
ELEKTRİK ÜRETİMİ TESİSİNİN İNCELENMESİ**

Muhammed Taha FAYETÖRBAY

**Yüksek Lisans Tezi
Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Beyhan KOCADAĞIŞTAN
2022
(Her hakkı saklıdır.)**

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**KATI ATIK DÜZENLİ DEPOLAMA SAHALARINDA DEPO GAZI VE ERZURUM
İLİ METAN GAZINDAN ELEKTRİK ÜRETİMİ TESİSİNİN İNCELENMESİ**

(Investigation Of Landfill Gas and Erzurum City Methane Electricity Generation Facility in
Solid Waste Landfill Facilities)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Muhammed Taha FAYETÖRBAY

Danışman: Doç. Dr. Beyhan KOCADAĞIŞTAN

Erzurum
Eylül, 2022

KABUL VE ONAY TUTANAĞI

Muhammed Taha FAYTÖRBAY tarafından hazırlanan “Katı Atık Düzenli Depolama Sahalarında Depo Gazı ve Erzurum İli Metan Gazından Elektrik Üretimi Tesisinin İncelenmesi” başlıklı çalışması 23/ 08 / 2022 tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Çevre Bilimleri Bilim Dalında yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı:	Prof. Dr. Burhanettin FARİZOĞLU <i>Balıkesir Üniversitesi</i>	Aslı Islak İmzalıdır
Danışman:	Doç. Dr. Beyhan KOCADAĞIŞTAN <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı Islak İmzalıdır
Jüri Üyesi:	Dr. Öğr. Üyesi Fatma EKMEKYAPAR TORUN <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı Islak İmzalıdır

Enstitü Yönetim Kurulunun
....../....../.... tarih ve sayılı
kararı.

Bu tezin Atatürk Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım.

Prof. Dr. Saltuk Buğrahan CEYHUN
Enstitü Müdürü
Aslı Islak İmzalıdır

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildiriş, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU

Yüksek Lisans Tezi olarak Doç.Dr. Beyhan KOCADAĞİSTAN danışmanlığında sunulan “Katı Atık Düzenli Depolama Sahalarında Depo Gazı ve Erzurum İli Metan Gazından Elektrik Üretimi Tesisinin İncelenmesi” başlıklı çalışmanın tarafımızdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını, yararlanılan eserlerin kaynakçada gösterildiğini, Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından belirlenmiş olan Turnitin Programı benzerlik oranlarının aşılmadığını ve aşağıdaki oranlarda olduğunu beyan ederiz.

Tez Bölümleri	Tezin Benzerlik Oranı (%)	Maksimum Oran (%)
Giriş	%0	30
Kuramsal Temeller	%19	30
Materyal ve Yöntem	%26	35
Bulgular	%0	20
Tartışma	%1	20
Tezin Geneli	%11	25

Not: Yedi kelimeye kadar benzerlikler ile Başlık, Kaynakça, İçindekiler, Teşekkür, Dizin ve Ekler kısımları tarama dışı bırakılabilir. Yukarıdaki azami benzerlik oranları yanında tek bir kaynaktan olan benzerlik oranlarının %5'den büyük olmaması gerekir.

Beyan edilen bilgilerin doğru olduğunu, aksi halde doğacak hukuki sorumlulukları kabul ve beyan ederiz.

Tez Yazarı (Öğrenci)	Tez Danışmanı
Muhammed Taha FAYETÖRBAY	Doç. Dr. Beyhan KOCADAĞİSTAN
23.08.2022	23.8.2022
İmza: Aslı Islak İmzalıdır	İmza: Aslı Islak İmzalıdır

* Tez ile ilgili YÖKTEZ’de yayınlamasına ilişkin bir engelleme var ise aşağıdaki alanı doldurunuz.

☐ Tezle ilgili patent başvurusu yapılması / patent alma sürecinin devam etmesi sebebiyle Enstitü Yönetim Kurulunun/....../.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 2 (iki) yıl süreyle engellenmiştir.

☐ Enstitü Yönetim Kurulunun/....../.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 6 (altı) ay süreyle engellenmiştir.

TEŞEKKÜR

Çalışmalarında bana samimiyet ve güler yüzünü esirgemeyen, kıymetli bilgi ve tecrübeleri ile bana yol gösteren değerli danışman hocam sayın Doç.Dr.Beyhan KOCADAĞISTAN'a teşekkür ederim saygılarımı sunarım.

Tez çalışmalarım da bana her türlü desteği veren Erzurum Büyükşehir Belediyesi Genel Sekreteri sayın Zafer AYNALI'ya teşekkür ederim.

Eğitim Öğretim hayatımda bana her zaman yol gösterip teşvik eden aileme de sonsuz şükranlarımı sunarım.

Muhammed Taha FAYETÖRBAY

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KATI ATIK DÜZENLİ DEPOLAMA TESİSLERİNDE DEPO GAZI VE ERZURUM İLİ METAN GAZINDAN ELEKTRİK ÜRETİMİ TESİSİNİN İNCELENMESİ

Muhammed Taha FAYETÖRBAY

Danışman: Doç. Dr. Beyhan KOCADAĞİSTAN

Amaç: Bu çalışmada depo gazı verileri (CH_4 (metan), H_2S (hidrojen sülfür), O_2 (oksijen)) 365 günlük ölçüm ve elektrik üretim sonuçları belirlenip gerek saha içinde yapılabilecek farklı uygulamalarla gerekse Erzurum katı atık yönetim tesisinde uygulanabilecek farklı yaklaşımlarla depo gazının havaya karışım oranının azaltılması ve elektrik üretim verimi değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Yöntem: Araştırmanın materyalini 01/01/2020-01/01/2022 yılları arasında Erzurum ili katı atık düzenli depolama tesisinde atıkların depolanması sonucunda oluşan çöp gazı verileri ele alınmıştır. Çalışmada, Erzurum ili katı atık düzenli depolama tesisinden alınan veriler kapsamında yıl içerisinde günlük olarak ölçümü yapılan depo gazının aylık olarak tablolar halinde gösterilip ve Excel programı yardımıyla grafiksel olarak karşılaştırılmıştır.

Bulgular: 2020 ve 2021 yıllarına ait Erzurum ili katı atık düzenli depolama tesisinde atıkların depolanması sonucunda oluşan depo gazı içeriğinin depo sahası içerisine yağmur suyu, rüzgar girişi, kar suyu girişi engellenmesi ve mevsimler arası sıcaklık farkı gibi etmenler sonucunda metan gazı oranındaki değişimler ortaya konulmuştur.

Sonuç: Bu yapılan çalışma ile 2020 ve 2021 yıllarına ait depo gazı değerleri karşılaştırıldığında; depo sahası üzerinin uygun şekilde kapatılması sonucunda depo sahası içerisine yağmur suyu, kar suyu ve rüzgar girişlerindeki azalma ile saha içerisinin sıcaklığının artması sağlanmıştır. Bu uygulamanın sonucunda metan gazında artış sağlanabileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Çöp gazı, Depolama Sahası, Erzurum, Metan, Karbondioksit.

Eylül 2022, 80 Sayfa

ABSTRACT

MASTER'S THESIS

INVESTIGATION OF LANDFILL GAS AND ERZURUM CITY METHANE ELECTRICITY GENERATION FACILITY IN SOLID WASTE LANDFILL FACILITIES

Muhammed Taha FAYETÖRBAY

Results: Doç. Dr. Beyhan KOCADAĞİSTAN

Purpose: In this study, the aim was to determine the data for 365-days of measurement of landfill gas (CH₄ (methane), H₂S (hydrogen sulfide), O₂ (oxygen)) and electricity generation results, and by both through various applications in depot area and different approaches one could take to the solid waste management facility of the province of Erzurum, reduce the proportions of landfill gas that are released into the air and evaluate electricity generation efficiency..

Method: The data of the landfill gas that was formed in the solid waste management facility of the province of Erzurum between the dates 01/01/2020-01/01/2022 was used in this study. In the context of this data, the statistics of landfill gas that was measured daily were represented graphically and compared monthly using Excel charts for this study.

Findings: This study has shown the changes in the proportions of methane in the landfill gas that was formed in the solid waste management facility of the province of Erzurum as a result of factors such as the blocking of rain water, wind, and snow water to enter into depot area as well as interseasonal differences in temperature.

Conclusion: When the data belonging to 2020 and 2021 landfill gas values are compared, it can be seen that, by decreasing the entrance of rain water and wind by covering the top of the depot area properly, the temperature in the depot area was increased. As a result, an increase in the methane gas was obtained.

Keywords: Landfill gas, depot area, Erzurum, methane, carbon dioxide .

September 2022, 80 pages

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY TUTANAĞI.....	i
ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TABLolar DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
KISALTMALAR DİZİNİ	xi
GİRİŞ.....	1
KURUMSAL TEMELLER.....	3
Katı Atıklar ve Özellikleri.....	3
Atıklar	3
Atıkların sınıflandırılması	3
Düzenli Katı Atık Depolama Alanları.....	5
Düzenli depolama tesislerindeki birimler ve üniteler	11
Düzenli depolama alanlarında atıkların anaerobik ayrışması	11
Düzenli depolama sahalarının yönetimi.....	12
Depo Gazı.....	14
Depo gazı bileşenleri ve özellikleri.....	15
Depo gazı oluşum aşamaları	16
Depo gazı oluşumunu etkileyen faktörler	19
Depo gazının çevresel etkileri.....	21
Depo gazından enerji eldesi	23
Depo gazı geri kazanımı ve kullanımı	24
MATERYAL ve YÖNTEM	28
Erzurum’da Katı Atık Yönetimi	28
Erzurum Düzenli Depolama Tesisinin Tanıtımı	28
Erzurum Katı Atık Sahası Atık Karakterizasyonu	31
Erzurum Düzenli Depolama Sahasında Ana, Yardımcı ve Diğer Öğeler.....	31
Erzurum Çöp Gazı Elektrik Üretim Tesisinin Tanıtımı	34
Depo Gazı Konsantrasyonun Excell Programı İle Grafikselleştirilmesi Metodu ..	41

ARAŞTIRMA BULGULARI	42
2020 ve 2021 Yıllarına Ait Depo Gazı Emisyonları ve Grafıksel Gösterimleri.....	42
TARTIŞMA, SONUÇ ve ÖNERİLER.....	61
KAYNAKLAR.....	64
ÖZGEÇMİŞ.....	67



TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Düzenli Depolama Alanındaki Birimler ve Üniteler	11
Tablo 2. Tipik Depo Gazı Bileşenleri ve Hacimsel Oranları	15
Tablo 3. Depo Gazı Bileşen ve Konsantrasyonu	15
Tablo 4. İlk 48 Ay Boyunca Depo Gazı Dağılımı	17
Tablo 5. Depo Alanlarında Bulunan Tipik Gaz Dağılımı	19
Tablo 6. Depo Gazı Kullanımı Seçeneklerinin Teknik Fizibilitesi Özeti	26
Tablo 7. EBB Düzenli Depolama Sahası Tasarımı Temel Bileşenleri	30
Tablo 8. Erzurum Katı Atık Sahası Atık Karakterizasyonu.....	31
Tablo 9. 2020- 2021 Yılı Ocak Ayı Depo Gazı Değerleri.....	42
Tablo 10. 2020-2021 Yılı Şubat Ayı Depo Gazı Değerleri	44
Tablo 11. 2020-2021 Yılı Mart Ayı Depo Gazı Değerleri.....	45
Tablo 12. 2020-2021 Yılı Nisan Ayı Depo Gazı Değerleri	47
Tablo 13. 2020-2021 Yılı Mayıs Ayı Depo Gazı Değerleri	48
Tablo 14. 2020-2021 Yılı Haziran Ayı Depo Gazı Değerleri.....	50
Tablo 15. 2020-2021 Yılı Temmuz Ayı Depo Gazı Değerleri	51
Tablo 16. 2020-2021 Yılı Ağustos Ayı Depo Gazı Değerleri	53
Tablo 17. 2020-2021 Yılı Eylül Ayı Depo Gazı Değerleri.....	54
Tablo 18. 2020-2021 Yılı Ekim Ayı Depo Gazı Değerleri.....	56
Tablo 19. 2020-2021 Yılı Kasım Ayı Depo Gazı Değerleri.....	57
Tablo 20. 2020-2021 Yılı Aralık Ayı Depo Gazı Değerleri	59

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Düzenli bir depolama sahasının kesiti.....	6
Şekil 2. Türkiye katı atık bertaraf dağılımı 2018 verileri.....	8
Şekil 3. Düzenli depolama alanı ile ilgili birimler	8
Şekil 4. Katı atık düzenli depolama sahası yüzey kesiti	9
Şekil 5. Katı atık düzenli depolama sahasının girdi ve çıktıları.....	9
Şekil 6. Model bir düzenli depolama alanı.....	10
Şekil 7. Düzenli depolama tesisi sınıfları.....	14
Şekil 8. Depo gazı üretiminin genel aşamaları)	18
Şekil 9. Gaz oluşumunu etkileyen faktörler	20
Şekil 10. Gaz geri kazanım sistemi şematik gösterimi.....	24
Şekil 11. Erzurum katı atık düzenli depolama tesisi genel görünüşü.....	29
Şekil 12. Erzurum katı atık düzenli depolama tesisi lotları.....	29
Şekil 13. Sızıntı suyu toplama havuzları	32
Şekil 14. Sızıntı suyu arıtma tesisi görüntüleri	33
Şekil 15. EKADDT’de bazı yardımcı öğelerin konumları.....	34
Şekil 16. Erzurum metan gazından elektrik üretim tesisi genel görünümü.....	34
Şekil 17. Erzurum katı atık sahasında bulunan 1. lotta yapılan ölçüm uygulaması	35
Şekil 18. Erzurum katı atık sahası çöp altı borulama uygulaması.....	36
Şekil 19. Erzurum katı atık sahası kollektör sistemi	36
Şekil 20. Erzurum katı atık sahası 1.lot baca başlığı.....	37
Şekil 21. Erzurum elektrik üretim tesisi Booster Ünitesi.....	37
Şekil 22. Erzurum elektrik üretim tesisi Booster Ünitesi bağlantı elemanları	38
Şekil 23. Erzurum elektrik üretim tesisi chiller sistemi	38
Şekil 24. Erzurum elektrik üretim tesisi booster kontrol paneli.....	39
Şekil 25. Erzurum elektrik üretim tesisi flare (gaz yakmabacası).....	39
Şekil 26. Erzurum elektrik üretim tesisi gaz depolama balonu.....	40
Şekil 27. Erzurum elektrik üretim tesisi gaz motorları	40
Şekil 28. Erzurum elektrik üretim tesisi orta ve alçak gerilim üniteleri.....	41
Şekil 29. Ocak 2020 depo gazı grafiği	43
Şekil 30. Ocak 2021 depo gazı grafiği	43
Şekil 31. Şubat 2020 depo gazı grafiği.....	44

Şekil 32. Şubat 2021 depo gazı grafiği.....	45
Şekil 33. Mart 2020 depo gazı grafiği	46
Şekil 34. Mart 2021 depo gazı grafiği	46
Şekil 35. Nisan 2020 depo gazı grafiği	47
Şekil 36. Nisan 2021 depo gazı grafiği	48
Şekil 37. Mayıs 2020 depo gazı grafiği.....	49
Şekil 38. Mayıs 2021 depo gazı grafiği.....	49
Şekil 39. Haziran 2020 depo gazı grafiği	50
Şekil 40. Haziran 2021 depo gazı grafiği.....	51
Şekil 41. Temmuz 2020 depo gazı grafiği	52
Şekil 42. Temmuz 2021 depo gazı grafiği	52
Şekil 43. Ağustos 2020 depo gazı grafiği	53
Şekil 44. Ağustos 2021 depo gazı grafiği	54
Şekil 45. Eylül 2020 depo gazı grafiği	55
Şekil 46. Eylül 2021 depo gazı grafiği	55
Şekil 47. Ekim 2020 depo gazı grafiği	56
Şekil 48. Ekim 2021 depo gazı grafiği	57
Şekil 49. Kasım 2020 depo gazı grafiği	58
Şekil 50. Kasım 2021 depo gazı grafiği	58
Şekil 51. Aralık 2020 depo gazı grafiği	59
Şekil 52. Aralık 2021 depo gazı grafiği	60

KISALTMALAR DİZİNİ

ADDY	: Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik
BOİ	: Biyolojik Oksijen İhtiyacı
CH₃	: Metanın Bir Hidrojen Eksiği Olan Alkil Grubu
CH₄	: Metan
CO₂	: Karbondioksit
EBB	: Erzurum Büyükşehir Belediyesi
EPA	: Çevre Koruma Ajansı
İY	: İçten Yanmalı Motorlar
KKA	: Kentsel Katı Atık
km.	: Kilometre
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
LEL	: Alt Patlayıcı sınırı
OECD	: Ekonomik Kalkınma Ve İşbirliği Örgütü
pH	: Potansiyel Hidrojen
T.C.	: Türkiye Cumhuriyeti
UEL	: Üst Patlayıcı Sınırı
UNEP	: Birleşmiş Milletler Çevre Programı

GİRİŞ

Son yüzyıl içinde yaşanan en büyük sorunlarından biri, nüfus artışına bağlı olarak üretim ve tüketim sorunudur. Bu sorunlardan kaynaklanan katı atıkların çevre sağlığı üzerinde olumsuz etkileri olduğu aşikârdır. En büyük çevre problemlerinden olan katı atıkların ortadan kaldırılması konusunda hem ülkemizde hem de dünya genelinde yenilikçi çözümler uygulanmaya çalışılmaktadır. Gelişmiş ülkelerde, artan çevre kirliliğine çözüm olarak katı atıkların sahalarda depolanması amacıyla düzenli depolama sistemi oluşturulmuştur. Bu sistem katı atık bertarafı için en yaygın ve bilinen yöntemlerden biridir.

Katı atık yönetimi genel olarak katı atıkların çevredeki unsurlara zarar vermeksizin, fen ve sanat kaidelerini kapsayacak biçimde; mühendislik kurallarına uygun etkili depolanmasını kapsamaktadır. Katı atıkların düzenli bir şekilde depolandığı alanlarda önlemler alınmadığı takdirde sızıntı suyu yer altı ve yüzey sularına karışarak bitki, hayvan ve insan sağlığına zarar vermektedir. Bu zararların önlenbilmesinde katı atık depolama alanlarında geçirimsizliğin iyi sağlanması hayati önem taşımaktadır.

Katı atıkların bertarafı için Türkiye’de genel olarak uygulanan metot düzenli depolamadır. Düzenli depolama; katı atık sızıntı suları ve depo gazının negatif etkilerinin kontrol altına alındığı, sızdırmazlık ve gaz kontrol sisteminin yapıldığı alanlara, çevre sorunları oluşturmayacak biçimde kademeli bir şekilde zemin üzerinde depolanarak bertaraf edilmesi demektir. Bu depolama sahalarında meydana gelen ve küresel ısınmaya neden olan CH₄ ve CO₂ gibi depo gazlarının yakılarak elektrik enerjisi elde edilmesi de her geçen gün artan bir şekilde uygulanmaktadır. Bu bağlamda meydana gelen çöp gazının, birçok çevresel etmene bağlı olarak nasıl etkilendiği de araştırılması gereken konulardan biridir. Bu çalışmada depo gazı verileri (CH₄(metan), H₂S(hidrojen sülfür), O₂(oksijen)) 365 günlük ölçüm ve elektrik üretim sonuçları belirlenip gerek saha içinde yapılabilecek farklı uygulamalarla gerekse Erzurum katı atık yönetim tesisinde uygulanabilecek farklı yaklaşımlarla depo gazının havaya karışım oranının azaltılması ve elektrik üretim verimi değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Bu amaç çerçevesinde çalışma giriş bölümü ile birlikte dörde ayrılmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde konuyla ilgili literatür taraması yapılmıştır. Bu kapsamda katı atık, düzenli katı atık depolama alanları ve depo gazı kavramları ele alınmıştır. Konu ile ilgili önceden yapılan araştırma, kitap, makale ve tezler incelenmiştir. Üçüncü bölüm yapılan bu araştırmanın materyal ve metodu hakkında bilgi vermektedir. Son bölümde ise Erzurum katı atık yönetim

tesisinde uygulanabilecek farklı yaklaşımlarla depo gazının havaya karışım oranının azaltılması ve elektrik üretim verimi değerlendirilmiştir.



KURUMSAL TEMELLER

Katı Atıklar ve Özellikleri

Atıklar

Meydana getirenin üretim, tüketim ya da dönüşüm amaçlarıyla ihtiyacının kalmadığı, atması gerektiği ya da attığı maddelere atık denilmektedir. Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) tarafından atık kavramı, sahibinin ihtiyacı kalmadığı, istemediği, kullanmadığı, uzaklaştırılması ve arıtılması gerekli olan maddeler olarak ifade edilmiştir. Kelime anlamı olarak atığı, düşük değerde, faydasız, yararı olmayan bakiye (kalıntı) veya kullanım dışı olarak tanımlamak mümkündür (Keskin, 2021). 2872 sayılı Çevre Kanununda ise herhangi bir faaliyetin neticesinde oluşmuş olan, çevreye bırakılan veya atılan her çeşit maddeye atık denilmiştir (T.C. Resmi Gazete, 11 Ağustos, sayı: 18132)

Atık, bugün en genel anlamıyla “çöp” şeklinde kullanılmasına karşın, teknik anlamda daha geniş bir kavramı ifade etmektedir. Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü (OECD), atık kavramını, bir materyalin temel ürün olmadığı anlamında kullanmaktadır. Bir başka ifadeyle söz konusu materyallerin piyasada kullanıldığı, ancak bu ürünleri üreten kişi/kişiler tarafınca yeniden kazandırılma ve dönüştürülmesinin mümkün olmadığı, tüketmek için yeniden kullanılamayacak durumdaki materyaller olarak tanımlamıştır (OECD, 2003). Çevre Koruma Ajansı (EPA) 1993’de çıkardığı “Çevre Koruma Kanunu”nda, atılmış, terk edilmiş, reddedilmiş, istenilmeyen veya artık; herhangi bir biçimde satışa sunulması mümkün olmayan, geri kazanımı, geri dönüşümü ve yeniden işlenmesi söz konusu olmayan ve farklı bir operasyonla arındırılmayan materyallere atık denilmiştir.

Atıkların sınıflandırılması

Atıklar, insan faaliyetleri sonucu oluşan yan ürünleridir. Muhtevası diğer ürünlere göre değersiz; kalitesiz veya çok düşük değer ve kalitede olan maddelerdir. Değerinin veya kalitesinin düşük olarak belirtilmesi içeriğinin bilinmemesiyle orantılı bir durumdur. Atığın ayrıştırılma veya geri dönüşüm işlemlerine tabi tutulup değerlendirilmesi durumu değeri de artacaktır. Atığın değeri ayrıştırılmamış olmasıyla da ters orantılıdır. Ne kadar fazla ayrıştırılır ise o kadar fazla değer kazanacaktır. İstenmeyen bir maddenin yerine istenen bir malzeme şeklinde tanımlanarak değerli duruma getirilebilmektedir. Atıkların içeriklerine göre farklı sınıflandırabildiği görülmektedir (Topaloğlu, 2020);

- Fiziki yapılarına göre; katı, gaz, sıvı atıklar,
- Ambalaj ve mutfak atıkları,
- Kağıt, cam, plastik ve metal atıkları,
- Kompostlanabilen, yanabilen ve geri kazanılan atıklar,
- Ticari, kentsel, kurumsal, endüstriyel ve zirai atıklar,
- Tehlikeli-tehlikesiz atıklar.

Ev ve işyerlerinden gelen katı atıkların, belediye atığı bir başka deyişle kentsel katı atık (KKA) şeklinde tarif edildiği görülmektedir. Bu tarz katı atıklar, katı atık içerisinde toplam payının yaklaşık yüzde 10'dan daha az olduğu belirtilmektedir. KKA dışında bulunan diğer katı atık unsurlarının, tarım, madencilik, endüstriyel, enerji santralleri, arıtma tesisi çamurlarıyla yıkıntı ve inşaat atıkları olarak sınıflandırıldığı görülmektedir (Öztürk vd., 2019). Atık türleri içinde katı atıklar önemli bir bölüm oluşturur. Katı atıklar, basit bir şekilde kullanıcılar tarafın işe yaramayacağı düşüncesi ile atılmış ve endüstriyel, evsel ve ticari fonksiyonların neticesinde oluşmuş ancak insan ve çevre sağlığı ve toplumsal diğer yararları dikkate alarak planlı bir şekilde uzaklaştırılma esasındaki maddelerdir (Kolukısa, 2013).

Fiziksel, teknik ve kimyasal nitelikler bakımından katı atık türlerinin sayının çok olduğu bilinmektedir. Bu kompleksler içinde katı atıklar tek çatıda toplanamamaktadır. Bu sebeple katı atıkların birbirine benzeyen ortak özellik ve niteliklerine göre gruplandırılarak sınıflandırma yapılmıştır. Bu sınıflandırmaya göre katı atık; Bileşimine göre katı atık ve kaynağına göre doğasına göre iki gruba ayrılabilirler. Tehlikeli atıklar, evsel atıklar, tıbbi atıklar, endüstriyel, evsel endüstriyel, hayvancılık ve tarımsal atıklar, kaynağına göre katı atık grupları içinde değerlendirilmektedir. Bileşimi ve özelliklerine göre katı atıklar; İnert katı atık ve organik katı atık olarak iki ana başlık altında değerlendirilmektedir. Organik katı atık, kuru maddeler ve sudan oluşur. Kuru madde, yanıcı kısım ve külden oluşur. Örnekler, biyokimyasal ve yanıcı özelliklere sahip organik katı atıkların yanı sıra hayvan ve bitki atıkları, tekstil ve kağıt atıklarıdır. Bunların dışında; kauçuk, deri, kemik ve plastik gibi organik atıklarda biyokimyasal ayrışma neredeyse imkansızdır veya çok yavaş gerçekleşir (Kolukısa, 2013). Katı atıklar aşağıdaki maddeleri bulundurmaz (Topaloğlu, 2020);

- Evsel atıklar,
- Geri dönüştürülebilen atıklar (kutular, karton, metal kutu ve plastik malzemeler vb.),
- Konutlardan çıkabilen tehlikeli atıklar, pil, ampul ve boya kutuları gibi,
- Okullar, iş yerleri ve diğer kamu kurum/kuruluşların atıkları,
- Evsel içerikteki endüstriyel atıklar,

- Bahçe, Pazar ve hal yerlerinden çıkan atıklar,
- Kaldırım, sokak, meydan gibi yerlerde süpürmeden kaynaklanan atıklar,
- Büyük hacimdeki atıklar, beyaz eşya ve mobilya gibi.

Katı atık ifadesinin dışında görülen atıklar da aşağıdaki gibi sıralanmaktadır;

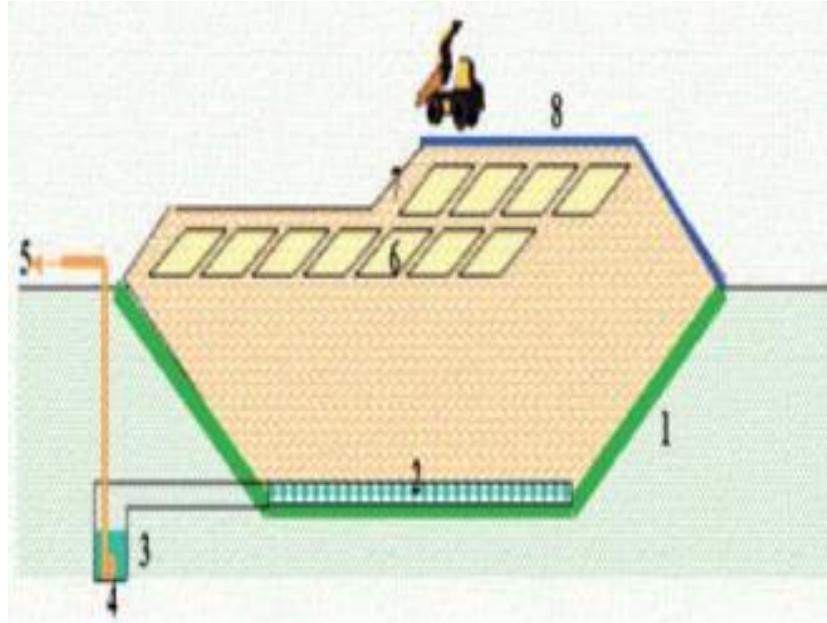
- Hafriyat ve inşaat atıkları,
- Su ile atık su arıtma tesislerinde toplanan çamurlar,
- Elektrik-elektronik cihaz ve aletler,
- Hurda arabalar, araba lastikleri ve özellik gerektirebilen hacimli diğer atıklar,
- Hastanelerden kaynaklanan tıbbi atıklar.

Katı atıkların toplama, taşıma ve bertarafı iyi yönetilmediği takdirde insan ve çevre sağlığını tehlikeye sokabilir. Onun için optimal katı atık yönetimi ile atıkların değerlendirileceği düşünülebilir. Atıkların içerikleri ve değerleri coğrafi konum, sosyoekonomik durum, iklimsel ve mevsimsel olarak değişiklik gösterir. Bu değişiklik şehirlerarası farklılık göstereceği gibi ülkeler arası da farklılık gösterebilmektedir.

Düzenli Katı Atık Depolama Alanları

Günümüz dünyasında yaygın bir şekilde kullanıldığı görülen katı atık bertaraf yöntemi, atıkların düzenli depolama alanlarında toplanmasıdır. Ancak bu alanda biriken atıklar plansız bir şekilde depolanır. Sızıntı ve karbonatlı su oluşumu ile çevre üzerinde olumsuz faktörlere neden olur. İnsan sağlığı ve çevre üzerinde olumsuz etkileri olduğu düşünülen bu muhafaza şekli, vahşi depolama olarak bilinmektedir (Solak, 2015).

Vahşi depolamanın negatif sonuçlarının önlenmesi için İkinci Dünya Savaşı'nın ardından ortaya çıktığı görülen düzenli depolama kavramıysa; katı atıkların, insan sağlığını ve çevreyi korumak için tamamen izole edilmiş ve kapalı bir alana boşaltılmış; Hacimlerinin sıkıştırılarak küçültülmesi, günlük film ile kaplanması ve mühendislik yöntemiyle doğal biyoreaktör haline getirilmesi işlemidir. Deponi işleminin ana hammadde olan sızıntı suyu ve çöp gazının etrafa zarar vermeden arıtılması önemlidir. Şekil 1'de düzenli depolama sahasının kesitinden örnek verilmiştir (Yıldırım, 2020).



izlenmesi için etkin bir sisteme sahip olunduğu belirtilmelidir. Düzenli depolama alanları, özellikle biyoreaktörler tasarlanarak ve çalıştırılarak, metandan daha yüksek oranda enerji geri kazanılabilir. Yakın gelecekte, çöp gazından metan ile birlikte karbondioksiti geri kazanma planları var. Yakma külü, lastik artıkları ve endüstriyel çamurun depolandığı tek tip bir depolama tesisi ile başlayarak gelecekte çöp depolama ürünlerinin geri kazanılması beklenmektedir. Kapalı depolama alanlarının park veya spor sahası olarak kullanılması da yaygındır (Öztürk, 2010).

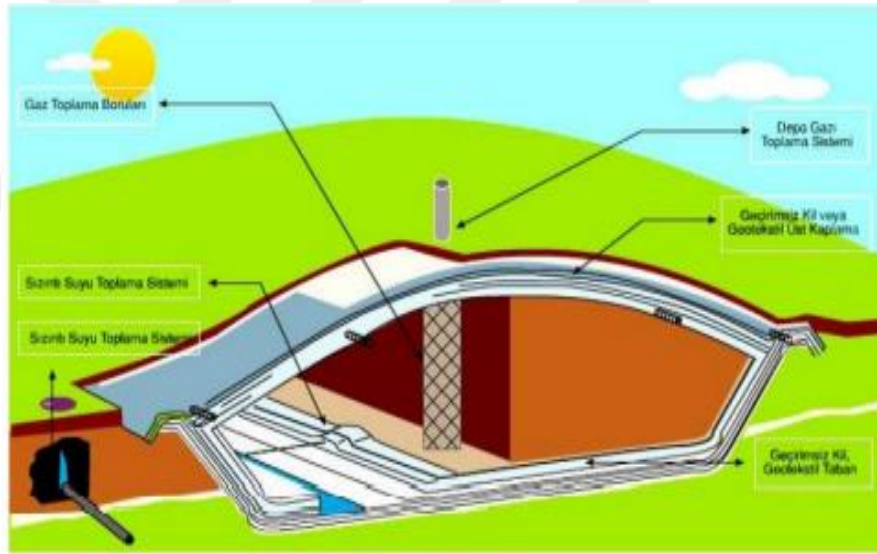
Düzenli depolama alanın özelliklerini aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür (Topal, 2021);

1. Geçirimsiz sıkıştırılan zemin kalınlığının minimum 60 cm şeklinde geomembran ve kil malzemeye kaplanmaktadır. Geçirimsizliği sağlayabilen malzemelerin geçirimsizlik katsayısı 1.10^{-9} m/sn'den büyük olmamalıdır. Yarıklarının ise daha seyrek olan kaya zeminlerde bu sayının 1.10^{-7} m/sn şeklinde alınmaktadır.
2. Depolama alanlarının alt yüzeyi, doğal yeraltı sularının en üst yüzeyinden minimum bir metre kadar yükseklikte olmalıdır (Borat, 2003).
3. Depo tabanı, minimum 60 cm kadar kalın olan doğal kil veya benzeri 1.10^{-8} m/sn geçirgenliğini sağlayan bir materyalle kaplanması neticesinde; depo tabanları yeniden geçirimsiz malzemeye kaplanmaz. Sonuçta geçirgenliğinin deponi alanlarının noktalarının tümünde 1.10^{-8} m/sn olmalıdır.
4. Düzenli depolama alanlarının içme ve kullanılan su bölgeleri, uzun mesafeli koruma alanlarında projelendirilerek; konumlandırılmalıdır. Söz konusu düzenli depolama alanları alt yüzeyinde preslenecek biçimde kalınlığı 60 cm geçirimsiz kil katının ardından, kalınlığı 2 mm olacak biçimde yüksek yoğunluğu olan HDPE ile kaplanmalıdır. Kaplanmış olan HDPE malzemenin yoğunluğunun $941-965 \text{ kg/m}^3$ aralığında değer sağlamalıdır.
5. Geçirimsizliği sağlanan alt yüzeylere dren boruları konumlandırılmalıdır. Çöp sızıntı sularının bir yerde depolanması sağlanmalıdır. Hidrolik ve statik olarak değerlendirilmesinde dren borularının çapının en az 100 mm; eğiminin en az yüzde 1 olması gerekir. Dren borularının ayrı borular olacak biçimde, yatayda ve düşeyde herhangi bir eğrilme olmaksızın doğrusal anlamda depo alanının dışına çıkar. Dren borularının etrafına çakıl, kum gibi malzemelerden oluşturulan filtreyle konumlandırılır. Filtrenin borunun üstünden başlayarak yüksekliğin en az 30 cm olmalıdır. Depolama alanının çıkış yerinde ise kontrol bacaları bulunmaktadır.

6. Toplanmış olan çöp sızıntı suları arıtılmalıdır. Şekil'2 de Türkiye katı atık bertaraf dağılımı 2018 verileri, Şekil 3 de düzenli depolama alanı ile ilgili birimler verilmiştir.

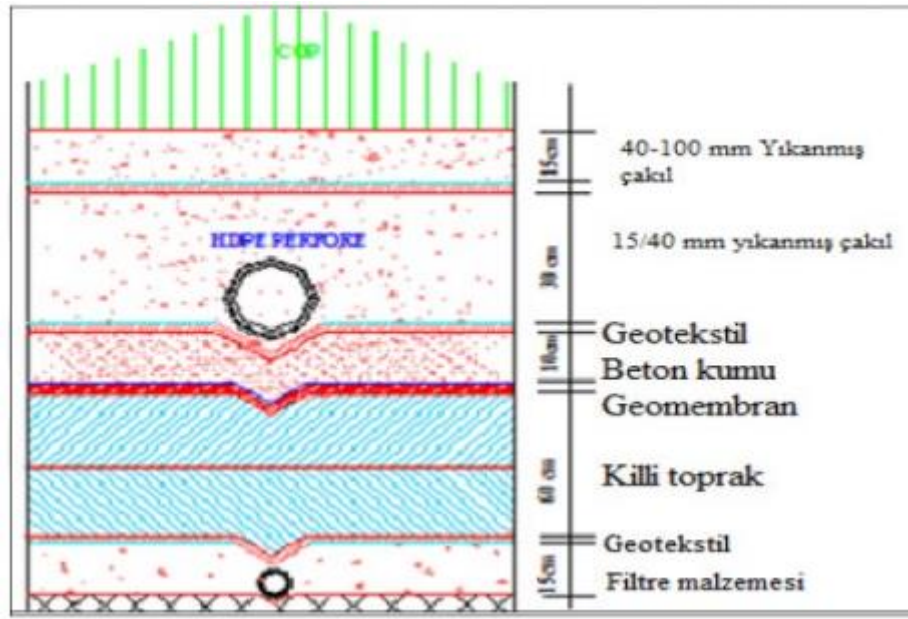


Şekil 2. Türkiye katı atık bertaraf dağılımı 2018 verileri (TUIK, 2018a)

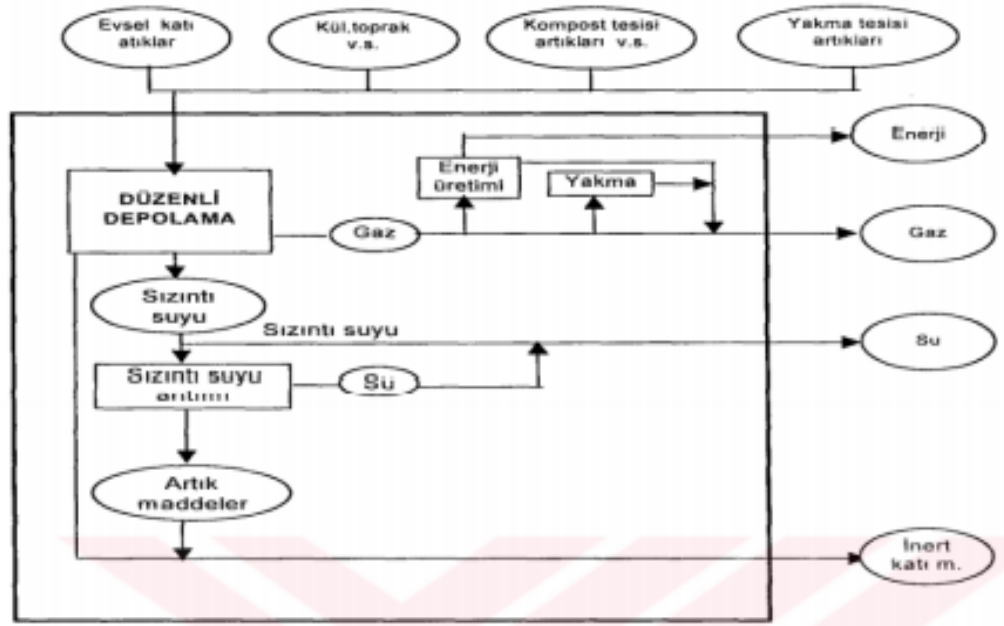


Şekil 3. Düzenli depolama alanı ile ilgili birimler (Demirci, 2017)

Evsel katı atık depolama alanlarının, zemin kesit resmi şekilde de görüldüğü gibi tamamıyla sızdırmaz olarak inşa edilir. Taban sızdırmazlığı sağlanmış olan alanlarda, çöp sızıntı suyu bünyesinde bulunan kirliliğin yeraltı sularına ve toprağa ulaşımı engellenmektedir. Şekil 4'de katı atık düzenli depolama sahası yüzey kesiti, Şekil 5'de ise katı atık düzenli depolama sahasının girdi ve çıktıları verilmiştir.



Şekil 4. Katı atık düzenli depolama sahası yüzey kesiti (Dede, 2017)



Şekil 5. Katı atık düzenli depolama sahasının girdi ve çıktıları (Tüylüoğlu, 2001)

Gelişigüzel depolama dikkate alınarak düzenli depolamanın avantajlarını aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür (Cellatoğlu vd.; 2010);

- Düzenli katı atık depolama alanları, kontrolsüz depolamadan kaynaklanan görüntü ve çevre kirliliğini engellemektedir.
- Sızıntı suyu kontrollü bir şekilde arıtıldığından yüzey ve yeraltı sularının kirlenmesi önlenmektedir.
- Atıklardan oluşan karbondioksit ve metan gibi sera gazları kontrollü olarak toplandığı için hava kirliliği, yangın ve patlama riski önlenir.

- Çeşitli zararlıların üreme alanı ve barınağı olan çöpler, düzenli olarak bakımı yapıldığında yok olur.

Şekil 6’da model düzenli depolama alanı gösterilmiştir.



Şekil 6. Model bir düzenli depolama alanı (Atmaca, 2015)

Katı atıkların düzenli depolama alanlarında bertarafı, piroliz ve kompostlama gibi uygulamalardan daha ekonomiktir, ancak kayıt dışı depolamadan daha yüksek maliyetler gerektirir. Bu konu, çöplüklere atılan katı atıklardan ekonomik kazanç elde etmek için enerji üretimi düşüncesini ortaya çıkarmıştır. Sonuç olarak katı atıkların ayrışması ile çöp gazı oluşmaktadır. Oluşan bu çöp gazıyla birlikte enerjinin elde edilebildiği görülmektedir. Düzenli depolama alanlarında depolanmış olan katı atıklardaki organik madde, ortamdaki oksijen varlığından dolayı başlangıçta mikroorganizmalarca aerobik şekilde ayrıştırılmaktadır. Depo gövdesindeki oksijen, aerobik mikroorganizmalar tarafından hızla tüketilir, bu nedenle aerobik aşamaya ulaşmak nispeten uzun zaman alır; Çöp gazının oluştuğu aşamada yani anaerobik bozunma aşamasında başlar. Çalışmada, zamanla gaz bileşimindeki değişimin beş aşamada sınıflandırıldığı bulunmuştur. Bu; “aerobik faz, metanojenik olmayan anaerobik faz, kararsız metanojenik faz, kararlı metanojenik faz ve aerobik faza geçiş” olarak hesaplanır (Öztürk, 2008). Söz konusu aşamaların her zaman aynı sıralamayla gerçekleşmediğini belirtmek gerekir. Depolanmış atığın bileşenleri dikkate alınarak; bazı fazlar gerçekleşmediği görülürken, bazılarının da aynı anda meydana gelebildiği görülmektedir. Bunun yanında bir veya iki aşamanın baskın gelebildiği zamanlar da olabilmektedir.

Düzenli depolama tesislerindeki birimler ve üniteler

Düzenli depolama alanlarında önemli birim ve üniteler Tablo 1’de aktarılmıştır. Bu alanlarda verimli işletme yapılabilmesi için tesiste bulunması gereken ünite ve birimlerin yapımı tamamlanmasının ardından bu ünite ve birimler sonraki aşamalarda da düzenli bir şekilde kontrol edilmelidir.

Tablo 1. Düzenli Depolama Alanındaki Birimler ve Üniteler (Öztürk, 2010)

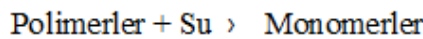
1	Sahaya giriş çıkışların kontrol edildiği bekçi kontrol noktası	12	Otopark
2	Sahaya gelen tüm atıkların tartılması amacıyla kantar ve personeli için kantar binası	13	Tüm sahayı çevreleyen tel çit
	Sahada çalışacak personelin yemek, temizlik ve barınma ihtiyacı için sosyal tesis	14	Tüm sahayı çevreleyen yüzey suyu toplama kanalları
3	İdari Bina	15	Yer altı suyu kirliliğini kontrol etmek amacıyla en az üç adet
4	Sahaya girip çıkan araçların temizlenmesi için tekerlek yıkama ünitesi	16	Depolama alanı
5	Araç tamir ve bakım atölyesi	17	Sızıntı suyu toplama drenaj sistemi
6	Jenaratör Binası	18	Sızıntı suyunun toplandığı lagünler
7	Yangın ve kullanma suyu deposu	19	Sızıntı suyu arıtma tesisi
8	Ambalaj atıkları toplama ve ayırma tesisi	20	Gaz toplama sistemi bacalar, menholler, manifoldlar
9	Sahaya giren çıkan araçların kullanacağı yollar	21	Enerji üretim veya gaz yakma sistemi
10	Atıkların sıkıştırılmasında kullanacak araçların		
11	kullanacağı yollar		

Katı atık bertaraf tesisleri tasarlarken dikkat edilmesi gereken önemli konulardan birisi iyi bir yerleşim planı yapmaktır. Düzenli depolama tesisleri için yerleşim planı hazırlanırken parsel yerleşiminin uygun şekilde tasarlanması gerekmektedir. Çünkü alanda oluşabilecek sızıntı sularının kendi cazibesi ile uzaklaştırma ve yağmur sularının lotlara girişlerinin minimum seviyede tutmak alanın yönetiminde uygulanması gereken en önemli faktördür (Keskin, 2021).

Düzenli depolama alanlarında atıkların anaerobik ayrışması

Hidroliz

Hidroliz, adım adım bir süreç olan anaerobik çürümenin temel adımlarındandır (Yıldırım, 2020).

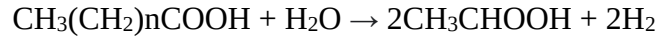


Denklemden de anlaşılacağı gibi hidroliz, basitçe polimerlerin monomerlere dönüştürülmesi işlemidir. Ayrıca kompleks polimerleri yapı taşlarına ayırdığı ve mikroorganizmalar tarafından salgılanan hücre dışı enzimler tarafından hücre zarlarını geçebilecek boyutlara ulaştığı da gösterilmiştir. Hücre zarını geçebilecek boyuta ulaşan

moleküller, hücre içerisinde enerji için kullanılır ve hücresel bir bileşen oluşturur (Öbekcan, 2014).

Asit oluşumu

Hidroliz adımı; basit bir yapıya sahiptir ve daha çözünür organik maddeler bu aşamalarda anaerobik bakteriler tarafından karbondioksit, hidrojen, uçucu yağ ve asetik asitleri gibi daha küçük yapılara dönüştürülür (Kankılıç ve Topal, 2015). Hidroliz ile oluşan uçucu yağ asitleri, bu aşamaya müdahale eden asetojenik bakterilerince hidrojen ve asetik aside dönüştürülür.

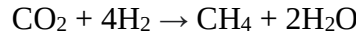


Bir başka grup asetojenik bakterinin de yine hidroliz sonucunda açığa çıkan hidrojen ve karbondioksiti bu safhada yukarıda ifade edilen dönüşüme göre daha az oranlarda asetik asite dönüştürebilmektedir (Öbekcan, 2014).

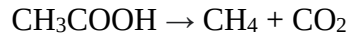


Metan oluşumu

Anaerobik çürümenin son kısmında metanojenik bakteriler araya girer, yani bakteriler metan gazı üretir. Bu aşamada, bir grup metanojenik bakteri, hidrojenle karbondioksiti su ve metana dönüştürür.



Bir başka kısım olan bakterilerse asit oluşum fazında ortaya çıktığı görülen asetik asidi yukarıda ifade edilen üretime göre daha çok miktarlarda (yaklaşık yüzde 70) metana dönüştürerek, karbondioksit ve metan açığa çıkarmaktadır.



Düzenli depolama sahalarının yönetimi

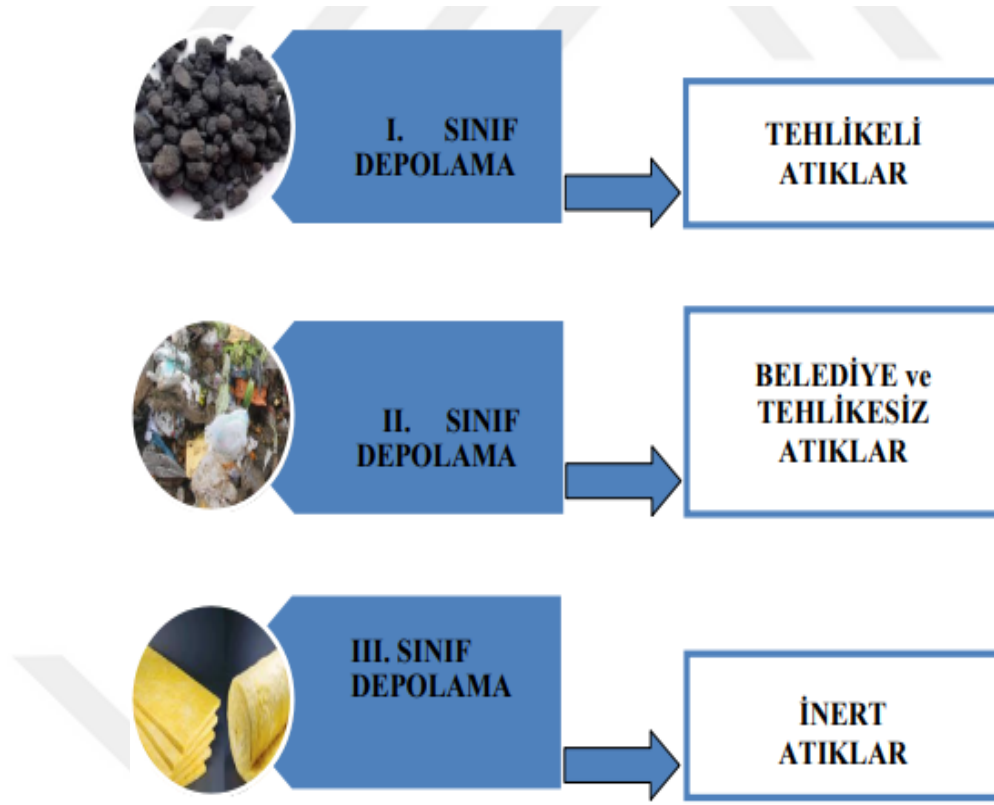
Düzenli depolama alanlarındaki gazların toplanması, işlenerek; kullanılması işlemleri insan ve çevre sağlığına zarar vermeyecek biçimde yapılmalıdır. Biyo bozunur atık olarak kabul edilen bütün düzenli depolama alanlarında gazlar toplanarak işlenerek veya doğrudan enerji üretimi için kullanımı, depo gazının elde edilmesi, enerji üretimi konusunda kullanımının ekonomik olmaması durumunda depo gazı, meşalelerde yakılmalıdır (Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, 2014). Özellikle son dönemlerdir geri kazanımla geri dönüşüm teknolojileri ve termal bertaraf yöntem uygulamalarında artış gözlenmesine karşın düzenli depolama yöntemi; katı atık yönetim stratejilerinden en fazla tercih edilme durumuna engel olamamıştır. Düzenli

depolama yönteminin, çevreyi etkilemeden kentsel katı atıklarla tehlikeli atıkların bertaraf edilmesinde en çok kullanılan yöntem olduğunu belirtme gerekir (Keskin, 2021).

Düzenli depolama alanlarındaki katı atıkların biyolojik olarak parçalanmasından kaynaklanan emisyonları kontrol etmek için egzoz kanalları da uygulanmaktadır. Deponi operasyonlarından üretilen çöp gazı, gaz toplama tüpleri ile toplanarak elektrik üretiminde kullanılmaktadır. Kontrollü çöp gazı toplama, yangın riskini de ortadan kaldırmaktadır. Proje yaşam döngüsünün tamamlanmasının ardından katı atık depolama sahası, son malç olarak bilinen geçirimsiz bir tabaka ile kaplanır ve uygun bitki örtüsü ile kaplandıktan sonra rekreasyon amaçlı kullanılabilir. Çevresel göstergeler, proje ömrünün sona erdiği depolama alanlarında, yaklaşık 30 yıl olan gaz üretiminin sonuna kadar izlenmektedir (Özgöçmen 2007).

Düzenli depolama alanı ile vahşi (düzensiz) depolama alanı arasındaki fark, sızıntı suyunun ve depolama gazının kontrollü olarak bertaraf edilebilmesidir. Düzenli depolama alanlarında uyulması gerekli olan genel kurallar yönetmelik ve kanunlarla belirlenmiştir. Aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi düzenli depolama tesis sınıfları “Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmeliğe” göre üç gruba ayrılmaktadır:

- I sınıf: Tehlikeli atık depolaması için gerekli altyapıya sahip kuruluş olarak tanımlanır.
 - II. sınıf: Belediye ve tehlikesiz atıkların depolanabilmesi için gerekli altyapıya sahip bir tesistir.
 - III. sınıf: Tesis, inert atık depolama tesisi için gerekli altyapıya sahiptir.
- Şekil 7’de düzenli depolama tesisi sınıfları verilmiştir.



Şekil 7. Düzenli depolama tesisi sınıfları (Keskin, 2021)

Burada düzenli depolama yönteminin avantajlarından bahsetmek gerekir. Bugün dünyada genel olarak uygulandığı görülen metot nihai bertaraf. Katı atıkların bertaraf edilmesinde kullanılan tüm bertaraf yöntemlerinin ardından geriye kalan ve kullanılmayacak durumdaki atıklar için bile “düzenli depolama yöntemi” kullanılabilir. Bu nedenle düzenli depolama yöntemiyle atık bertarafının uzun bir süre kullanıldığı görülen en yaygın yöntem olduğu görülmektedir. İlk yatırım maliyetlerinin az olmasının yanında işletme giderlerinin de düşük olması; özellikle de termal bertaraf yöntemlerine göre ekonomik bir yöntem olduğunu belirtmek gerekir.

Depo Gazı

Depo gazı, büyük miktarlardaki ana gazlar arasında ve düşük miktarlardaki eser gazlardan oluşur. Ana gazların katı atık bünyesinde bulunan organik maddenin ayrışması ile oluşmaktadır. Eser gazlar ise az miktarlarda olmalarına karşın toksik etki gösterebilmekte ve halk sağlığını tehdit edebilmektedirler (Tchbonoglous, vd., 1993). Söz konusu katı atıkların içindeki organik maddelerin mikroorganizmalarca anaerobik ayrışma neticesinde oluşan gaz “depo gazı” olarak ifade edilmektedir. Katı atık arıtımı sırasında çamuru stabilize etmek için kullanılan eski proseslerin anaerobik bozunması ve organik maddenin anaerobik bozunmasının ürünü olan çöp gazı "biyogaz" adını almıştır (Yadvika, 2004).

Depo gazı bileşenleri ve özellikleri

Depo gazlar, katı atık bertaraf alanlarında organik atıkların anaerobik şeklinde ayrışması sonucunda oluşmaktadırlar. Kısaca depolanan atığın içerisindeki oksijenin tümü aerobik organizmalar tarafından tüketilmesinin ardından, biyokütleinin anaerobik ayrışmalara maruz kalması sonucunda meydana gelen ürünü ifade eder. Anaerobik bakteriler, hacminin yarıdan fazlasının metan ve geriye kalanının karbondioksit olduğu metabolik ürünler ve gaz karışımları üretir. Bu bakteriler, selüloz malzemeleri gibi atıklardaki (bahçe ve yemek atıkları vb.) diğer organik maddeler parçalayabilir (Kiriş ve Saltabaş, 2011). Düzenli depolama alanlarında oluşan gaz içinde 170'ten çok bileşik olsa bile kontrol altına alınmadığı zamanlarda insan ve çevre sağlığı bakımından önemli sorunlara neden olabilecek CO₂ ve CH₄ daha çok yer almaktadır. Bu sebeple depo gazları içerisindeki bileşenler değerlendirilip; kontrol altına alınmalıdır (Öztürk, 2018). Tipik depo gazı bileşenleri ve hacimsel oranları Tablo 2'de, iz bileşenleri ve konsantrasyonları ise Tablo'3de verilmiştir.

Tablo 2. 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	01
İz bileşenler		05

Tablo 3. Depo Gazı Bileşen ve Konsantrasyonu (Bilgili, 2006)

Bileşen	Konsantrasyon (ppb)	Bileşen	Konsantrasyon (ppb)
Metanetiol	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
Diklofloroetilen	100-12000	Naptalen	10-100

Tablo 3. (devamı)

Sülfürdioksit	10-5000	Metilstiren	10-3100
Dikloroetan	100-35000	Perkloroetilen	100-62000
Trikloroetan	100-60000	Dimetilsülfid	100-15000
Tetrakloroetan	600-70000	Dikloroflorometan	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
Karbontetraklorid	100-2100	Etilbenzen	100-61000
Sikloheksan	10-3200	Dietileter	1-6000

Önemli enerji kaynaklarında olan kokusuz ve renksiz olan metan (CH_4) gazının, hacimsel olarak depo gazının yüzde 50-55'ini oluşturduğu görülmektedir. Depo alanındaki sıcaklık aralığına göre CH_4 gazı yoğunluğunun $0,6-0,7 \text{ kg/m}^3$ arasında değişmektedir. Kokusuz, renksiz, zehirli ve yanıcı bir gaz olmadığı görülen, depo gazı içindeki önemli diğer bir gazın da karbon dioksit (CO_2) olduğu belirtilmektedir. Solunum sistemlerinde oksijenin yerini alabilen; havadan ağır CO_2 , insan sağlığı için de tehlikelidir. Yoğunluğu da yaklaşık olarak 1.8 kg/m^3 olduğu ifade edilen bu gazın, “inversiyonlu” zamanlarda ve sabah saatlerinde depolama alanının yüzeyinde sis tabakası oluşturur (Öztürk, 2018).

Depo gazı bileşenleri arasında yer alan H_2 (Hidrojen), organik maddelerin çürümeye başladığı aşamada oluşur. Patlayıcı, yanıcı ve hafif bir özelliği olduğu görülen H_2 gazının, hava içinde hacim olarak yüzde 4-7 oranlarında bulunduğu kaydedilmiştir. Azot (N_2) ve oksijen (O_2) gazlarının, depo gazında yalnızca havanın depolanmış atık içine girmesiyle ortaya çıkar. N_2 gazı, inert maddelerdendir. Metanın yanıcılığının üzerinde önemli etkisi vardır. Hidrojen sülfür (H_2S) gazının, yüksek miktarlarda zehir içerdiğini belirtmek gerekir. Yanıcılık özelliği taşıyan bu gazın içindeki sülfür (S) ise keskin bir kokuya sahiptir. Depo gazı içindeki karbon monoksit (CO) gazı ise, kokusuz ve renksiz olmasının yanında yüksek zehir içermektedir (Akpınar, 2006).

Depo gazı oluşum aşamaları

Faz I (başlangıç aşaması)

Evsel katı atıklarda bulunan organik maddelerin, düzenli depolama sahasına yerleştirilmelerinden hemen sonra mikrobiyal ayrışmaya maruz kaldığı gözlemlendi. Bu aşamada biyolojik parçalanma aerobik koşullar altında gerçekleşir. Çünkü hava depolama alanında belirli bir miktarın tutulduğunu tespit ettik. Atıkların ayrışmasına neden olan

aerobik/anaerobik organizmaların ana kaynağı, günlük atıklarla kaplı son toprak tabakası olarak gösterilir. Bu organizmalar, diğer kaynakların ayrıştırıldığı arıtma tesisinden gelen çamurla geri dönüştürülen sızıntı suyunu oluşturur (Tchbonoglous, 1993). Tablo 4’de ilk 48 ay boyunca depo gazı dağılımı verilmiştir.

Tablo 4. İlk 48 Ay Boyunca Depo Gazı Dağılımı

Hücrenin kapatılmasından sonraki zaman aralığı	Ortalama Hacim Olarak Yüzde		
	Azot (N ₂)	Karbondiyoksit (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

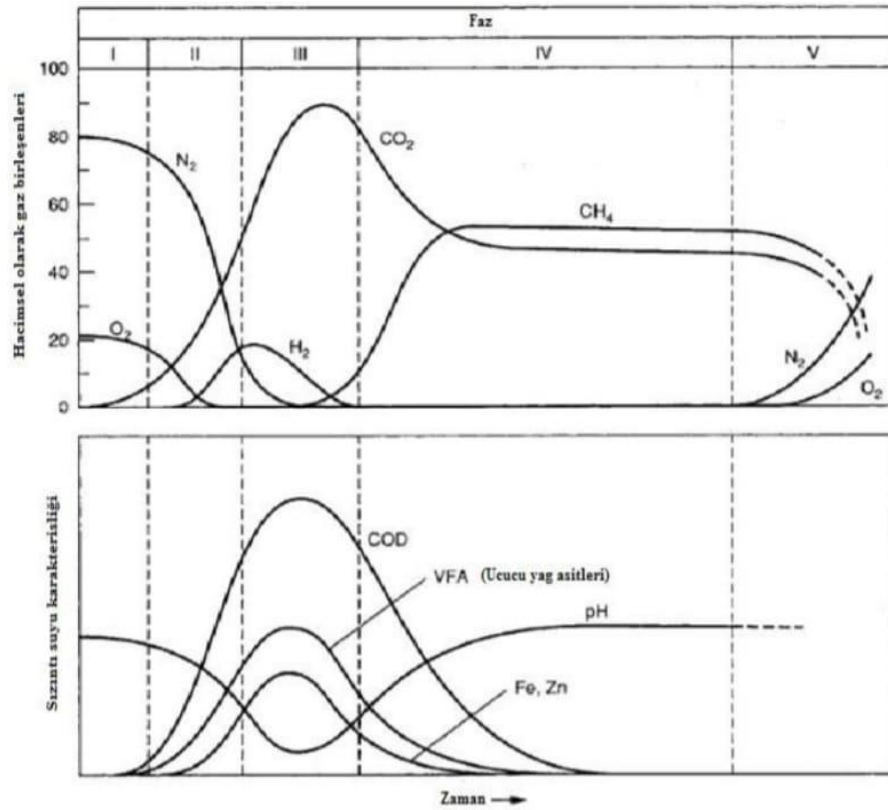
Faz II (geçiş fazı)

Bu aşamada oksijen tükenmekte ve anaerobik şartlar gelişmeye başlamaktadır. Depo alanındaki anaerobik şartların oluşmasıyla birlikte biyolojik reaksiyonlarda elektron alıcıları sülfat ve nitrat, N₂ gazı ve H₂S’e dönüşmektedirler. Anaerobik koşulların oluşumu, atığın redoks potansiyeli ölçülerek izlenir. Sülfat ve nitrat indirgemesi için sadece indirgeme potansiyelleri yaklaşık 50-100 mV’dir. Redoks potansiyeli 150 ile 300 mV arasında olduğunda metan üretimi gözlenir. Oksidasyon/indirgeme potansiyeli, kompleks organik materyallerin organik asitlerle ara diğer ürünlere dönüştürülmesi sırasında daha da azalır. Bu süre zarfında, organik asitlerin oluşumu nedeniyle sızıntı suyunun pH’ı düşmeye başlar ve C^{O2} konsantrasyonu artar (Aydın, 2013).

Faz III (asit oluşum fazı)

Asit fazı şeklinde de ifade edilen Faz III’te faz II sırasında başlayan bakteriyel aktivite, önemli oranlardaki organik asitlerin ve az miktarda hidrojen gazının üretilmesini içerir. Faz III’te asitlerin varlığından dolayı depolama alanlarındaki sıvının pH’ı düşer. Bir asit veya organik asit oluşmuşsa sızıntı suyunun pH’ı genellikle 5’in altına düşer. Bu durumda depolama alanındaki CO₂ konsantrasyonunu artırır. Biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ve sızıntı suyunun iletkenliği, sızıntı suyundaki organik asitlerin çözünmesi ile faz III’te önemli ölçüde artmıştır. Ayrıca sızıntı suyundaki düşük pH’ı nedeniyle ağır metaller

faz III'te çok sayıda inorganik formla çözülür. Birçok temel besin, faz III'te sızıntı suyu ile uzaklaştırılır. Sızıntı suyu geri dönüştürülmezse, temel besinler sistemden çıkarılır (Tchobanoglous vd., 1993). Şekil 8'de depo gazı üretiminin genel aşamaları verilmiştir.



Şekil 8. Depo gazı üretiminin genel aşamaları (Tchobanoglous vd., 1993)

Ayrışmanın tamamlanması için yerel sebeplerden kaynaklanan değişkenliklerin ayrışma süresini etkilenmektedir. Bu nedenle üçüncü safhada 200-500 gün arasında tamamlanmaktadır (Öztürk, 2018).

Faz IV (metan fermentasyon fazı)

Bir metan fermentasyon aşaması ile temsil edilen faz IV'te, ikinci bir mikroorganizma grubunun, asidik fazda asidik katkı maddeleri tarafından oluşturulan hidrojen ile asetik asidi metan (CH₄) ve karbon dioksit (CO₂) dönüştürdüğünü gözlemlenir. Bazı durumlarda bu mikroorganizmaların evre III'ün sonlarına doğru gelişeceği gösterilmiştir. Bu dönüşümün ardından sorumlu bakteriler anaerobik ve metanojenik bakteriler olarak bilinir. Faz IV'te eşzamanlı asit fermentasyon hızı önemli derecede azalmasına rağmen, asit fermentasyonu ve metan fermentasyonu devam eder. Asitleştiriciler tarafından üretilen hidrojen gazı, asidin IV. fazında CO₂ ve CH₄'e dönüştürüldüğünden, sızıntı suyunun pH'ı oldukça nötr olan 6.8 ile 8 arasında olması beklenir. Bu işlem sırasında sızıntı suyunun pH'ı artarken, iletkenlik BOİ, KOİ ile azalır. İnorganik bileşiklerin yüksek pH'da çözünmesi nedeniyle sızıntı suyundaki ağır metallerin konsantrasyonu azalacaktır (Tchobanoglous ve Vigil, 1993).

Faz V (olgunluk fazı)

Olgunlaşma olarak da bilinen aşama V, biyolojik olarak parçalanabilen organik maddenin aşama IV'te CO₂ ve CH₄'e dönüştürülmesinden sonra meydana gelir. Nem atığa girdiğinde, daha önce mevcut olmayan biyolojik olarak parçalanabilen parçalar metabolize edilir. Çöp gazı üretim hızı Faz V sırasında önemli ölçüde azaldı. Çünkü mevcut besinlerin çoğu daha önceki aşamalarda sızıntı suyu ile uzaklaştırıldı. Ayrıca, depolama alanında kalan alt tabakalar kademeli olarak zarar görür. Faz V'de oluşan çöp gazı CO₄ ve CH₂'dir. Depolama alanının kapatma önlemlerine bağlı olarak, çöp gazına çok az miktarda oksijen ve nitrojen girebilir. Sızıntı suyu olgunlaşma sırasında yüksek konsantrasyonlarda hümitik ve fulvik asit içerdiğinden, diğer işlemler biyolojik olarak zordur (Tchobanoglous ve Vigil, 1993). Başka bir deyişle, aşama V, katı atıkta organik madde stabilizasyonunun son aşaması olarak kabul edilir (Zaher vd., 2007). Depo gazı oluşumu ardışık 5 aşamadan oluşabilmektedir. Depo gazı üretilmesindeki genel aşamalar Tablo 5'de gösterilmiştir.

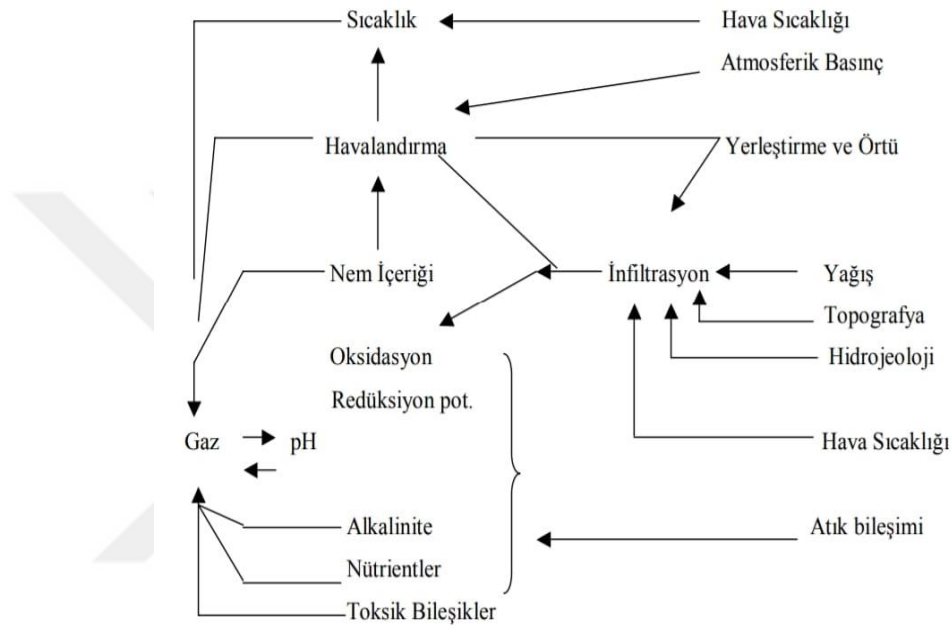
Tablo 5. Depo Alanlarında Bulunan Tipik Gaz Dağılımı

Bileşen	Bileşen Yüzde(Kuru hacim esas alınarak)
Metan	45-60
Karbondioksit	40-60
Azot	2.May
Oksijen	0,1-1,0
Sülfür, disülfür, merkaptan vb Amonyak	0-1,0 0,1-1,0
Hidrojen	0-0,2
Karbon monoksit	0-0,2
Eser bileşenler	0,01-0,6
Özellik	Değer
Sıcaklık (°C)	68-88
Özgül ağırlık Nem muhtevası	1,02-1,06
	Doygun
Isıl Değeri (kW/m ³)	14900-20500

Depo gazı oluşumunu etkileyen faktörler

Depo gazı oluşumunu etkileyen birçok faktörün olduğu görülmektedir. Bir depolama alanında ayrışma ve gaz üretimi 30-100 yılın arasında sürmesi beklenir. Buna karşın bu olayların yüksek düzeyde çok daha kısa zamanda gerçekleşmektedir. Depo alanlarındaki ayrışmanın hızının tanımlayacak yeterli hız sabiti yada basit eşitlik bulunmamaktadır. Atık içindeki yüksek düzeylerdeki organik maddelerin toplamaları yapılacak olan gaz miktarını

arttırmaktadır. Böylece emisyonların azalması sağlanmaktadır. Su, atık bünyesindeki maddeleri süzerek; bu maddeler mikroorganizmalar için elverişli su fazına geçer. Bu sebeple gaz oluşması için yeterli nem gereklidir. Sulu fazın besin bileşimi ikinci en önemli parametre olduğu görülür. Çünkü gaz üretmek için bakterilerin popülasyonunda artış gerekir. Depolama sahasında biriken atığın bileşimi gaz oluşumunda etkilidir. Sıcaklık ve pH vğibi çevresel parametrelerin anaerobik ortamlarda bakterilerin aktivitesini etkiler. Ayrıca gaz oluşum hızını etkileyen diğer iki parametre de partikül boyutları ve atık yoğunluğudur (Mcbean, 1995). Şekil 9'da gaz oluşumunu etkileyen faktörler gösterilmiştir.



Şekil 9. Gaz oluşumunu etkileyen faktörler (Mcbean, 1995)

Nütrienler, Topografya, Hidrojeoloji, Yerleştirme ve atık bileşimi düzenli depo alanı ile işletmesi esnasında kontrol edilecek faktörleri ifade etmektedir. Depo gazı oluşumunu etkileyen bazı faktörleri aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür:

Nem İçeriği: Atık ayrışması ile gaz üretimi için önemli parametre şeklinde değerlendirilmelidir. Nem içeriğinin gaz üretimi konusunda gereken anaerobik ortamıyla depo alanında besi maddeleri ve bakterilerin taşınması sağlanır. Metan bakterilerinin ihtiyacı olan nem düzeyinin oldukça düşük olduğu görülmektedir. Kuru olan depo alanlarda bile söz konusu nem düzeyine ulaşmak mümkün görünmektedir. Bu nedenle, depo gazı her depo alanında üretilebilmektedir. Nem içeriğinin alanın su tutma kapasitesine ulaşıncaya dek artış göstermesi gaz üretimini de arttırmaktadır (Özaktaç, 2004).

Nütrient İçeriği: Depolama alanındaki bakteri gelişimleri için bazı nütrientlere gereksinim duyarlar. Söz konusu nütrientler oksijen, karbon, hidrojen, fostor ve azot olarak sıralanmaktadır. Miktarları az olsa da potasyum, kalsiyum, sülfür, magnezyum, sodyum ve eser

diğer elementlere gereksinim vardır. Nütrientlerin bazıları yalnızca yeterli oranlarda bulunmalarından ziyade, belirli oranlarda bulunmalarını gerektirir. Kolaylıkla sindirilen besi maddesi miktarları ne denli çok olursa gaz oluşum hızının da o denli artmasını sağlar (Özaktaç, 2004).

pH Seviyesi: Anaerobik ayrışmalarda optimum düzey pH aralığı 6.7-7.5 aralığındadır. Bu pH aralığı, metanojenler maksimum oranlarda büyür. Bu nedenle metan üretimi maksimum değerine ulaşır. Optimum pH aralığı dışında metan üretimi 6'nın altındaki ve 8'in üzerindeki pH değerleri ile çok sınırlıdır. oluşum oranları. Uçucu yağ asitlerinin varlığından dolayı genç sızıntı suyunun pH değeri 6-7'nin altındadır (Özaktaç, 2004).

Sıcaklık: Depolama sahasındaki sıcaklık koşulları, ortamda hakim olacak bakteri türlerini ve gaz oluşumunun derecesini etkiler. Termofilik bakteriler için optimum sıcaklık aralığı 30-35 °C'i, termofilik bakteriler için 5-65 °C 'dir. Termofilik ortamda yüksek oranda gaz oluşumuna rağmen, birçok depolama alanındaki sıcaklıklar termofilik aralık içindedir. Aerobik mikrobiyal aktivite nedeniyle, depolama alanı çöktükten 5 gün sonra maksimum sıcaklığına ulaşır. Anaerobik şartkar oluştuğunda ortamın sıcaklığı düşer. Depolama alanlarının üst kısımlarında hava sıcaklığındaki değişime bağlı olarak daha büyük dalgalanmalar gözlenir. Üst bölgelerde bulunan atık olan kütle izolasyonu sebebiyle düzenli depolama sahasının derin ve orta alanlarında daha küçük sıcaklık dalgalanmaları meydana gelir. 15 m veya daha fazla yükseklikteki alanlar, ortam hava sıcaklığından nispeten az etkilenir. Ayrıca 70°C 'ye kadar sıcaklıklara ulaşabilir. Bu izole yüksek sıcaklık bölgeleri, bölge genelinde düşük sıcaklıklı depolama alanlarında da gözlemlenebilir. Bu yüksek sıcaklık, büyük atık derinlikleri, çamur ilavesi veya sızıntı suyu geri dönüşümü olan çöplüklerde gözlenir. Sığ bir çöplük etrafındaki ortam sıcaklığı, atık kütesinin sıcaklığını etkiler (Özaktaç, 2004).

Depo gazının çevresel etkileri

Depo gazının oluşması ve eldesi esnasında bazı çevresel problemlerle güvenlik sorunları oluşabilir. Bunlardan bazılarını aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür (Kiriş ve Saltabaş 2011):

- Sera gazı emisyonları için olumsuz katkılar,
- Yangın ve patlama tehlikesi dolayısıyla insan sağlığı için tehlikeler,
- Depolama alanının üzerinde ve yakınında bulunan tarım ürünleriyle diğer bitkilere olumsuz etki,
- Kötü koku emisyonu.

İnsan faaliyetlerinin, çevresel bozulmalara neden olduğu görülen sera gazı birikimlerine yol açtığı görülmektedir (Johari vd., 2012). Katı atıklar, organik maddelerin biyolojik ayrışması

sebebiyle sera gazı kaynaklarından birisidir. Hızlı şehirleşmenin olduğu ülkelerdeki depolama alanlarının, önemli sera gazı ve antropojenik metan kaynaklarından birisi olduğu aktarılmıştır (Chakraborty vd.,2011).

Düzenli katı atık depolaması, kontrolsüz depolamanın çevre üzerindeki olumsuz etkilerinin ortadan kaldırıldığı görülse de, çöp gazı kontrolü gibi yeni bir sorunla karşılaşmaktadır. Katı atıklardan çıkan çöp gazı düzgün bir şekilde toplanmazsa, bir takım halk ve çevre sağlığı sorunları ortaya çıkabilmektedir. Bu anlamda depo gazlarının çevreye etkilerini aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür (Özcan vd., 2005; Solak, 2015):

İklim değişikliği: Katı atık depolama alanlarından çıkan gazdaki karbondioksit ve metan emisyonları küresel ısınmaya katkı sağlamaktadır. Metanın moleküler düzeyde karbondioksitten 20 ila 25 kat daha fazla küresel ısınma etkisi vardır ve atmosferde kalma süresi diğer gazlara göre daha uzundur. Sera gazları şeklinde bilinen gazların atmosferinde artan değişim, bazı çevre sorunlarına neden olmaktadır. Oluşabilecek muhtemel problemleri aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür;

- Deniz seviyesinin yükselmesiyle kıyı ve nehir deltalarının taşması,
- Buzulların erimesi ve kar örtüsü nedeniyle azalan tatlı su mevcudiyeti,
- Atmosferin ısınmasıyla birlikte artan sıcaklıkların ve artan ölümlerin etkisiyle hastalıkların yayılması daha kolay olur,
- Biyoçeşitliliğin kaybolması ve bazı türlerin ısı etkisiyle yok olması,
- Atmosfer sıcaklığındaki değişimlere bağlı olarak tarımsal üretimin azalması olarak sınıflandırılabilir.

Yangınlar ve patlamalar: Havadaki metan konsantrasyonu %5 ile %15 arasında olduğunda patlama riski vardır. Bu sınır değerler sırasıyla alt patlayıcı limiti (LEL) ve üst patlayıcı limiti (UEL) olarak adlandırılır. UEL üzerindeyse gaz patlama yapmadan yanar. Metan derişimlerinin bu kritik düzeye ulaşması halinde, atık içindeki oksijen tamamıyla tükenmiş olduğu için depolama alanlarında patlamaların yaşanması gibi doğrudan tehlike görünmemektedir. Buna karşın durumların bazılarında depo gövdesi ve alanda yangınlar çıkabilmektedir.

Depo gazlarının hava kirliliğine etkisi: Katı atık depolama alanlarından atmosfere salınan düzenli depolama gazları, küresel ve bölgesel hava kirliliğine sebep olur. Metan ve karbondioksit ek olarak, küçük oranlarda da olsa uçucu organik bileşiklerin atmosfere karıştığı görülür. Uçucu organik bileşikler, depolama alanına götürülen atığın yapısında son bulabilmekte veya atığın bozulması sonucunda oluşabilmektedir. Uçucu olan organik bileşikler,

üretilen toplam gazın %1'inden daha azını oluşturmalarına rağmen, kimyasal ve fiziksel özellikleri nedeniyle çevreyi ciddi şekilde kirletmektedirler. Söz konusu bileşikler havayı kirletmekte ve halk sağlığına zarar verdikleri için tehdit oluşturmaktadırlar.

Yeraltı suyu kirliliği: Karbondioksitin yüksek çözünürlüğü nedeniyle, çöp gazı yer altı suyuna kolayca karışabilir ve kirlilik yaratabilir. Ancak çöp gazında eser miktarda bulunan gazların son derece zehirli olduğu görülmektedir. Bu gazlar yeraltı suyunu kirletir.

İstenmeyen kokular: Kötü kokulara, çöp gazı içinde düşük konsantrasyonlarda kokulu bileşiklerin bulunması neden olur. Kokuya neden olabilen eser miktarlardaki bileşenlerin çoğunun toksik olabildiği belirtilmektedir. Koku veren maddelerin rüzgar gibi hava faktörlerinin etkisiyle depolama alanlarından dışarı taşınması nedeniyle koku salabilmesi ciddi bir sorundur.

Depo gazından enerji eldesi

Depo gazından enerji geri kazanımlarında farklı uygulama teknolojilerini kullanılabildiği görülür. Bunları aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür (Atmaca, 2015);

1. Doğrudan ısıtma yöntemi: Bu ucuz ve basit bir yöntemdir. Çimento, tuğla veya kireç için büyük endüstriyel kazanlarda veya fırınlarda yakılarak kullanılır. Çöp gazı, seraları ısıtmak için de kullanılabilir. Ek olarak endüstriyel kazanlar ve alan ısıtması, endüstriyel ısıtma ve soğutma örnek olarak verilebilir.
2. Elektrik üretim uygulamaları: Doğrudan yanmanın mümkün olmadığı durumlarda uygulanacak ekonomik uygulamalardan biridir. Uygulama örnekleri, içten yanmalı motorları, buhar türbinlerini, kojenerasyon uygulamalarını, gaz türbinlerini, mikro türbinleri ve yakıt hücrelerini içerir.
3. Boru hattındaki kalitenin gaza saflaştırılması: doğal gaz şebekeleri veya araç yakıt enjeksiyon yöntemlerini kullanan uygulamalar.
4. Depo gazlarının kimyasal madde üretimi için kullanımı: Çöp gazı içindeki CH_3 , petrokimya prosesleri için hammadde olarak kullanılabilir; En uygun kullanım şekli metanol (CH_3OH) üretimidir. Ayrıca dizel yakıtın dönüştürülmesi ve kullanılması gibi uygulamalar da bulunmaktadır.

Katı atık depolama alanlarında çöp gazını enerjiye dönüştürmenin en yaygın yolu, biyogaz ünitelerinde elektrik enerjisine dönüştürmek ve daha sonra şehir şebekesine vermek veya gerektiğinde tesisatın enerjisini kullanmaktır. Saf çöp gazı ilk olarak yanma odasına girmekte, burada yanma yüksek basınçta gerçekleşmektedir. Şafta bağlı pistonlar yanma ile harekete geçmekte ve hareket ettirilmektedir. Bu hareket, milin dairesel bir hareketle hareket

etmesine neden olur. Mekanik motor şaftı jeneratöre bağlanmıştır. Bu hareket daha sonra mekanik enerjiye ve daha sonra elektrik enerjisine dönüştürülür (Arslan, 2022).

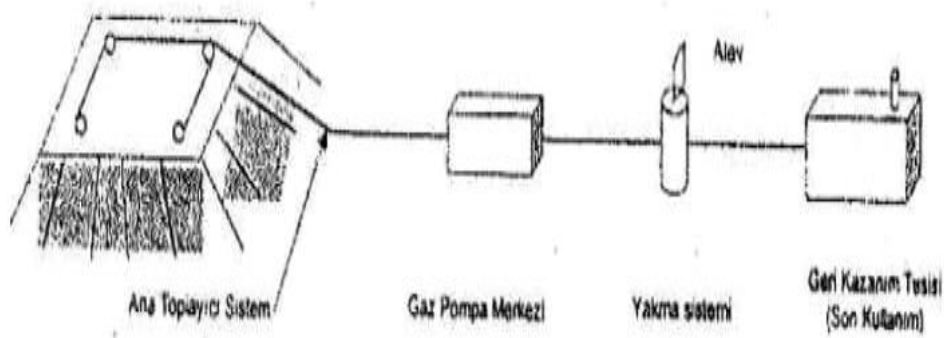
Depo gazı geri kazanımı ve kullanımı

Depo gazı geri kazanım teknolojileri

Depolama alanlarında gazın geri kazanımını sağlamak için dikey veya yatay kuyular açılmaktadır. Kuyular, üfleyicinin çöküntüdeki havayı geri kazandığı merkezi alana yatay borularla bağlanır. Tipik bir geri kazanım sistemi genellikle ikincil bir yanma sistemi içerecektir. Gaz geri kazanım sisteminin aşağıdaki bileşenlerden oluştuğu görülmektedir (Mc Bean vd., 1995):

- Atık içine yerleştirilen gaz kuyuları,
- Kuyularla emmeyi sağlayan, pompa merkezinin birleştirmesini sağlayan temel toplayıcı sistem,
- Gaza gereksinim olmadığı hallerde kullanabilmek için, gazın yakımına imkan veren yakma.

Şekil 10'da gaz geri kazanım sistemi şematik gösterimi verilmiştir:



Şekil 10. Gaz geri kazanım sistemi şematik gösterimi (Mc Bean vd. 1995)

Gaz Toplama Kuyuları: Depolama alanınının belirli bir bölümü kapatıldıktan sonra gaz toplama işlemi başlar. İki ana tip gaz toplama sistemi vardır. Bu sistemler dikey ve yatay hava emiş sistemleridir. Dikey sistem günümüzde en çok kullanılan alanda bulunan sistemdir. Yatay sistem, gazın hemen geri kazanılması gereken çöplükler için uygundur. Hem düşey hem de yatay sistem kullanımı için, her bir kuyu, gazı temel toplayıcıya götürmüş olan yatay borulara bağlandığı görülmektedir. İdeal anlamda toplama sistemi, işletmecilerin gaz akışını izlemeleri ve müdahale etmesini mümkün hale getirecek şekilde tasarlanması gerekir (Gendebien vd., 1991).

Gaz Körüğü (Blower): Gazı toplanan kuyulardan temel toplayıcıya götüren negatif basıncı oluşturur. Depolama alanından hava çekecek blower boyutu, türü ve sayısı hava akışına bağlıdır. Gazın nasıl kullanıldığına bağlı olarak, ek hava sıkıştırması gerekebilir. Ancak, yalnızca havayı dışarı çekmek için gereken sıkıştırma miktarı genelde çok küçüktür. Bunun nedeniyse, yalnızca çok düşük miktarlarda negatif basınca gereksinim duyulmasıdır. Örneğin 2 milyon ton atık içeren bir tesisin dakikada $28,5 \text{ m}^3$ veya yılda ortalama 15 milyon m^3 gaz üretebilir. Buna göre $1 \text{ m}^3 / \text{dk.}$ gaz debisinde yaklaşık olarak 0,3-0,8 BG'lik bir güç gerekmektedir. Bu durumda 36-95 BG gücünde bir blowere ihtiyaç duyulduğu aktarılmaktadır (Gendebien vd., 1991).

Yakma Sistemi (Flare): Yakma sisteminin, gazın kullanılmaması durumunda doğrudan atmosfere verilmesini önlemek için olduğu görülür. Gaz hava ile yanıcı bir karışım oluşturmakla birlikte yanma olayının gerçekleşmesi için tutuşma gereklidir. Yanma sistemi açık veya kapalı olarak çalışır. Çoğu enerji geri kazanım sistemi, gerektiğinde fazla gazı gidermek için bir yakma sistemine sahiptir. Gaz kullanımının uygun olmadığı durumlarda yanma, önemli bir emisyon kontrol teknolojisi olarak ortaya çıkar. Yakma sisteminin önemli bir çevresel yönü, hidrokarbon bileşiklerinin yok edilmesi ve yanıcı olmayan maddelerin bulunmamasıdır. Yakma sistemlerinin yaklaşık olarak yüzde 98-99,5 oranlarında giderme verimine sahip oldukları görülür (Aydın, 2013).

Depo gazı kullanım teknolojileri

Bölgesel gaz kullanım

Geri kazanılan gazın en basit kullanımı bölgesel olandır. Bu düzenleme, gazın filtreler ve/veya kademeli bir kurutucu içeren bir boru hattından taşınmasını gerektirmektedir. Mümkün olduğunda, işletme ve borulama maliyetlerini azaltabilmek için tek bir nokta tercih edilmelidir. Gazın kullanıcılara iletiminin öncesinde, bir ölçüye kadar temizlemek gerekir. Kondensat ve partiküllerin kurutucu veya filtreler aracılığıyla tutulması sağlanmaktadır. Bu minimum gazın arıttırılmasının ardından gaz kalitesi tipik CH_4 , yüzde 35- 55'ye ulaşım sağlanmaktadır. Metan konsantrasyonunda bulunan bu seviyeyse, motor ve kazan gibi ekipmanlarda kullanmak için yeterli gelmemektedir. Gaz kullanım ekipmanı, genelde yüzde 100 metan içermiş olan doğal gaz için tasarlanmış olması karşısında, ekipmanın daha düşük içerikli metan kullanılması için kolayca ayarlanabilir (Gendebien vd., 1991). Söz konusu seçeneğin fizibilitesinin değerlendirilmesi için, gazı potansiyel kullanıcılara taşıyacak olan boru hattının uzunluğunun tahmin edilmesi gerekir. 3 km. üzerinde bulunan mesafelerin maliyet-etkin bulunmaz. Bunun yanında boru hatlarının inşa edilebileceği güzergahın da hazırlanması gerekir. Dağlık ve

nehirlerin bulunduğu bölgeler gibi doğal engeller, gaz iletim boru hattı inşaatının oldukça yüksek maliyetlere çıkarabildiği görülür (Gendebien vd., 1991)

Boru hattına verme

Bölgede hiç kullanıcı bulunmadığında, boru hattına çöp gazı enjekte etmek uygun bir seçenek olabilir. Yakınlarda orta beslemeli bir gaz boru hattı varsa, gaz tedarikinden önce gazın yalnızca düşük bir seviyede işlenmesi gerekir (Gendebien vd., 1991). Boru hattına vermek, gazın boru hattı basıncına kadar sıkıştırılmasını gerektirmektedir.

Orta kalite gazlar: Gazın yüzde 50 metan içeriğinin olmasıyla eşdeğer görülmektedir. Gaz veriminin öncesinde işlenmektedir. Böylelikle kuru hale gelmekle beraber korozyif bileşenlerden arındırılır. Bu seçeneğin cazipliğinin etkilendiği temel faktörlerse, gaz sıkıştırmanın dereceleri ve boru hattına olan mesafelerdir.

Yüksek Kalite Gazlar: Geri kazanılmış olan gazlardaki karbondioksitin ciddi bir bölümü ile eser elementlerinin uzaklaştırılması gerekir. Diğer kirleticileri uzaklaştırmak daha zordur. Bu nedenle, daha pahalı işlem olarak kabul edilir. Depo gazının kullanım seçeneklerinin teknik fizibiliteleri Tablo'6'da özetlenmiştir.

Tablo 6. Depo Gazı Kullanımı Seçeneklerinin Teknik Fizibilitesi Özeti (Gendebien vd., 1991)

Seçenekler	Depolanmış min. atık miktarı	Gaz kalitesi (min.CH ₄ kons.)	Uygulanabilirlik
Bölgesel Gaz Kullanımı			
Sahada veya endüstri, yerleşim yerleri veya ticari tesislerde doğrudan kullanım	1 milyon ton	%35	Saha dışında kullanım tesisi, sahadan en fazla 3-4 km uzakta olmalıdır. Sahada kullanım yüksek enerji gereksinimi olan tesisler için uygundur. Özellikle halihazırda doğal gaz kullanan tesisler.
Elektrik Üretimi			
İY Motorlar	1,5 milyon ton	%40	Elektrik şebekesi gereklidir. Satılan elektrik kullanıcının ekipmanıyla uyumlu olmalıdır. Sahada kullanım, elektrik kullanan yardımcı ekipmanlara sahip sahalar için uygundur.
Gaz Türbinleri	2 milyon ton	%40	Elektrik şebekesi gerekli, satılan elektrik kullanıcının ekipmanıyla uyumlu olmalıdır. Sahada kullanım, elektrik kullanan yardımcı ekipmanlara sahip sahalar için uygundur.
Boru Hattına Verme			
Orta Kalite Gaz Boru Hatları	1 milyon ton	%30-50	Orta kalite gaz boru hattı şebekesi bulunmalı ve ilave gazı taşıyacak kapasitede olmalıdır.
Yüksek Kalite Gaz Boru Hatları	1 milyon ton	%95	Özel gaz arıtma gerekmektedir. Yüksek kalitede gaz boru hattı şebekesi bulunmalı ve ilave gaz taşıyacak kapasitede olmalıdır.

Elektrik üretimi

Elektrik, yerinde kullanım veya bölgesel şebekeye dahil edilmek üzere üretilebilir. Elektrik üretmek için birçok farklı teknoloji mevcuttur. İçten yanmalı (İY) motorlarla gaz türbinleri bunlardan en yaygın olanlarıdır (Gendebien vd., 1991). Elektrik üretimi konusunda doğru yöntemin seçilmesi, beklenen gaz debisi önemli olup, gaz türbinlerinin, İY motorlara nazaran yüksek gaz debisine gereksinin duyduğu görülmektedir. Gaz türbinlerinin yalnızca olan büyük depolama alanlarının uygun olduğu görülür. Bunun yanında gaz türbinleri nispeten daha sürekli çalışma ihtiyacı göstermekte ve gün içerisindeki elektriğin değişmesi ve bu yüklerin karşılanması için kapatılması ve açılması tavsiye edilmez. Sonuçta, gaz türbinlerinin elektrik şebekesinin devamlı besleyecek biçimde elektrik üretimi için kullanılır. İY motorların, kolayca açılıp kapatılabildiğini belirtmek gerekir (Mc Bean vd., 1995).



MATERYAL ve YÖNTEM

Erzurum’da Katı Atık Yönetimi

Erzurum ilinde evler ile işyerlerinden oluşan atıklar, cadde ile sokak temizliğinden oluşan atıklar, arıtma tesislerinden kaynaklan ızgara atıkları, bitki atıkları, rekreasyon alanlarında oluşan katı atıklar belediye eliyle toplanmakta ve taşınmaktadır. Merkez üç ilçe olmak üzere Aziziye, Palandöken ve Yakutiye ilçelerinden oluşmaktadır. Katı atıkların toplanması ve taşınma işleminde, Palandöken belediyesi, Aziziye belediyesi, Yakutiye belediyesine ait evsel katı atık toplama ve taşıma araçları bulunmaktadır. Haftanın yedi günü tüm araçlar ikili vardiya düzeni olacak şekilde evsel katı atık toplama taşıma işlemini yürütmektedir. Nüfus yoğunluğunun yüksek olduğu yerleşim yerlerinde ise bu araçlar gerek duyulması durumunda tekrardan toplama işlemi yapmaktadır. Merkez ilçe belediyelerinin topladığı ve taşıdığı toplam atık miktarı günümüzde yaklaşık 380 ton/gün dolaylarındadır. Toplanan bu atıklar 2008 yılından bugüne kadar herhangi bir atık transfer merkezine gitmeden Erzurum-Çat karayolunu kullanarak il merkezine 16 km mesafede olan katı atık düzenli depolama tesisine getirilerek sağlıklı bir şekilde bertarafı sağlanmaktadır. Katı atıklar, yerleşim bölgelerine belediye tarafından temini sağlanan konteynırlarla geçici olarak toplanmaktadır. Genelde sabit taşımalık sistemi kullanılmakta olup konteynırlardan toplanan atıklar sıkıştırılmalı toplama araçları ile katı atık sahasına götürülmektedir. Katı atık toplama araçları aynı zamanda taşıma görevini de görmektedir.

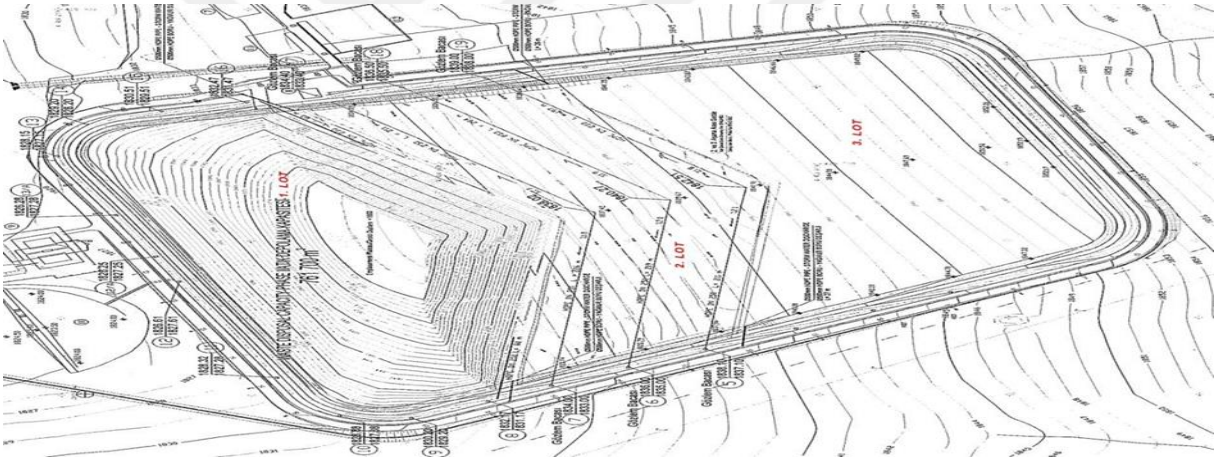
Erzurum Düzenli Depolama Tesisinin Tanıtımı

Erzurum katı atık düzenli depolama tesisi, Erzurum-Çat yolu üzerinde bulunmaktadır. Yerleşim olarak yakınında Adaçay ve Yarımca köyleri bulunmaktadır. 2005 yılında temel atılan ve yapımına başlanan tesis Mayıs 2008 yılında işletmeye başlanmıştır. Ülkemizin bulunan tesisler arasında lisanslı 12. sırada bulunan Erzurum katı atık düzenli depolama sahası kullanım ömrünün 20 yıl hesaplanarak projelendirilip inşa edilmiştir. Tesisin kamulaştırma sahası 55 hektardır. Bu 55 hektarın 17,64 hektar olan kesmi düzenli depolama sahası olarak kabul edilmiştir. Proje içeriğinde katı atık depo alanı 3 lot olarak belirlenerek; 1. lot 6 hektar, 2. lot 5 hektar, 3. lot 6,64 hektar olarak projeye dahil edilmiştir. Temmuz 2017 tarihinde 1. lotun dolumu işlemi tamamlanmıştır. İlk lotun üzeri geçici olarak 2 metre kalınlığında toprak ile örtülerek 2. lot işleme alınmıştır. Şekil 11’de Erzurum katı atık düzenli depolama sahası genel görünüşü gösterilmektedir. Şekil 12’de Erzurum katı atık düzenli depolama sahası lotları

verilmiştir. Tablo 7’de d Erzurum Büyükşehir belediyesi düzenli depolama tesisi tasarımı temel bileşenleri verilmiştir.



Şekil 11. Erzurum katı atık düzenli depolama tesisi genel görünüşü



Şekil 12. Erzurum katı atık düzenli depolama tesisi lotları

Tablo 7. EBB Düzenli Depolama Sahası Tasarımı Temel Bileşenleri

Nüfus Artışı	2010'a kadar artış oranı: % 3,1 2010'dan proje sonuna kadar: %2,0
Yeri	Erzurum şehir merkezine 14 km
Depolanacak atık tipi	Evrensel
Toplam depolama kapasitesi	2.836.000 m ²
Depolama sahası hizmet ömrü	20 yıl
Depolama sahası toplam yüzey alanı	17,64 ha (kamulaştırma sınırı)
İşletme Aşaması Sayısı	3
1. Aşama kapasitesi	740.000 m ²
2. Aşama kapasitesi	910.000 m ²
3. Aşama kapasitesi	1.190.000 m ²
Çökmelerden önce beklenen atık yoğunluğu	1,0 t / m ³
Depolama yüksekliği	30 m
Kazı hacmi	80.000 m ²
Dolgu hacmi	50.000 m ²
Geçirimsizlik sistemi	60 cm Mineral geçirimsizlik tabakası $K_f < 3 \times 10^{-9}$ HDPE Folyo d > 2,0 mm
Sızıntı suyu drenaj sistemi	30 cm Drenaj tabakası 16/32 çakıl Tali sızıntı suyu boruları: HDPE delikli Do 250 boru (195 m) ve Ana kolektör sızıntı suyu borusu HDPE delikli Do 315 boru (195 m) PE –folyo üst örtü (30.000 m ²)
1. aşama yağmursuyu toplama	HDPE jeomembran > 2,5 mm (2.000 m ²)
Sızıntı suyu havuzu geçirimsizliği	HDPE borulamalı beton imalat
Sızıntı suyu inceleme bacası	HDPE tabaka uygulamalı beton imalat
Sızıntı suyu toplama bacası	Ters Ozmos Tesisi, 50 m ³ /gün
Sızıntı suyu arıtma tesisi	42 Gaz kuyusu; 1. aşama için 13 adet
Gaz toplama kuyuları	Delikli HDPE Do 180mm boru (500 m), 13 çelik boru (4 m), iletim boruları HDPE DA 90mm boru (1.000 m) HDPE Do 200 mm boru (800 m)
Gaz toplama ana borusu	4 istasyon (beton) her biri iyi ve kötü gaz için iki gaz toplama kirişli (galvaniz çelik)
Gaz toplama istasyonları	Yoğunlaştırma istasyonu ve yakma ünitesi (1.000 m ³ /saat)
Gaz bertarafı	Asfalt yol, uzunluk 1.470 m, 7,0 m genişlik
Sedde kenarı çevre yolu	Trafik ve park için asfalt alan (2.750 m ²)
Trafik alanları	280 m ² tek katlı bina
İdare Binası	420 m ² tek katlı yapı, yağ çukurlu
Garaj	28 m ² yapı, kantar ve tekerlek yıkama ünitesi
Giriş kontrol alanı	500 m ² asfalt kaplama alan, sızıntı suyu sistemine bağlantısı yapılabilen alan
Atık inceleme alanı	Mevcut içme suyu şebekesine bağlantı
Su	Çevre yolu aydınlatılması dahil elektrik şebekesi
Elektrik	3.100 m beton direk ve kafesten yapılmış Telçit (2,00 m), elektrikli kayar ana giriş kapısı
Kapılar, çitler, çevre düzenlemesi	4 adet yeraltı suyu muayene kuyusu, yaklaşık 50 m derinliğinde
Yeraltı suyu gözlemlenmesi	

Erzurum Katı Atık Sahası Atık Karakterizasyonu

Datalar Erzurum Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü İl Sıfır Atık Yönetim Sistemi Planı raporlarından alınmıştır. Türkiye atık karakterizasyon istatistikleri göz önünde bulundurulduğunda, Erzurum ilinde bulunan atıkların biyolojik olarak bozunabilir miktarının oranı %56,94 seviyelerinde olup %55,54 seviyelerinde olan Türkiye ortalamasına fazlaca yaklaşıktır. (TÜİK, 2018b). Atıkların %50 sinden çoğunu meydana getiren bu parçalanabilir atık miktarı verimli ayırma tesisleri veya kompost birimleri olmadığı müddetçe düzenli depolama tesislerine depolanacaktır. Bu sebeple katı atıklardan enerji üretilmesi fazlaca önemli haldedir. Erzurum Katı Atık Düzenli Depolama Tesisine getirilen günlük belediye atıklarının karakterizasyonu Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8. Erzurum Katı Atık Sahası Atık Karakterizasyonu

ATIK KARAKTERİZASYONU		%	TOPLAM
Geri Kazanılabılır Atıklar	Kağıt	2,69	
	Karton	2,81	
	Hacimli Karton	1,91	
	Plastik	10,69	22,37%
	Cam	2,96	
	Metal	1	
	Hacimli metal	0,31	
Diğer Atıklar	Atık Elektrik Ve Elektronik Ekipman	1,1	
	Tehlikeli Atık Diğer	0,92	
	Yanmayanlar	-	
	Diğer Yanabilenler	1	20,69%
	Diğer Yanabilir Hacimli Atıklar	10,5	
	Diğer Yanmayan Hacimli Atıklar	7	
	Diğer	0,17	
Biyobozunur Atıklar	Mutfak Atıkları		
	Park Ve Bahçe Atıkları	56,94	56,94%

Erzurum Düzenli Depolama Sahasında Ana, Yardımcı ve Diğer Öğeler

Düzenli depolama tesislerinde, muhtemel karşılaşılabilecek çevresel sorunlarının engellenmesi amacıyla tesisler ana ve yardımcı birimlerden oluşmaktadır (Anonim 2014).

Ana Birimler

Katı Atık Düzenli depolama sahalarının en mühim iki ögesi çöp sızıntı suyu ve çöp depo gazıdır. Çevrenin korunması amacı ile sızıntı suyu ve çöp gazı birimlerinin verimli şekilde işletilmesi gerekmektedir. Erzurum katı atık düzenli depolama sahasının ana ögeleri;

- Taban geçirimsizliği
- Sızıntı suyu toplama ve arıtma
- Üst örtü tabakası
- Depo gazı toplama ve enerji üretimi
- Depo gazı izleme birimlerinden oluşmaktadır.
- Yardımcı Ögeler

Şekil 13’de sızıntı suyu toplama havuzları verilmiştir. Şekil 14’de Sızıntı suyu arıtma tesisi görüntüleri aktarılmıştır.



Şekil 13. Sızıntı suyu toplama havuzları

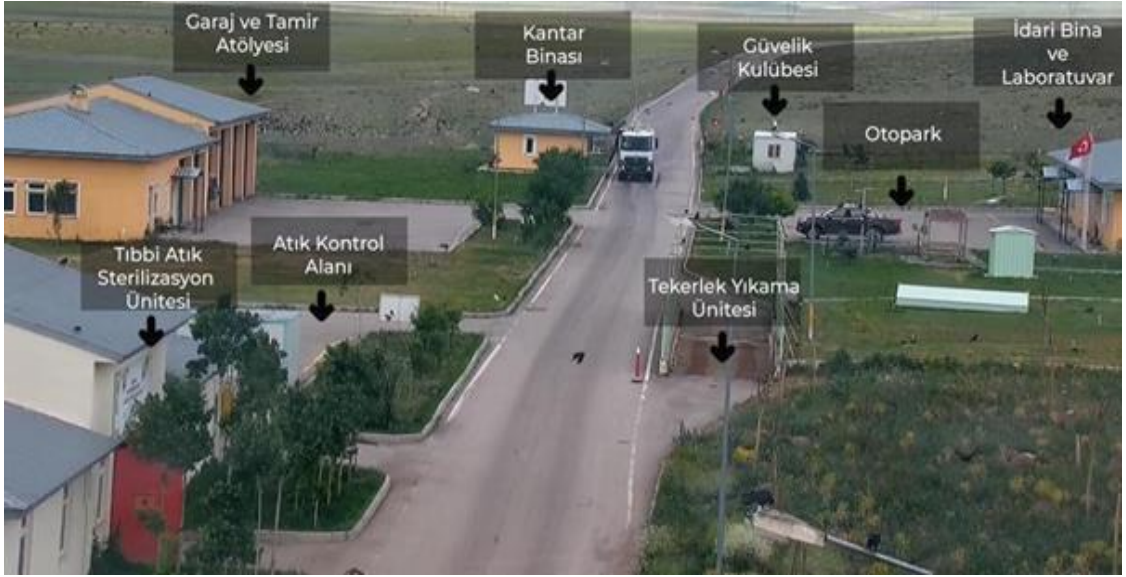


Şekil 14. Sızıntı suyu arıtma tesisi görüntüleri

Erzurum düzenli depolama sahasında yer alan yardımcı elemanlar şunlardır:

- Giriş yapıları
- Çevre çitleri
- İdari bina ve laboratuvar
- Yollar
- Otopark
- Garaj ve tamir atölyesi
- Tekerlek yıkama ünitesi
- Atık inceleme alanı
- Kontrol ve gözlem sistemi
- Altyapı tesisleri
- Yağmur suyu uzaklaştırma sistemi
- Yangın söndürme sistemi
- İlk yardım seti
- Araçlar

EKADDT' ne ait yukarıda gösterilen yardımcı öğelerin bazılarının yerleri Şekil 15'de gösterilmiştir.



Şekil 15. EKADDT’de bazı yardımcı öğelerin konumları

Erzurum Çöp Gazı Elektrik Üretim Tesisinin Tanıtımı

Erzurum düzenli depolama tesisinde 2018 yılında hem depo sahasında meydana gelen zararlı gazların emisyonunu azaltmak ayrıca oluşan depo gazını yakarak elektrik enerjisine çevirmek amacı ile Şekil 16’da gösterilen tesis kurulmuştur. Elektrik üretim tesisinde kurulu güçleri 1,20 MW/h sahip , dört zamanlı içten yanmalı, 12 silindirli 2 adet gaz jeneratörü; 2021 Temmuz ayında ise 1,60 MW/h olan, dört zamanlı içten yanmalı 16 silindirli 3. Gaz jeneratörü kurulumu tamamlanmış ve elektrik üretim tesisinin toplam kurulu gücü 4,00 MW/h şeklinde işletilmesi devam etmektedir. Şekil 16’da Erzurum metan gazından elektrik üretim tesisi genel görünümü verilmiştir.



Şekil 16. Erzurum metan gazından elektrik üretim tesisi genel görünümü

Depo gazının takibi amacı ile CH₄, CO₂, H₂S ve O₂ gazlarının emisyonlarının günlük biçimde ölçülerek kayıt altına alınmaktadır. Bununla birlikte bu veriler PLC Scada sistemi yardımıyla güncel olarak da görüntülenebilmektedir. Ölçü aletleri kalibre edilmiş ve örnekleme haznesinde artık gaz bekletilip boşaldıktan sonra ölçümler yapılır. Zaman içerisinde kuyularda

tıkanmalar oluşabilmektedir. Her yıl mevcut kuyuların %10'unun yenilenmesi gerekebilmektedir. Kuyularda vakum ayarlanırken N₂/O₂ oranına bakılarak basınçlar ayarlanır. Şekil 17'de Erzurum katı atık sahası 1. lotta bulunan baca başlığında örnek olarak yapılan ölçüm metodu gösterilmiştir.



Şekil 17. Erzurum katı atık sahasında bulunan 1. lotta yapılan ölçüm uygulaması

Katı Atık Sahasında oluşan Biyogaz dikey baca ve yatay borular vasıtası ile toplanmaktadır. Bu uygulamalar için 2 farklı boru tipi temin yapmaktadır; HDPE – Kesikli Borular; gazın çöp sahası içinde toplanıp çekilmesi amacı ile özel olarak imal edilmiş borulardır. Kesikli borular vasıtası max. gazın toplanması ve çekilmesi mümkün olurken, taş vb. istenmeyen maddelerin girmesi engellenmiş olur. HDPE- Düz Borular; çöp sahasında delikli baca ve boruların istasyonlara ve santrale bağlantısında kullanılır. Farklı çap ve kalınlıklarda temin edilir. Erzurum katı atık sahasında yatay borulama uygulaması yapılmıştır. Erzurum katı atık sahası 1.lotta çöp altı uygulamasında kullanılan yatay çöp altı borulama uygulamasına ait çalışma Şekil 18'de gösterilmiştir.



Şekil 18. Erzurum katı atık sahası çöp altı borulama uygulaması

Biyogaz baca başlıklarının ve yatay biyogaz hatlarının bir noktada toplanıp regüle edilmesini sağlar. Yerinde basınç, gaz ve akım değerleri ölçümü yapılmasını sağlar. Akım kontrol ve verimliliğini artırır. Erzurum katı atık sahası içerisinde bulunan toplama istasyonu Şekil 19’da gösterilmiştir.



Şekil 19. Erzurum katı atık sahası kollektör sistemi

Baca başlıkları bacadan çıkan gaz çıkışının kapatılıp kollektörlere iletilmesi amacı ile kullanılırlar. Erzurum katı atık sahasının 1. Lotunda 21 adet baca başlığı kullanılmıştır. Bu bacalardan bir tanesi örnek olarak Şekil 20’de gösterilmiştir.



Şekil 20. Erzurum katı atık sahası 1.lot baca başlığı

Booster ünitesi katı atık sahalarında toplanan biyogazın kontrollü şekilde çekilip motor veya flare'e verilmesini sağlayan bir sistemdir. Erzurum metan gazından elektrik üretim tesisinde bulunan booster ünitesinin genel görünümü Şekil 21'de gösterilmiştir.



Şekil 21. Erzurum elektrik üretim tesisi Booster Ünitesi

Blowerlar biyogazı çöp sahasından çeker ve basıç altında motorlara ilettikten sonra aşağıdaki aşamalar izlenir; Atıktan çekilen gaz ana boru ile üniteye ulaştırılır. Buradan Demister ünitesine iletim gerçekleşir; Demister gazın içerisinde bulunan sıvı parçacıklarını ve diğer partikülleri temizler, böylelikle gaz motora zarar vermez. Daha sonra analizöre iletilir; Analizör; biyogaz içerisinde bulunan Metan, Oksijen, Karbondioksit ve Sülfür değerlerini ölçer .Booster ünitesine ait bağlantı elemanları Şekil 22'de gösterilmiştir.



Şekil 22. Erzurum elektrik üretim tesisi Booster Ünitesi bağlantı elemanları

Çöpten elde edilen gazı soğutarak gazın yoğuşmasını ve içinde bulunan nemin bertarafını sağlar. Chiller tarafından soğutulmuş su, heat exchanger içerisinde bulunan borulara iletilir. Biyogazın ısısı heat exchanger içerisinden geçerken bu sistem sayesinde 4-5 C'ye düşer ve suyun yoğunlaşması gerçekleşir. Yoğuşan su deşarj edilir. Nemi alınmamış Biyogaz motorlarda verim azalmasına ve arızaya yol açar. Chiller sistemi Şekil 23'de gösterilmiştir.



Şekil 23. Erzurum elektrik üretim tesisi chiller sistemi

Kontrol panel; tüm organizasyona ait komponentler scada sistemi yardımıyla full otomatik olarak kontrol edilir ve izlenir. EWON Sistemi; Uzaktan görüntüleme, sorun tanımlama ve giderme için kurulan haberleşme modemidir. Booster ünitesi içerisinde bulunan kontrol paneli Şekil 24'de gösterilmiştir.



Şekil 24. Erzurum elektrik üretim tesisi booster kontrol paneli

Katı atık sahasından booster ünitesi tarafından çekilen gazın, motorların çalışmaması durumunda atmosfere salınması yerine, Flare'de yakılarak bertaraf edilmesi sağlanmaktadır. Erzurum metan gazından elektrik üretimi tesisi içerisinde bulunan flare(gaz yakma bacası) Şekil 25'de gösterilmiştir.



Şekil 25. Erzurum elektrik üretim tesisi flare (gaz yakmabacası)

Gaz depolama balonları sistemin işletilmesi için gerekli olan vakumu sabitleyerek kararlı bir çalışma sisteminin sağlanmasına yardımcı olur. Aynı zamanda tesiste gereksinimden fazla gaz oluşması halinde kısa bir süreliğine ara depolama görevi görür. Erzurum metan gazından elektrik üretim tesisine ait 5000 m³'lük hacme sahip gaz bolunu Şekil 26'da gösterilmiştir.



Şekil 26. Erzurum elektrik üretim tesisi gaz depolama balonu

Gaz ünitesi içerisindeki partikül ve nem de arıtılarak kullanıma hazır duruma getirilen depo gazı ,gaz jeneratörlerinde elektrik enerjisine çevrilmektedir. Erzurum elektrik üretim tesisinde bulunan 1.2 mW/saatlik güce sahip 2 adet gaz motoru Şekil 27’de gösterilmiştir.



Şekil 27. Erzurum elektrik üretim tesisi gaz motorları

Enerji motor ve jeneratöründe üretilen elektrik, enyakındaki iletim hattı aracılığı ile şebekeye bağlanır. Erzurum metan gazından elektrik üretim tesisine ait elektrik iletim üniteleri Şekil 28’de gösterilmiştir.



Şekil 28. Erzurum elektrik üretim tesisi orta ve alçak gerilim üniteleri

Depo Gazı Konsantrasyonunun Excell Programı İle Grafikselleştirilmesi Metodu

Araştırmanın materyalini 01/01/2020-01/01/2022 yılları arasında Erzurum ili katı atık düzenli depolama sahasında atıkların depolanması sonucunda oluşan çöp gazının verileri ele alınacaktır Türkiye'nin yaz ile kış arasındaki sıcaklık farkının çok fazla olduğu Erzurum ili katı atık düzenli depolama sahasından 2020 ve 2021 yıllarına ait günlük olarak ölçümleri alınan CH_4 , O_2 , CO_2 , H_2S oranları her ay ve her yıl için tablolar ile gösterilerek excel programı yardımı ile grafiklere dönüştürülüp depo gazı miktarları gösterilmiştir.

Tablolar ve grafiklerde oluşan değerlere bakılarak gerek hava sıcaklık farkları baz alınarak gerekse de mevsim geçişleri göz önüne alınarak; bunların yanı sıra çöp üstü örtüsünün bir önceki yıla göre iyileştirilmesi ve sıkıştırma oranının artışı ile geçirgenliğin azaltılması sonucundaki depo gazında oluşan değişimler günlük, aylık, yıllık olarak karşılaştırılacaktır.

Bu kapsamda depo gazı verileri (CH_4 (metan), H_2S (hidrojen sülfür), O_2 (oksijen)) 365 günlük ölçüm sonuçları belirlenip gerek saha içinde yapılabilecek farklı işletmelerle gerekse Erzurum katı atık yönetim sisteminde uygulanabilecek farklı yaklaşımlarla depo gazının havaya karışım oranının azaltılması ile depo gazı içeriğinde oluşan farklı gazlar değerlendirilecektir.

ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu çalışmada Erzurum Büyükşehir Belediyesi Katı Atık Düzenli Depolama Tesisinden kaynaklanan 2021 ve 2022 yıllarına ait depo gazı değerleri dikkate alınmıştır. Depo gazını etkileyen faktörler olan sıcaklık ve çöp üstü örtüsünün önemi gösterilmiştir. 2021 yılında iyileştirilen çöp üstü örtüsü ile birlikte çöp içerisinde de sıcaklığın artması ile aylar arasında ve yıllar arasında depo gazındaki değişimler tablolar ile gösterilip; Excel programı ile grafiklere çevrilerek karşılaştırılacak ve değerlendirmeler yapılacaktır.

2020 ve 2021 Yıllarına Ait Depo Gazı Emisyonları ve Grafikselsel Gösterimleri

Tablo 9’da 2020- 2021 yılı ocak ayı depo gazı değerleri gösterilmiştir.

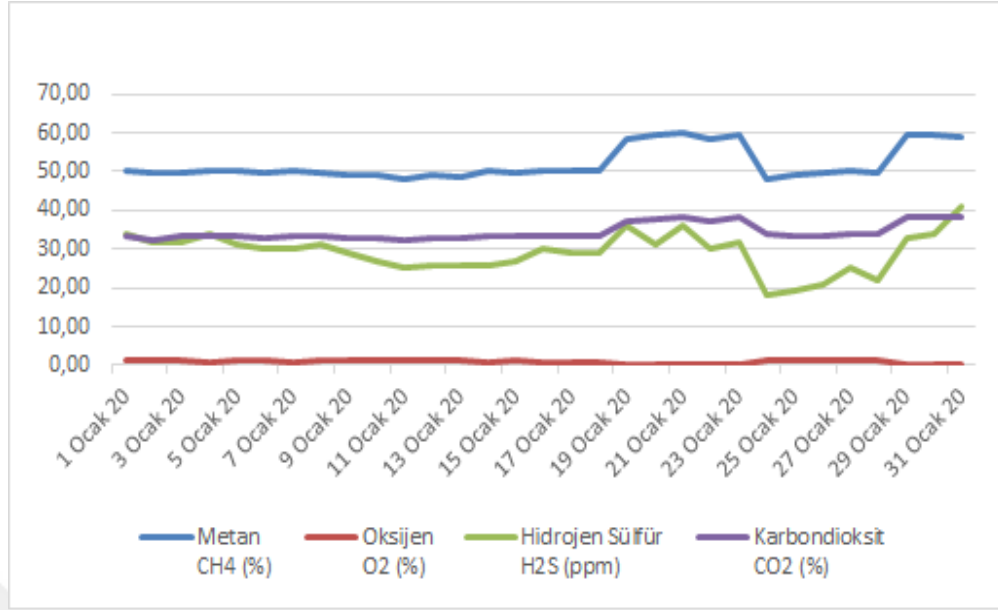
Tablo 9. 2020- 2021 Yılı Ocak Ayı Depo Gazı Değerleri

OCAK 2020	Metan CH ₄ (%)	Oksijen O ₂ (%)	Karbon dioksit CO ₂ (%)	OCAK 2021	Metan CH ₄ (%)	Oksijen O ₂ (%)	Karbon dioksit CO ₂ (%)
1	50,34	1,15	33,40	1	61,47	0,03	38,61
2	49,87	1,24	32,14	2	60,34	0,02	38,47
3	49,83	1,07	33,30	3	61,63	0,02	38,63
4	50,38	1,03	33,52	4	61,66	0,02	38,26
5	50,28	1,06	33,46	5	60,66	0,06	38,40
6	49,50	1,14	33,12	6	58,69	0,16	37,54
7	50,10	1,05	33,32	7	59,14	0,28	37,74
8	49,87	1,06	33,27	8	59,70	0,15	38,00
9	49,02	1,20	32,92	9	62,21	0,16	38,01
10	49,31	1,22	32,76	10	59,16	0,20	37,56
11	48,01	1,42	32,13	11	57,68	0,41	36,90
12	48,92	1,27	32,64	12	59,22	0,25	37,23
13	48,78	1,13	32,93	13	57,64	0,40	37,04
14	50,00	1,04	33,33	14	57,46	0,42	37,25
15	49,90	1,11	33,42	15	59,64	0,16	37,49
16	50,23	0,89	33,63	16	56,79	0,58	36,56
17	50,23	1,00	33,45	17	57,78	0,40	36,81
18	50,22	1,03	33,53	18	56,80	0,56	36,39
19	58,43	0,07	36,99	19	57,91	0,35	36,74
20	59,42	0,01	37,83	20	57,00	0,30	37,00
21	60,09	0,01	38,17	21	58,07	0,29	36,76
22	58,42	0,21	37,40	22	61,73	0,22	38,27
23	59,75	0,03	38,18	23	62,25	0,10	38,05
24	48,26	1,06	34,00	24	61,26	0,17	38,22
25	48,98	1,30	33,34	25	61,55	0,27	38,52
26	49,65	1,19	33,39	26	59,30	0,31	37,78
27	50,26	1,18	33,74	27	58,47	0,37	37,19
28	49,79	1,27	33,68	28	59,14	0,32	37,56
29	59,41	0,05	38,19	29	57,21	0,55	36,67
30	50,75	0,07	38,06	30	58,47	0,39	37,07
31	59,11	0,03	38,20	31	57,81	0,42	36,82

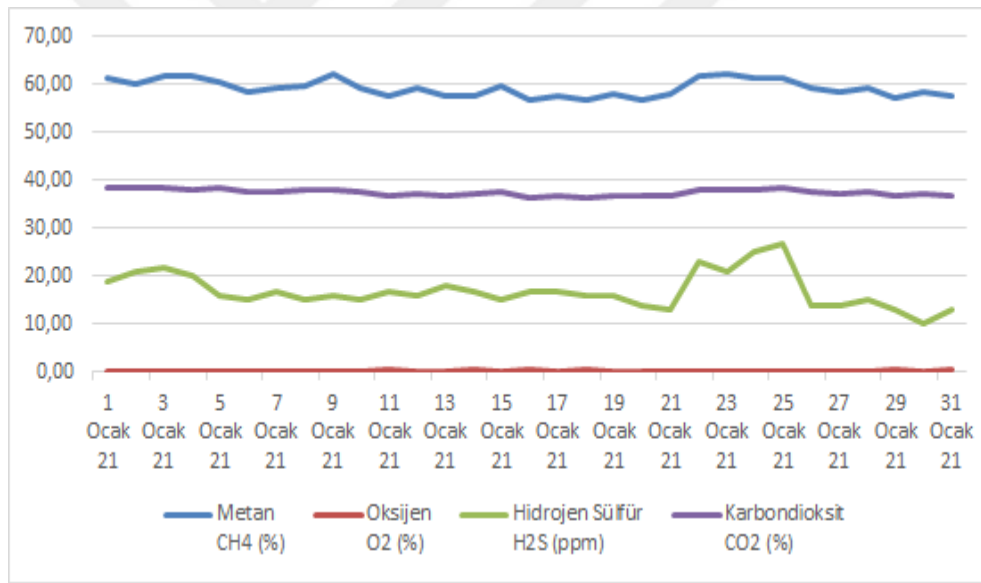
(2020 Ocak ayı ortalama sıcaklık derecesi: -8,8 C⁰)

(2021 Ocak ayı ortalama sıcaklık derecesi: -7.4 C⁰)

Şekil 29’da Ocak 2020 Şekil 30’da Ocak 2021 depo gazı grafiği verilmiştir.



Şekil 29. Ocak 2020 depo gazı grafiği



Şekil 30. Ocak 2021 depo gazı grafiği

2020 ve 2021 Ocak ayı için tablodaki verilere ve hazırlanan grafiklere baktığımız zaman her iki sene içinde aynı sıcaklıklarda 2021 ocak ayında bir önceki yıla göre metan gazında %20 oranında bir artış, O₂ gazı oranında 0.03 seviyelerine kadar azalma, CO₂ gazında 38 seviyelerine kadar artış olduğu görülmektedir. Bu gaz miktarı değişimlerine neden olarak 2020 yılına göre 2021 yılında çöp üstü örtüsü iyileştirilmiş ve daha fazla sıkıştırılma işlemi yapılmış; bu işlem çöp içerisine O₂ gazı girişini azaltmış CO₂ gazı çıkışını engellemiş ve rüzgâr girişi ile kar suyu geçişi azaltıldığından çöp içerisinde sıcaklığın korunması sağlanarak bunun sonucunda ise metan oluşumun da artış olduğu görülmektedir. Tablo 10’da 2020-2021 Yılı Şubat ayı depo gazı değerleri aktarılmıştır.

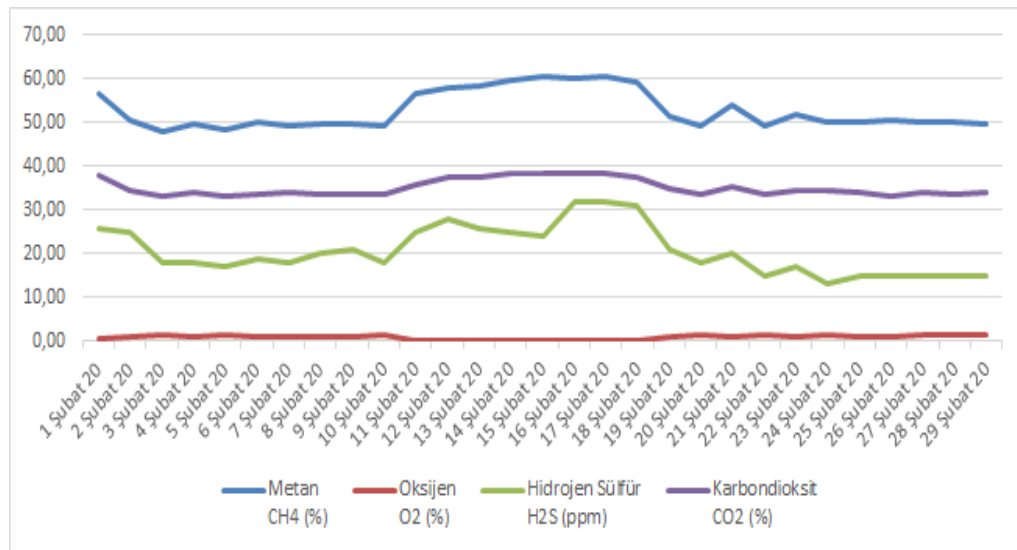
Tablo 10. 2020-2021 Yılı Şubat Ayı Depo Gazı Değerleri

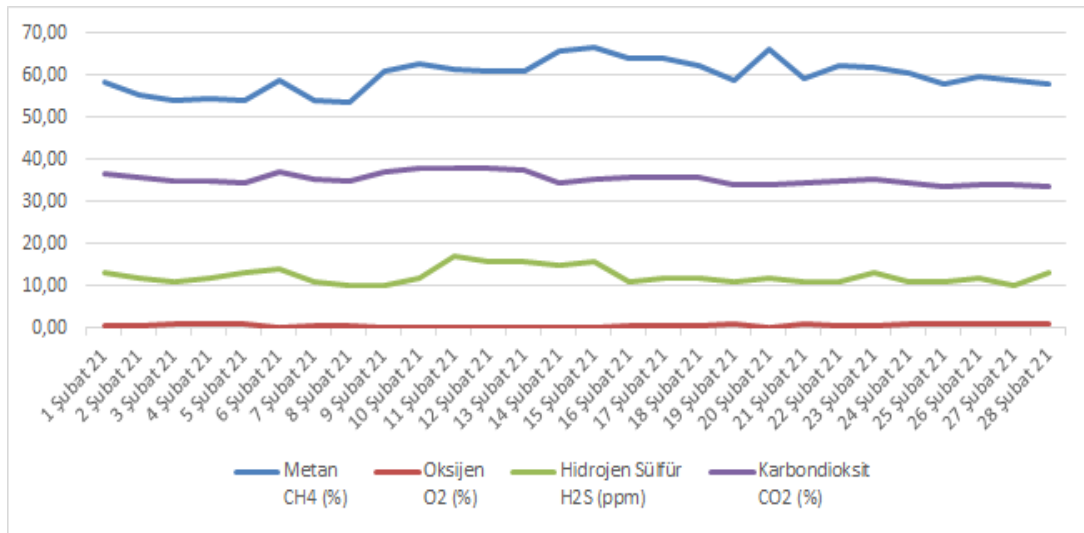
ŞUBAT 2020	Metan CH ₄ (%)	Oksijen O ₂ (%)	Hidrojen Sülfür H ₂ S (ppm)	Karbon dioksit CO ₂ (%)	ŞUBAT 2021	Metan CH ₄ (%)	Oksijen O ₂ (%)	Hidrojen Sülfür H ₂ S (ppm)	Karbon dioksit CO ₂ (%)
1	56,76	0,47	26	37,92	1	58,40	0,47	13	36,80
2	50,63	1,06	25	34,38	2	55,40	0,65	12	35,59
3	47,95	1,36	18	33,16	3	53,96	0,82	11	34,75
4	49,50	1,08	18	34,02	4	54,42	0,82	12	34,96
5	48,56	1,33	17	33,23	5	53,85	0,90	13	34,62
6	50,23	1,00	19	33,84	6	58,71	0,31	14	37,18
7	49,20	1,18	18	33,86	7	54,12	0,75	11	35,49
8	49,83	1,04	20	33,81	8	53,51	0,75	10	34,89
9	49,58	1,13	21	33,47	9	61,10	0,30	10	37,30
10	49,12	1,25	18	33,42	10	62,57	0,10	12	37,77
11	56,63	0,30	25	35,90	11	61,50	0,11	17	38,00
12	58,17	0,17	28	37,34	12	61,10	0,11	16	37,90
13	58,60	0,15	26	37,50	13	60,95	0,11	16	37,49
14	59,56	0,10	25	38,26	14	65,64	0,12	15	34,64
15	60,52	0,08	24	38,31	15	66,48	0,16	16	35,52
16	60,32	0,08	32	38,27	16	64,16	0,50	11	35,71
17	60,42	0,09	32	38,25	17	64,13	0,46	12	35,81
18	59,42	0,20	31	37,52	18	62,52	0,60	12	35,74
19	51,27	1,21	21	34,93	19	59,03	0,98	11	33,97
20	49,32	1,40	18	33,80	20	66,12	0,14	12	34,15
21	54,06	0,80	20	35,30	21	59,24	1,04	11	34,37
22	49,27	1,42	15	33,59	22	62,51	0,59	11	34,96
23	51,81	1,02	17	34,35	23	62,10	0,65	13	35,23
24	50,24	1,23	13	34,30	24	60,46	0,91	11	34,56
25	50,11	1,16	15	33,95	25	57,87	1,09	11	33,54
26	50,63	1,18	15	33,27	26	59,58	0,96	12	34,19
27	49,96	1,29	15	33,90	27	58,90	1,00	10	33,88
28	50,02	1,43	15	33,78	28	58,06	1,01	13	33,58
29	49,57	1,33	15	34,09					

(2020 Şubat ayı ortalama sıcaklık derecesi: -6,2 C°)

(2021 Şubat ayı ortalama sıcaklık derecesi: -5,0 C°)

Şekil 31’de Şubat 2020 ve Şekil 32’de Şubat 2021 depo gazı grafiği verilmiştir.

**Şekil 31.** Şubat 2020 depo gazı grafiği



Şekil 32. Şubat 2021 depo gazı grafiği

Her iki yılın şubat ayı depo gazı miktarlarının gösterildiği grafikler ve tablolarda gösterilen değerlere bakıldığında iyileştirilen ve sıkıştırılan çöp üstü örtüsü çöp depolama içerisinde sıcaklığı artırması sonucunda 2021 şubat ayında metan gazı değerlerinin yükseldiği O₂ gazı değerlerinin azaldığı, CO₂ gazı miktarının arttığı görülmektedir. Tablo 11’de 2020-2021 Yılı Mart ayı depo gazı değerleri verilmiştir.

Tablo 11. 2020-2021 Yılı Mart Ayı Depo Gazı Değerleri

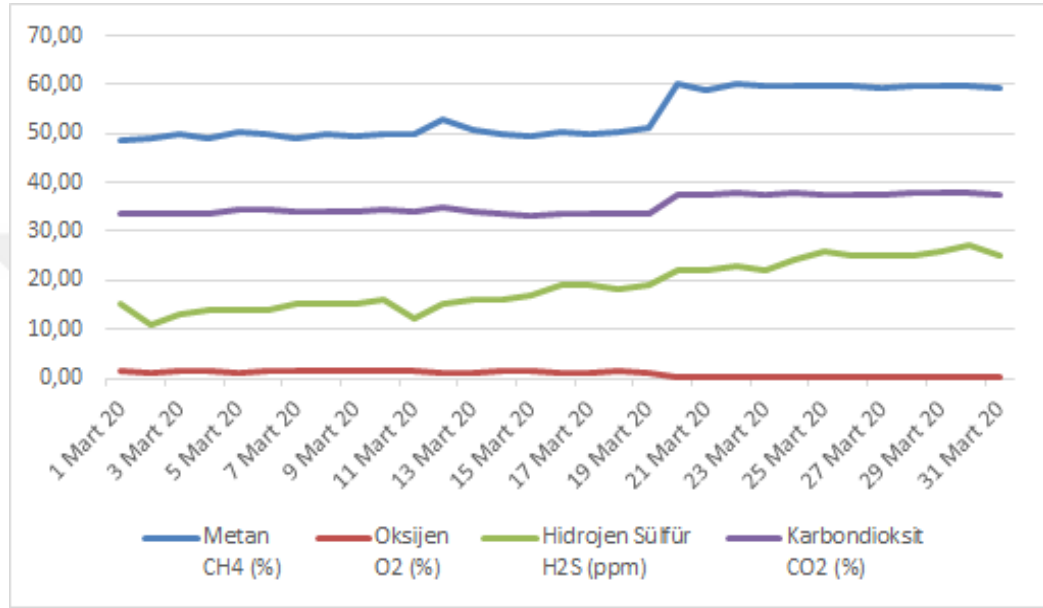
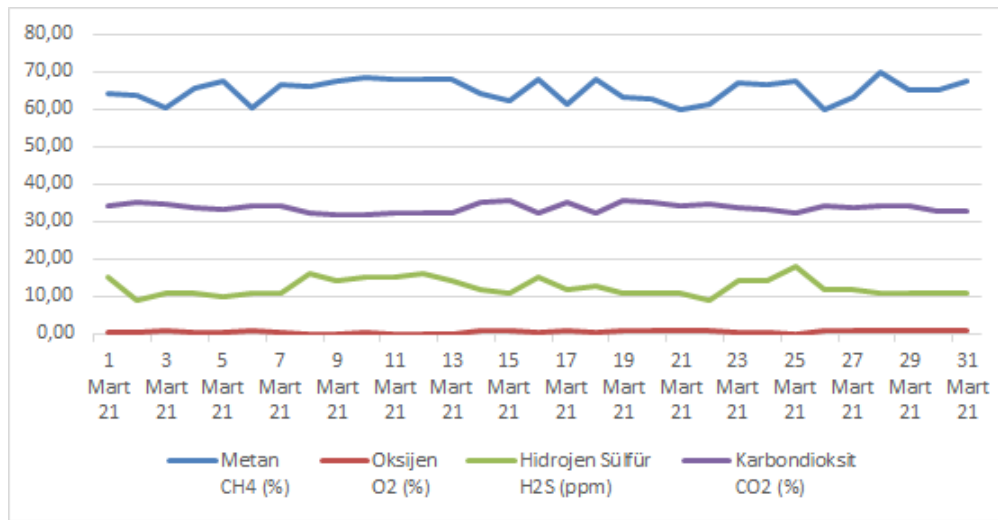
MART 2020	Metan CH ₄ (%)	Oksijen O ₂ (%)	Hidrojen Sülfür H ₂ S (ppm)	Karbon dioksit CO ₂ (%)	MART 2021	Metan CH ₄ (%)	Oksijen O ₂ (%)	Hidrojen Sülfür H ₂ S (ppm)	Karbon dioksit CO ₂ (%)
1	48,58	1,38	15	33,68	1	64,10	0,55	15	34,40
2	49,20	1,25	11	33,80	2	63,90	0,39	9	35,19
3	49,84	1,29	13	33,68	3	60,36	0,77	11	34,56
4	49,20	1,41	14	33,81	4	65,70	0,40	11	33,50
5	50,20	1,23	14	34,36	5	67,67	0,21	10	33,03
6	50,01	1,48	14	34,40	6	60,58	0,91	11	34,30
7	49,09	1,34	15	34,20	7	66,72	0,32	11	34,36
8	49,90	1,39	15	33,90	8	66,17	0,10	16	32,10
9	49,63	1,41	15	34,02	9	67,60	0,10	14	31,78
10	49,66	1,35	16	34,47	10	68,47	0,22	15	32,00
11	49,78	1,34	12	33,87	11	68,18	0,12	15	32,14
12	52,66	0,95	15	34,86	12	68,00	0,10	16	32,30
13	50,57	1,26	16	34,09	13	67,96	0,13	14	32,33
14	49,98	1,31	16	33,71	14	64,42	0,67	12	35,26
15	49,29	1,64	17	33,21	15	62,35	0,67	11	35,67
16	50,43	1,28	19	33,62	16	68,01	0,20	15	32,16
17	49,97	1,26	19	33,50	17	61,26	0,84	12	34,95
18	50,48	1,40	18	33,62	18	68,14	0,27	13	32,08
19	51,04	1,22	19	33,73	19	63,04	0,68	11	35,61
20	59,97	0,30	22	37,50	20	62,64	0,76	11	35,20
21	58,72	0,30	22	37,61	21	60,06	1,07	11	34,42
22	59,97	0,23	23	37,72	22	61,33	0,80	9	34,81
23	59,60	0,26	22	37,63	23	67,03	0,30	14	33,68
24	59,63	0,25	24	37,67	24	66,54	0,36	14	33,49

Tablo 11. (devamı)

25	59,54	0,26	26	37,35	25	67,73	0,15	18	32,52
26	59,87	0,24	25	37,63	26	59,90	0,94	12	34,41
27	59,25	0,25	25	37,62	27	63,30	1,08	12	33,70
28	59,76	0,24	25	37,71	28	70,00	0,81	11	34,05
29	59,80	0,20	26	37,88	29	65,19	0,98	11	34,02
30	59,65	0,22	27	37,82	30	65,07	0,76	11	32,86
31	59,32	0,25	25	37,53	31	67,42	0,67	11	32,62

(2020 Mart ayı ortalama sıcaklık derecesi: 2,5 C⁰) (2021 Mart ayı ortalama sıcaklık derecesi: -2.0 C⁰)

Şekil 33’de Mart 2020 ve Şekil 34. Mart 2021 depo gazı grafiği verilmiştir.

**Şekil 33. Mart 2020 depo gazı grafiği****Şekil 34. Mart 2021 depo gazı grafiği**

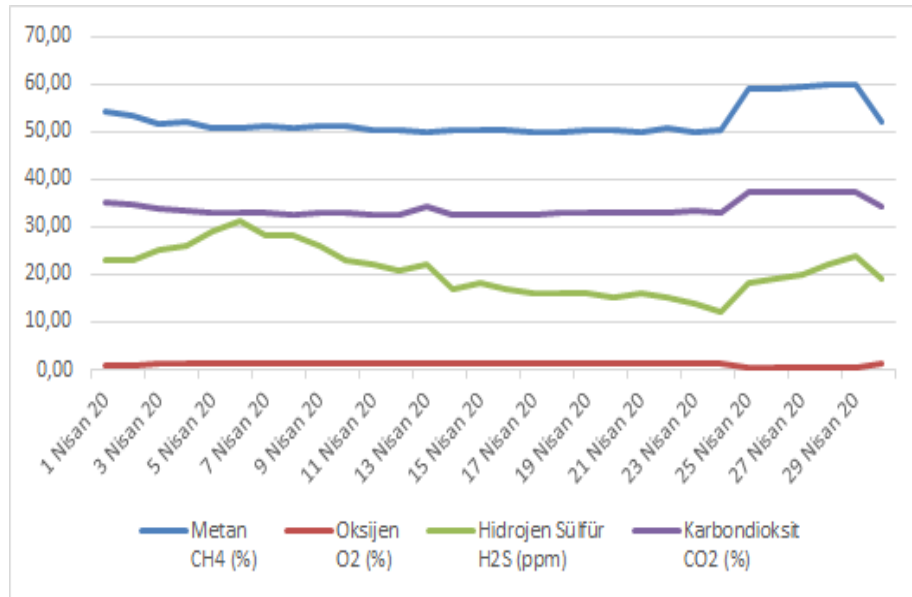
2021 Mart ayında metan gazı değerlerinde ortalama %30 oranında bir artış görülmektedir. O₂ gazı değerlerinde 2020 yılı mart ayına göre düşüş olduğu görülmektedir. Tablo 12’de 2020-2021 Yılı Nisan ayı depo gazı değerleri aktarılmıştır.

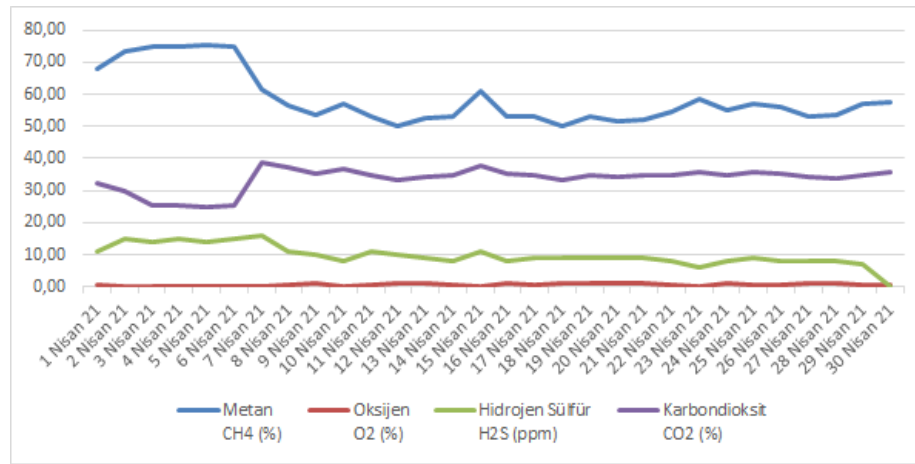
Tablo 12. 2020-2021 Yılı Nisan Ayı Depo Gazı Değerleri

NİSAN 2020	Metan CH ₄ (%)	Oksijen O ₂ (%)	Hidrojen Sülfür H ₂ S (ppm)	Karbon dioksit CO ₂ (%)	NİSAN 2021	Metan CH ₄ (%)	Oksijen O ₂ (%)	Hidrojen Sülfür H ₂ S (ppm)	Karbon dioksit CO ₂ (%)
1	54,28	0,91	23	35,03	1	67,84	0,60	11	32,54
2	53,15	0,84	23	34,55	2	73,24	0,10	15	29,60
3	51,80	1,20	25	33,70	3	74,91	0,13	14	25,37
4	51,90	1,25	26	33,51	4	74,85	0,11	15	25,39
5	50,94	1,32	29	33,01	5	75,50	0,10	14	24,80
6	50,62	1,36	31	32,84	6	74,93	0,14	15	25,31
7	51,07	1,40	28	33,04	7	61,40	0,08	16	38,90
8	50,67	1,42	28	32,56	8	56,39	0,55	11	37,04
9	51,19	1,38	26	32,92	9	53,55	1,04	10	35,45
10	51,07	1,34	23	33,12	10	57,03	0,20	8	36,96
11	50,38	1,48	22	32,63	11	53,30	0,54	11	34,72
12	50,24	1,36	21	32,72	12	49,99	1,31	10	33,44
13	49,90	1,30	22	34,10	13	52,44	0,87	9	34,42
14	50,16	1,44	17	32,46	14	53,00	0,80	8	35,00
15	50,12	1,44	18	32,69	15	60,98	0,03	11	37,78
16	50,33	1,34	17	32,70	16	53,30	0,85	8	35,06
17	49,90	1,41	16	32,52	17	53,00	0,70	9	35,00
18	49,92	1,49	16	32,85	18	50,15	1,26	9	33,15
19	50,08	1,27	16	32,92	19	52,90	0,89	9	34,62
20	50,22	1,25	15	32,96	20	51,72	0,94	9	34,41
21	49,82	1,37	16	32,81	21	52,27	0,88	9	34,56
22	50,78	1,41	15	33,08	22	54,40	0,69	8	34,97
23	49,96	1,36	14	33,25	23	58,66	0,16	6	35,94
24	50,40	1,26	12	33,12	24	55,20	0,92	8	34,96
25	59,09	0,45	18	37,12	25	57,12	0,58	9	35,95
26	59,16	0,34	19	37,44	26	56,33	0,70	8	35,49
27	59,26	0,40	20	37,22	27	53,25	0,96	8	34,18
28	59,70	0,37	22	37,40	28	53,52	1,08	8	33,99
29	59,81	0,38	24	37,36	29	56,95	0,74	7	34,79
30	51,82	1,14	19	34,20	30	57,35	0,68	0	35,77

(2020 Nisan ayı ortalama sıcaklık derecesi: 5,6 C⁰)(2021 Nisan ayı ortalama sıcaklık derecesi: 8,9 C⁰)

Şekil 35’de Nisan 2020 ve Şekil 36’da Nisan 2021 depo gazı grafiği verilmiştir.

**Şekil 35.** Nisan 2020 depo gazı grafiği



Şekil 36. Nisan 2021 depo gazı grafiği

2021 Nisan ayında Metan gazında %40 seviyelerine varan yükselişlerin olduğu görülmektedir ve O₂ değerinin 0.11 miktarına kadar düştüğü görülmektedir. Tablo 13’de 2020-2021 Yılı Mayıs Ayı depo gazı değerleri aktarılmıştır.

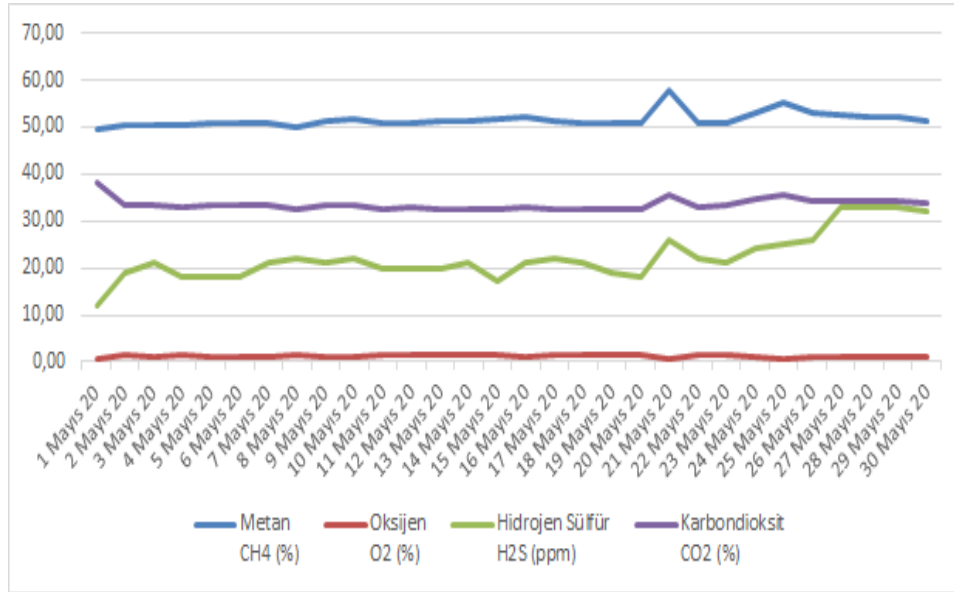
Tablo 13. 2020-2021 Yılı Mayıs Ayı Depo Gazı Değerleri

MAYIS 2020	Metan CH ₄ (%)	Oksijen O ₂ (%)	Hidrojen Sülfür H ₂ S (ppm)	Karbon dioksit CO ₂ (%)	MAYIS 2021	Metan CH ₄ (%)	Oksijen O ₂ (%)	Hidrojen Sülfür H ₂ S (ppm)	Karbon dioksit CO ₂ (%)
1	49,50	0,71	12	38,05	1	55,01	0,09	0	34,34
2	50,49	1,34	19	33,42	2	54,50	1,01	0	34,00
3	50,22	1,26	21	33,18	3	53,89	0,99	0	33,67
4	50,20	1,31	18	32,97	4	53,80	1,02	0	33,77
5	50,69	1,23	18	33,34	5	55,79	0,92	0	34,66
6	50,70	1,26	18	33,36	6	54,00	0,99	0	34,00
7	50,99	1,20	21	33,24	7	64,80	0,17	1	35,43
8	49,93	1,44	22	32,61	8	60,71	0,41	0	36,70
9	51,30	1,18	21	33,36	9	56,64	0,86	1	35,24
10	51,92	1,20	22	33,39	10	59,00	0,58	0	36,15
11	50,85	1,53	20	32,66	11	60,06	0,32	10	36,30
12	50,74	1,42	20	32,80	12	59,78	0,41	6	36,15
13	51,46	1,42	20	32,42	13	56,64	0,72	0	35,72
14	51,28	1,35	21	32,58	14	55,05	0,84	0	34,39
15	51,55	1,28	17	32,72	15	54,30	0,88	0	34,16
16	52,23	1,18	21	33,00	16	55,34	0,81	0	34,40
17	51,24	1,38	22	32,43	17	64,01	0,07	0	34,67
18	50,80	1,45	21	32,33	18	64,20	0,11	0	36,63
19	50,88	1,34	19	32,50	19	64,37	0,08	1	35,94
20	50,79	1,39	18	32,49	20	64,56	0,08	15	35,77
21	57,70	0,62	26	35,70	21	64,52	0,16	14	36,00
22	50,87	1,53	22	32,74	22	64,48	0,15	13	35,99
23	50,84	1,33	21	33,32	23	64,56	0,16	12	35,88
24	52,97	0,95	24	34,85	24	64,52	0,08	11	35,84
25	55,32	0,65	25	35,76	25	64,01	0,07	0	34,67
26	52,91	1,03	26	34,12	26	64,37	0,08	1	35,94
27	52,38	1,07	33	34,19	27	64,56	0,08	15	35,77
28	52,23	1,05	33	34,42	28	64,52	0,16	14	36,00
29	52,10	1,10	33	34,20	29	64,20	0,11	0	36,63
30	51,36	1,14	32	33,94	30	64,80	0,17	1	35,43
31					31	60,71	0,41	0	36,70

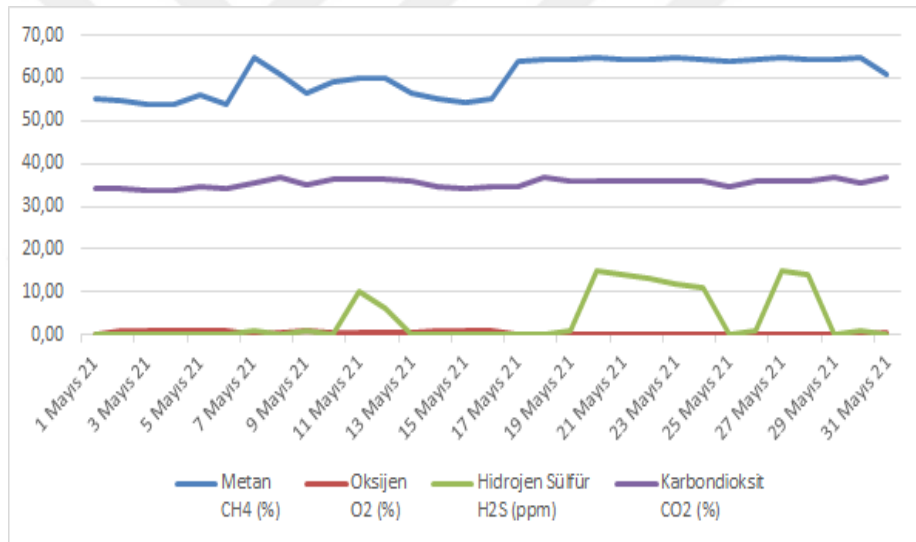
(2020 Mayıs ayı ortalama sıcaklık derecesi: 11 C⁰)

(2021 Mayıs ayı ortalama sıcaklık derecesi: 13.4 C⁰)

Şekil 37’de Mayıs 2020 ve Şekil 38’de Mayıs 2021 depo gazı grafiği verilmiştir.



Şekil 37. Mayıs 2020 depo gazı grafiği



Şekil 38. Mayıs 2021 depo gazı grafiği

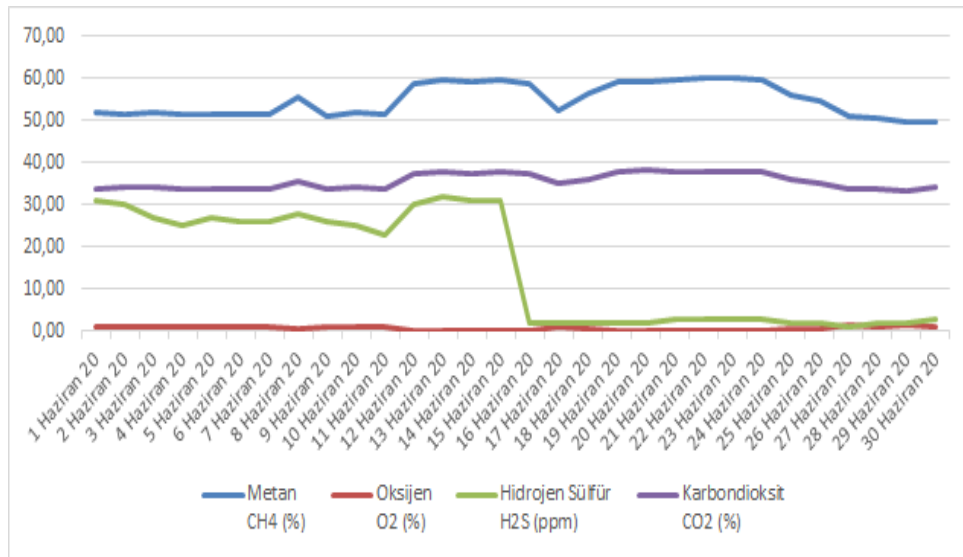
Mayıs 2021 yılı değerlerine ve grafiklerine baktığımızda; çöp sahasının stable oturması ile değerlere de yansıdığı görülmektedir. Metan gazı değerinin en düşük günde %53 ölçüldüğü görülmektedir. Oksijen gazı oranının ise 0.09 seviyelerine kadar düştüğü görülmektedir. Tablo 14’de 2020-2021 Yılı Haziran ayı depo gazı değerleri verilmiştir.

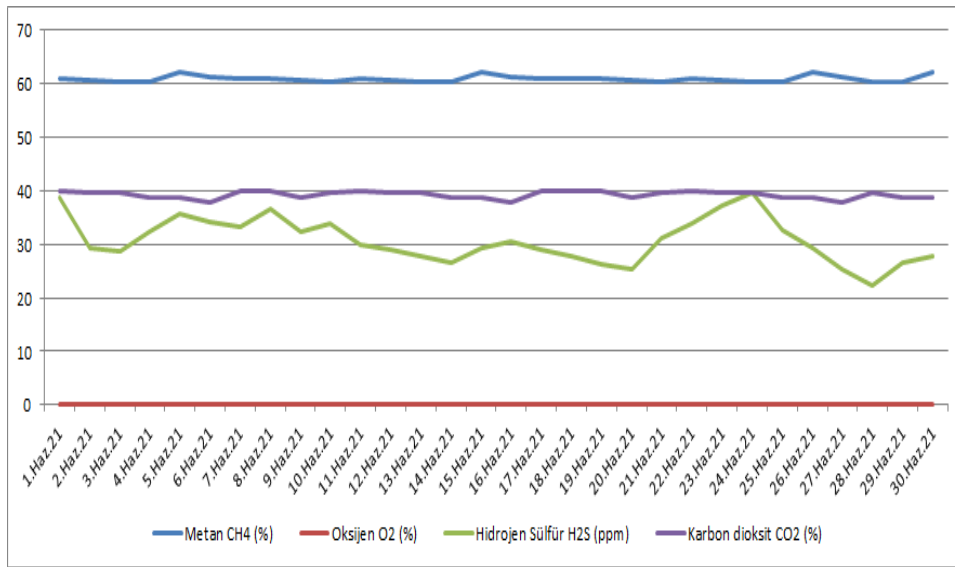
Tablo 14. 2020-2021 Yılı Haziran Ayı Depo Gazı Değerleri

HAZİRAN 2020	Metan CH ₄ (%)	Oksijen O ₂ (%)	Hidrojen Sülfür H ₂ S (ppm)	Karbon dioksit CO ₂ (%)	HAZİRAN 2021	Metan CH ₄ (%)	Oksijen O ₂ (%)	Hidrojen Sülfür H ₂ S (ppm)	Karbon dioksit CO ₂ (%)
1	51,80	1,15	31	33,97	1	61,00	0,10	38,88	39,90
2	51,63	1,12	30	34,00	2	60,58	0,11	29,45	39,80
3	52,01	1,12	27	34,10	3	60,45	0,12	28,69	39,50
4	51,20	1,17	25	33,88	4	60,33	0,11	32,45	38,79
5	51,52	1,24	27	33,71	5	62,22	0,09	35,63	38,65
6	51,24	1,15	26	33,69	6	61,35	0,08	34,12	37,84
7	51,40	1,12	26	33,86	7	60,85	0,09	33,36	39,98
8	55,66	0,69	28	35,65	8	60,88	0,07	36,69	39,85
9	50,83	1,13	26	33,84	9	60,58	0,08	32,45	38,85
10	52,07	1,06	25	34,29	10	60,45	0,06	33,78	39,65
11	51,23	1,18	23	33,92	11	61,00	0,10	29,78	39,90
12	58,84	0,24	30	37,42	12	60,58	0,11	28,98	39,80
13	59,42	0,20	32	37,64	13	60,45	0,12	27,78	39,50
14	59,25	0,20	31	37,54	14	60,33	0,11	26,54	38,79
15	59,42	0,24	31	37,80	15	62,22	0,09	29,21	38,65
16	58,68	0,37	2	37,19	16	61,35	0,08	30,65	37,84
17	52,37	1,14	2	34,97	17	61,00	0,10	28,85	39,90
18	56,17	0,55	2	36,17	18	60,85	0,09	27,69	39,98
19	59,06	0,22	2	38,00	19	60,88	0,07	26,31	39,85
20	59,30	0,14	2	38,05	20	60,58	0,08	25,24	38,85
21	59,72	0,13	3	37,90	21	60,45	0,06	31,26	39,65
22	60,07	0,11	3	37,81	22	61,00	0,10	33,75	39,90
23	60,02	0,11	3	37,84	23	60,58	0,11	37,24	39,80
24	59,51	0,24	3	37,62	24	60,45	0,12	39,68	39,50
25	56,04	0,65	2	35,80	25	60,33	0,11	32,75	38,79
26	54,70	0,89	2	35,20	26	62,22	0,09	29,45	38,65
27	50,77	1,39	1	33,95	27	61,35	0,08	25,36	37,84
28	50,70	1,23	2	33,69	28	60,45	0,12	22,26	39,50
29	49,49	1,55	2	33,41	29	60,33	0,11	26,59	38,79
30	49,65	1,30	3	34,27	30	62,22	0,09	27,78	38,65

(2020 Haziran ayı ortalama sıcaklık derecesi: 15.7 C⁰) (2021 Haziran ayı ortalama sıcaklık derecesi: 17.5 C⁰)

Şekil 39’de Haziran 2020 Şekil 40’da Haziran 2021 depo gazı grafiği verilmiştir.

**Şekil 39.** Haziran 2020 depo gazı grafiği



Şekil 40. Haziran 2021 depo gazı grafiği

Haziran ayı verilerine bakıldığı zaman bir önceki yıla göre çöp üstü örtüsünün iyileştirilmesinin yanı sıra mevsimsel olarak hava sıcaklığının artmasıyla metan gazı değerinin minimum %60 olarak ölçüldüğü ve O₂ gazı değerinin 0,06 oranına kadar indiği görülmektedir. Tablo 15’de 2020-2021 Yılı Temmuz ayı depo gazı değerleri verilmiştir.

Tablo 15. 2020-2021 Yılı Temmuz Ayı Depo Gazı Değerleri

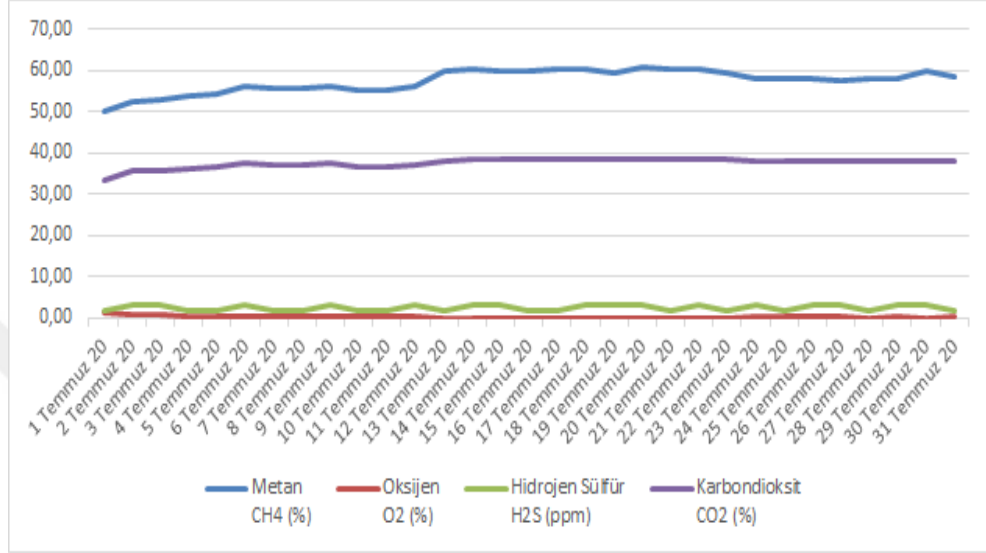
TEMMUZ 2020	Metan CH ₄ (%)	Oksijen O ₂ (%)	Hidrojen Sülfür H ₂ S (ppm)	Karbon dioksit CO ₂ (%)	TEMMUZ 2021	Metan CH ₄ (%)	Oksijen O ₂ (%)	Hidrojen Sülfür H ₂ S (ppm)	Karbon dioksit CO ₂ (%)
1	50,18	1,24	2	33,30	1	61,35	0,08	2	37,84
2	52,19	0,74	3	35,58	2	60,85	0,09	2	39,98
3	53,00	0,66	3	35,77	3	59,40	0,80	2	38,50
4	53,60	0,58	2	36,17	4	60,33	0,11	2	38,79
5	54,33	0,54	2	36,44	5	62,22	0,09	3	38,65
6	55,91	0,31	3	37,42	6	61,35	0,08	2	37,84
7	55,83	0,47	2	37,00	7	61,00	0,10	2	39,90
8	55,41	0,39	2	36,91	8	60,85	0,09	2	39,98
9	56,02	0,36	3	37,35	9	60,88	0,07	2	39,85
10	54,92	0,45	2	36,76	10	60,58	0,08	2	38,85
11	55,03	0,42	2	36,77	11	60,45	0,06	2	39,65
12	55,90	0,43	3	37,25	12	61,00	0,10	3	39,90
13	59,97	0,03	2	38,11	13	60,58	0,11	2	39,80
14	60,34	0,02	3	38,26	14	60,10	0,10	3	40,00
15	59,89	0,03	3	38,24	15	58,20	0,60	3	37,50
16	60,01	0,03	2	38,25	16	52,70	0,40	2	37,00
17	60,31	0,04	2	38,23	17	50,20	0,90	2	35,30
18	60,34	0,02	3	38,40	18	48,60	0,90	2	34,70
19	59,50	0,06	3	38,52	19	47,40	1,40	2	33,30
20	60,66	0,03	3	38,34	20	49,20	1,20	2	33,65
21	60,44	0,03	2	38,39	21	51,00	0,90	3	34,80
22	60,45	0,03	3	38,44	22	51,50	0,80	2	35,78
23	59,33	0,04	2	38,29	23	52,20	0,70	2	36,20
24	57,99	0,23	3	37,89	24	51,20	0,60	3	36,30
25	57,73	0,19	2	37,87	25	49,70	0,90	3	35,60
26	57,92	0,20	3	37,88	26	48,90	1,00	2	34,90
27	57,35	0,23	3	37,77	27	49,07	1,00	2	33,40

Tablo 15. (devamı)

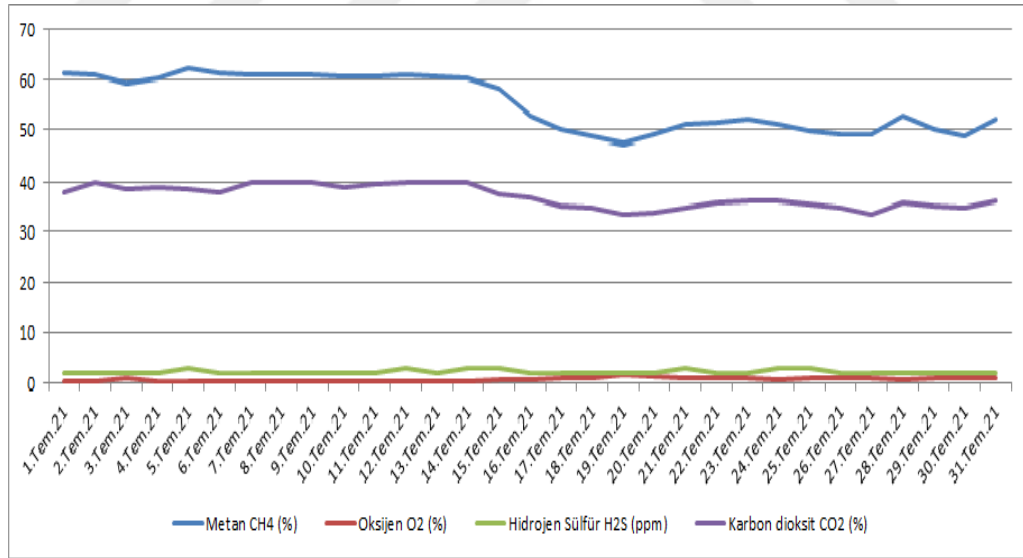
28	57,75	0,17	2	37,90	28	52,90	0,60	2	35,80
29	58,14	0,24	3	37,83	29	50,20	0,90	2	35,30
30	59,86	0,08	3	38,16	30	48,60	0,90	2	34,70
31	58,40	0,20	2	38,00	31	52,20	0,70	2	36,20

(2020 Temmuz ayı ortalama sıcaklık derecesi: 19.9 C⁰) (2021 Temmuz ayı ortalama sıcaklık derecesi: 20.6 C⁰)

Şekil 41’de Temmuz 2020 ve Şekil 42’de Temmuz 2021 depo gazı grafiği verilmiştir.



Şekil 41. Temmuz 2020 depo gazı grafiği



Şekil 42. Temmuz 2021 depo gazı grafiği

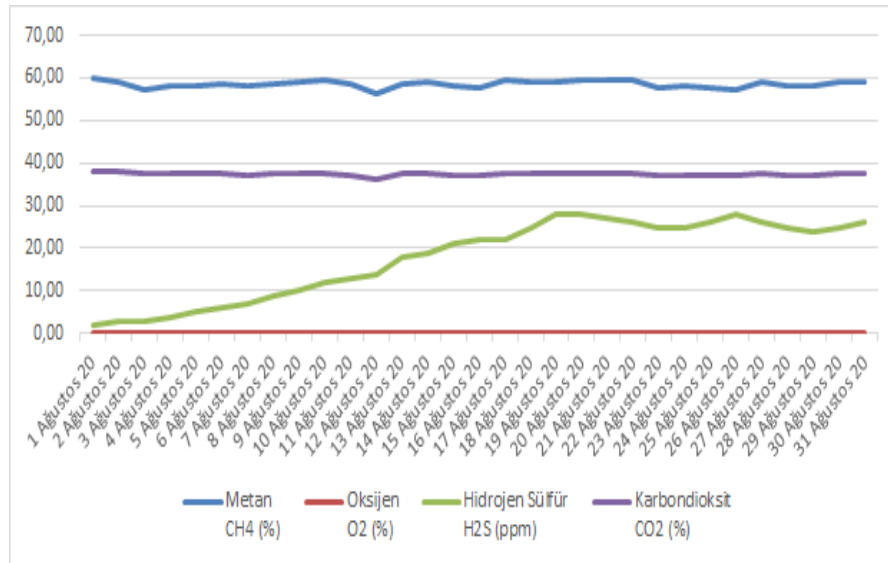
2021 yılı Temmuz ayı ölçümlerinde ise metan gazı ölçümleri %60 dolaylarına kar yükseldiği ve O₂ gazı değerleri 0,06 seviyelerine kadar azaldığı görülmektedir. Tablo 16’da 2020-2021 yılı Ağustos ayı depo gazı değerleri aktarılmıştır.

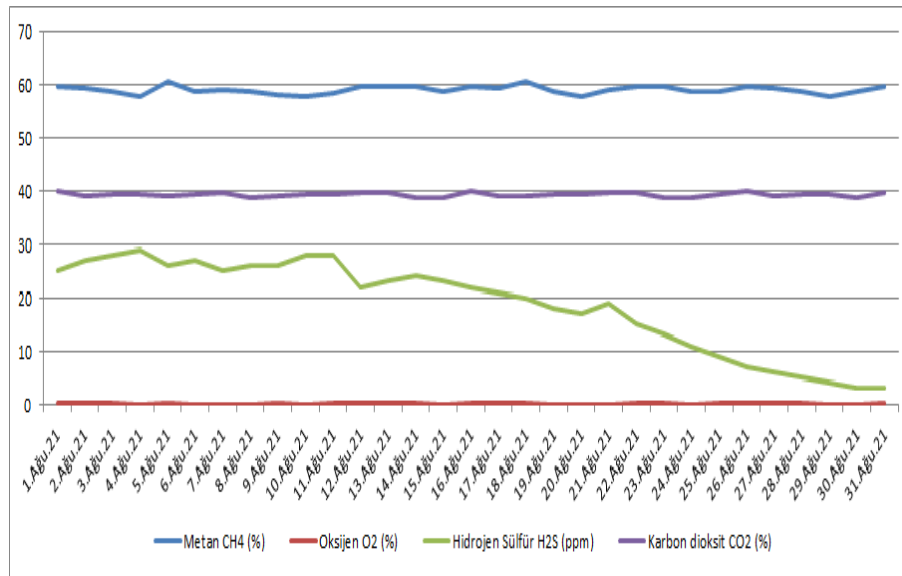
Tablo 16. 2020-2021 Yılı Ağustos Ayı Depo Gazı Değerleri

AĞUSTOS 2020	Metan CH ₄ (%)	Oksijen O ₂ (%)	Hidrojen Sülfür H ₂ S (ppm)	Karbon dioksit CO ₂ (%)	AĞUSTOS 2021	Metan CH ₄ (%)	Oksijen O ₂ (%)	Hidrojen Sülfür H ₂ S (ppm)	Karbon dioksit CO ₂ (%)
1	59,92	0,04	2	38,09	1	59,70	0,10	25	39,90
2	58,88	0,17	3	38,00	2	59,30	0,10	27	39,00
3	57,10	0,36	3	37,39	3	58,70	0,10	28	39,20
4	58,14	0,31	4	37,64	4	57,80	0,00	29	39,30
5	58,24	0,31	5	37,44	5	60,60	0,10	26	39,00
6	58,36	0,29	6	37,47	6	58,90	0,00	27	39,20
7	58,31	0,04	7	37,12	7	59,10	0,00	25	39,60
8	58,76	0,23	9	37,55	8	58,70	0,00	26	38,80
9	58,92	0,22	10	37,61	9	58,15	0,10	26	38,98
10	59,32	0,21	12	37,66	10	57,80	0,00	28	39,30
11	58,76	0,28	13	37,22	11	58,60	0,20	28	39,20
12	56,26	0,32	14	36,02	12	59,90	0,10	22	39,60
13	58,56	0,19	18	37,44	13	59,80	0,11	23	39,70
14	59,20	0,17	19	37,59	14	59,75	0,12	24	38,70
15	58,26	0,26	21	37,30	15	58,70	0,00	23	38,80
16	57,80	0,25	22	37,30	16	59,70	0,10	22	39,90
17	59,54	0,16	22	37,63	17	59,30	0,10	21	39,00
18	59,06	0,19	25	37,48	18	60,60	0,10	20	39,00
19	59,25	0,15	28	37,62	19	58,90	0,00	18	39,20
20	59,57	0,14	28	37,67	20	57,80	0,00	17	39,30
21	59,52	0,13	27	37,80	21	59,10	0,00	19	39,60
22	59,54	0,14	26	37,79	22	59,80	0,11	15	39,70
23	57,83	0,35	25	36,97	23	59,75	0,12	13	38,70
24	58,19	0,23	25	37,18	24	58,70	0,00	11	38,80
25	57,53	0,33	26	36,96	25	58,70	0,10	9	39,20
26	57,14	0,30	28	36,90	26	59,70	0,10	7	39,90
27	59,04	0,19	26	37,62	27	59,30	0,10	6	39,00
28	58,01	0,21	25	37,34	28	58,70	0,10	5	39,20
29	57,94	0,19	24	37,21	29	57,80	0,00	4	39,30
30	58,87	0,16	25	37,63	30	58,70	0,00	3	38,80
31	59,24	0,15	26	37,72	31	59,80	0,11	3	39,70

(2020 Ağustos ayı ortalama sıcaklık derecesi: 18.9 C⁰) (2021 Ağustos ayı ortalama sıcaklık derecesi: 20.0 C⁰)

Şekil 43’de Ağustos 2020 ve Şekil 44’de Ağustos 2021 depo gazı grafiği verilmiştir.

**Şekil 43. Ağustos 2020 depo gazı grafiği**



Şekil 44. Ağustos 2021 depo gazı grafiği

2021 yılı Ağustos ayı verilerine bakıldığında hava sıcaklığı ve çöp üstü örtüsünün etkisi bir önceki yıla göre metan gazı değerlerinin artışında etkisini göstermiş ve Haziran 2021, Temmuz 2021 aylarında olduğu gibi pik seviyelerde ölçüldüğü görülmektedir. Tablo 17’de, 2020-2021 Yılı Eylül ayı depo gazı değerleri aktarılmıştır.

Tablo 17. 2020-2021 Yılı Eylül Ayı Depo Gazı Değerleri

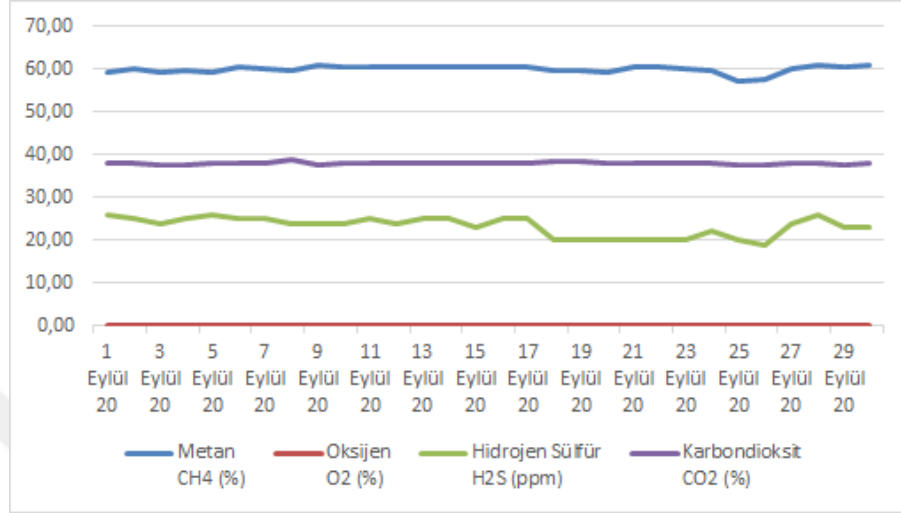
EYLÜL 2020	Metan CH ₄ (%)	Oksijen O ₂ (%)	Hidrojen Sülfür H ₂ S (ppm)	Karbon dioksit CO ₂ (%)	EYLÜL 2021	Metan CH ₄ (%)	Oksijen O ₂ (%)	Hidrojen Sülfür H ₂ S (ppm)	Karbon dioksit CO ₂ (%)
1	59,04	0,18	26	37,86	1	49,40	1,10	33	35,50
2	60,13	0,10	25	37,90	2	46,70	1,60	33	32,60
3	59,30	0,14	24	37,50	3	46,60	1,80	34	34,50
4	59,64	0,15	25	37,76	4	48,90	1,30	33	34,60
5	59,42	0,19	26	37,94	5	58,70	0,10	33	39,90
6	60,30	0,07	25	38,07	6	58,15	0,10	33	38,98
7	60,07	0,11	25	37,87	7	57,80	0,00	32	39,30
8	59,58	0,12	24	38,85	8	58,60	0,20	31	39,20
9	60,74	0,01	24	37,79	9	59,90	0,10	31	39,60
10	60,38	0,08	24	37,88	10	59,80	0,11	30	39,70
11	60,43	0,04	25	37,95	11	59,75	0,12	31	38,70
12	60,60	0,04	24	37,90	12	58,70	0,00	31	38,80
13	60,58	0,08	25	37,91	13	59,70	0,10	32	39,90
14	60,53	0,04	25	37,95	14	59,30	0,10	31	39,00
15	60,38	0,03	23	37,84	15	58,70	0,10	30	39,90
16	60,30	0,07	25	37,83	16	52,90	0,60	30	35,80
17	60,30	0,07	25	37,83	17	50,20	0,90	29	35,30
18	59,52	0,07	20	38,28	18	48,60	0,90	29	34,70
19	59,76	0,06	20	38,27	19	52,20	0,70	30	36,20
20	59,33	0,18	20	38,16	20	59,70	0,10	29	39,90
21	60,42	0,05	20	38,20	21	59,30	0,10	28	39,00
22	60,55	0,04	20	38,14	22	59,70	0,00	27	38,90
23	60,19	0,02	20	38,07	23	58,70	0,00	26	38,80
24	59,82	0,11	22	38,20	24	59,70	0,10	25	39,90
25	57,10	0,10	20	37,40	25	59,30	0,10	26	39,00
26	57,70	0,19	19	37,50	26	49,40	1,10	26	35,50
27	60,26	0,04	24	37,84	27	46,70	1,60	27	32,60

Tablo 17. (devamı)

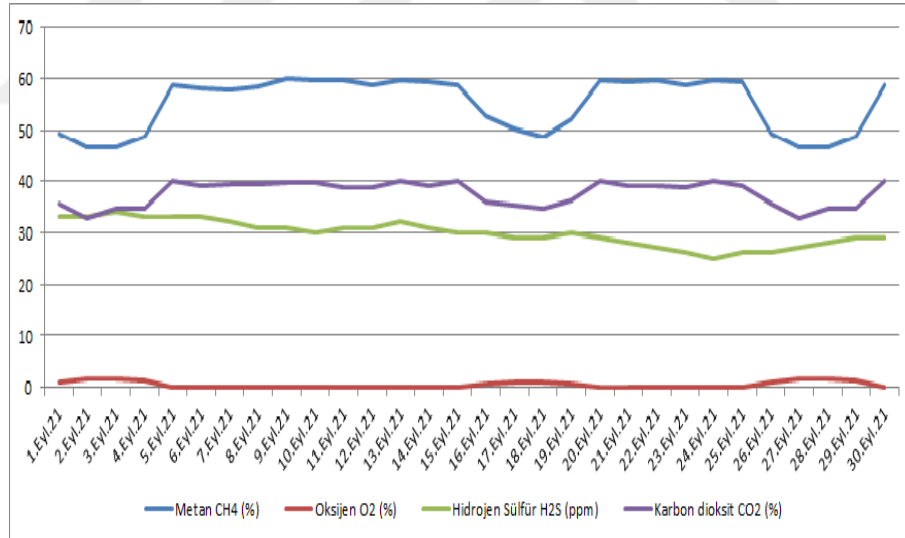
28	60,77	0,01	26	37,84	28	46,60	1,80	28	34,50
29	60,50	0,01	23	37,75	29	48,90	1,30	29	34,60
30	60,80	0,01	23	38,09	30	58,70	0,10	29	39,90

(2020 Eylül ayı ortalama sıcaklık derecesi: 17.2 C⁰) (2021 Eylül ayı ortalama sıcaklık derecesi: 14.2 C⁰)

Şekil 45’de Eylül 2020 ve Şekil 46’da Eylül 2021 depo gazı grafiği verilmiştir.



Şekil 45. Eylül 2020 depo gazı grafiği



Şekil 46. Eylül 2021 depo gazı grafiği

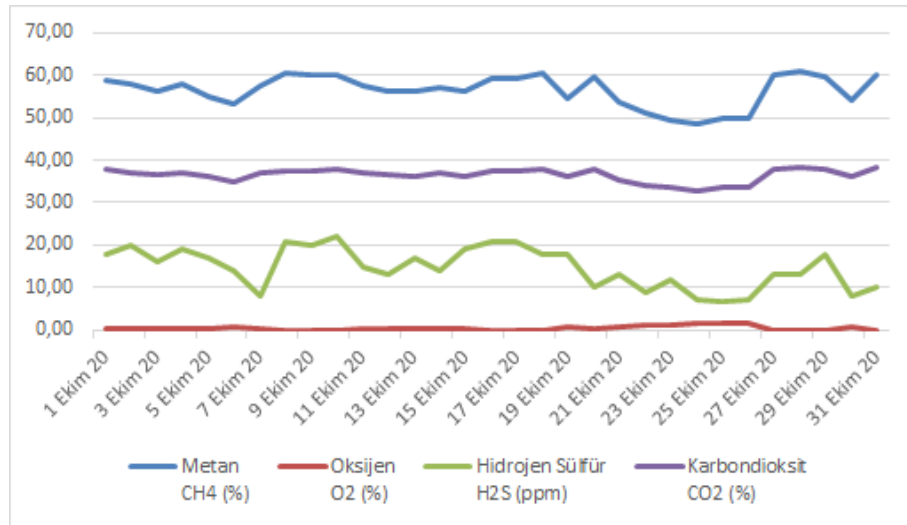
Eylül 2021 ayında tabloda verilen değerlere baktığımızda çöpün enerji veriminin bir önceki aylarda pik seviyesine ulaşması ve hava sıcaklığının düşüşü etkisiyle metan gazı ölçüm sonuçlarında azalma görülmüş, O₂ gazı ölçümlerinde artış olduğu görülmektedir. Tablo 18’de 2020-2021 yılı Ekim Ayı depo gazı değerleri aktarılmıştır.

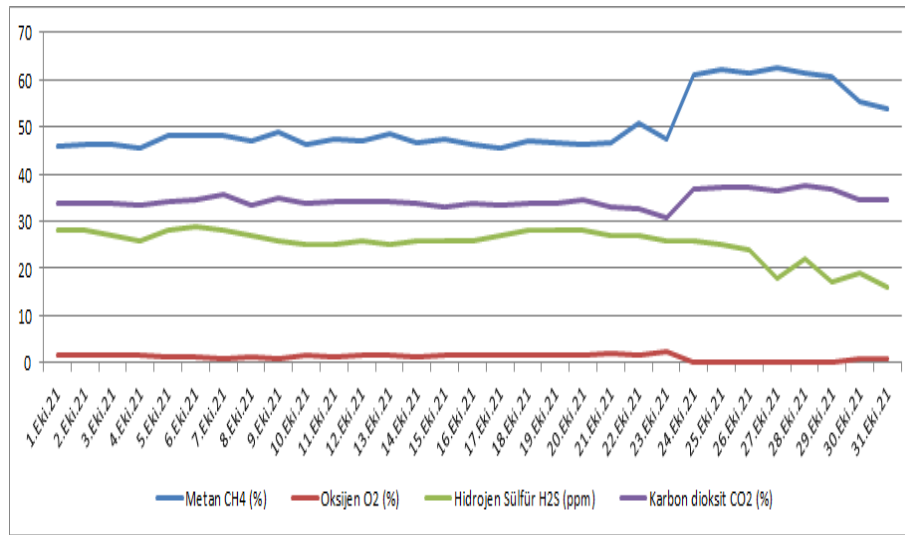
Tablo 18. 2020-2021 Yılı Ekim Ayı Depo Gazı Değerleri

EKİM 2020	Metan CH ₄ (%)	Oksijen O ₂ (%)	Hidrojen Sülfür H ₂ S (ppm)	Karbon dioksit CO ₂ (%)	EKİM 2021	Metan CH ₄ (%)	Oksijen O ₂ (%)	Hidrojen Sülfür H ₂ S (ppm)	Karbon dioksit CO ₂ (%)
1	58,62	0,13	18	37,82	1	45,90	1,60	28	33,70
2	58,03	0,18	20	37,02	2	46,10	1,70	28	33,70
3	56,29	0,34	16	36,41	3	46,10	1,80	27	33,80
4	57,84	0,21	19	36,99	4	45,70	1,60	26	33,60
5	54,93	0,43	17	36,02	5	48,00	1,40	28	34,30
6	53,27	0,75	14	34,96	6	48,10	1,20	29	34,40
7	57,71	0,27	8	36,88	7	48,20	0,90	28	35,60
8	60,70	0,01	21	37,48	8	47,20	1,30	27	33,60
9	59,89	0,02	20	37,66	9	49,10	0,90	26	34,90
10	59,93	0,07	22	38,04	10	46,10	1,70	25	33,70
11	57,65	0,22	15	37,22	11	47,40	1,40	25	34,00
12	56,25	0,45	13	36,51	12	47,20	1,60	26	34,10
13	56,22	0,36	17	36,37	13	48,60	1,60	25	34,00
14	56,99	0,32	14	37,12	14	46,70	1,40	26	33,70
15	56,27	0,31	19	36,27	15	47,60	1,50	26	33,20
16	59,26	0,02	21	37,66	16	46,10	1,80	26	33,80
17	59,28	0,03	21	37,52	17	45,70	1,60	27	33,60
18	60,34	0,06	18	38,04	18	47,00	1,60	28	33,70
19	54,36	0,54	18	36,32	19	46,60	1,50	28	33,70
20	59,60	0,11	10	37,93	20	46,30	1,70	28	34,50
21	53,56	0,76	13	35,22	21	46,80	2,00	27	32,90
22	50,93	1,07	9	33,96	22	50,70	1,66	27	32,53
23	49,60	1,21	12	33,41	23	47,50	2,47	26	30,74
24	48,63	1,63	7	32,95	24	61,19	0,04	26	36,65
25	49,70	1,59	7	33,57	25	62,01	0,03	25	37,18
26	50,01	1,40	7	33,44	26	61,42	0,06	24	37,01
27	59,99	0,02	13	38,01	27	62,64	0,09	18	36,42
28	60,87	0,02	13	38,31	28	61,32	0,13	22	37,39
29	59,55	0,07	18	38,05	29	60,82	0,18	17	36,88
30	54,11	0,76	8	36,21	30	55,41	0,87	19	34,70
31	59,93	0,06	10	38,13	31	53,70	0,79	16	34,41

(2020 Ekim ayı ortalama sıcaklık derecesi: 9.8 C⁰)(2021 Ekim ayı ortalama sıcaklık derecesi: 7.1 C⁰)

Şekil 47’de Ekim 2020 ve Şekil 48’de Ekim 2021 depo gazı grafiği verilmiştir.

**Şekil 47.** Ekim 2020 depo gazı grafiği



Şekil 48. Ekim 2021 depo gazı grafiği

2021 Ekim ayı ölçümlerine bakıldığında hem çöpün metan gazı üretme özelliğinin azalması hem de hava sıcaklığının düşmesi ile metan gazının %50 değerinin aşağısına indiği O₂ gazı oranının da 1.50 seviyelerinin üzerine çıktığı görülmektedir. Tablo 19’da 2020-2021 yılı Kasım ayı depo gazı değerleri aktarılmıştır.

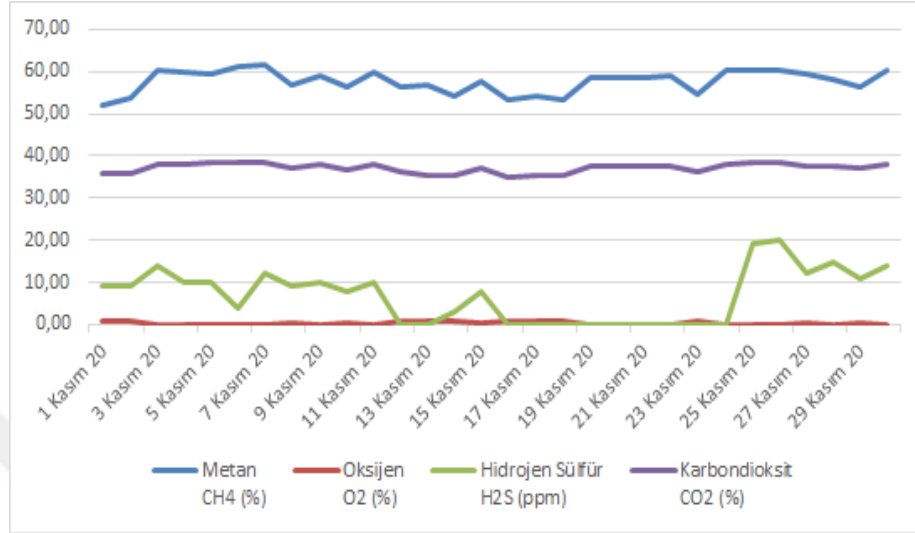
Tablo 19. 2020-2021 Yılı Kasım Ayı Depo Gazı Değerleri

KASIM 2020	Metan CH ₄ (%)	Oksijen O ₂ (%)	Hidrojen Sülfür H ₂ S (ppm)	Karbon dioksit CO ₂ (%)	KASIM 2021	Metan CH ₄ (%)	Oksijen O ₂ (%)	Hidrojen Sülfür H ₂ S (ppm)	Karbon dioksit CO ₂ (%)
1	51,87	1,00	9	35,61	1	59,94	0,28	2	36,53
2	53,80	0,94	9	35,66	2	60,91	0,10	2	37,02
3	60,35	0,02	14	38,11	3	60,84	0,08	2	36,98
4	59,79	0,12	10	38,12	4	61,04	0,11	3	36,92
5	59,30	0,09	10	38,42	5	60,20	0,14	2	36,84
6	61,20	0,00	4	38,40	6	50,61	1,34	2	33,52
7	61,38	0,01	12	38,51	7	49,29	1,55	2	32,72
8	56,82	0,46	9	37,02	8	57,40	0,46	3	35,82
9	59,00	0,16	10	37,78	9	52,68	1,03	2	34,00
10	56,46	0,61	8	36,55	10	48,60	1,68	2	32,35
11	59,94	0,16	10	38,00	11	48,42	1,93	3	31,95
12	56,45	0,66	0	36,38	12	48,80	1,80	2	31,69
13	56,91	0,83	0	35,31	13	50,10	1,70	2	32,05
14	54,25	0,96	3	35,58	14	50,84	1,77	2	32,58
15	57,62	0,42	8	37,09	15	50,07	1,76	4	32,52
16	53,18	0,73	0	34,72	16	47,74	2,40	2	31,32
17	54,25	0,99	0	35,55	17	48,59	2,11	2	31,15
18	53,20	1,05	0	35,35	18	48,88	1,82	2	31,78
19	58,52	0,14	0	37,70	19	47,17	2,02	2	31,29
20	58,56	0,06	0	37,52	20	50,24	1,75	2	32,24
21	58,45	0,07	0	37,65	21	47,54	2,07	3	31,39
22	58,91	0,07	0	37,67	22	48,25	2,08	2	31,20
23	54,77	0,90	0	36,19	23	47,58	2,09	2	31,18
24	60,20	0,01	0	38,14	24	47,58	2,46	2	30,83
25	60,09	0,09	19	38,29	25	49,00	1,90	2	31,50
26	60,30	0,09	20	38,35	26	51,39	1,50	2	32,78
27	59,52	0,22	12	37,76	27	51,29	1,43	3	32,49
28	58,15	0,11	15	37,71	28	48,68	2,13	3	31,16

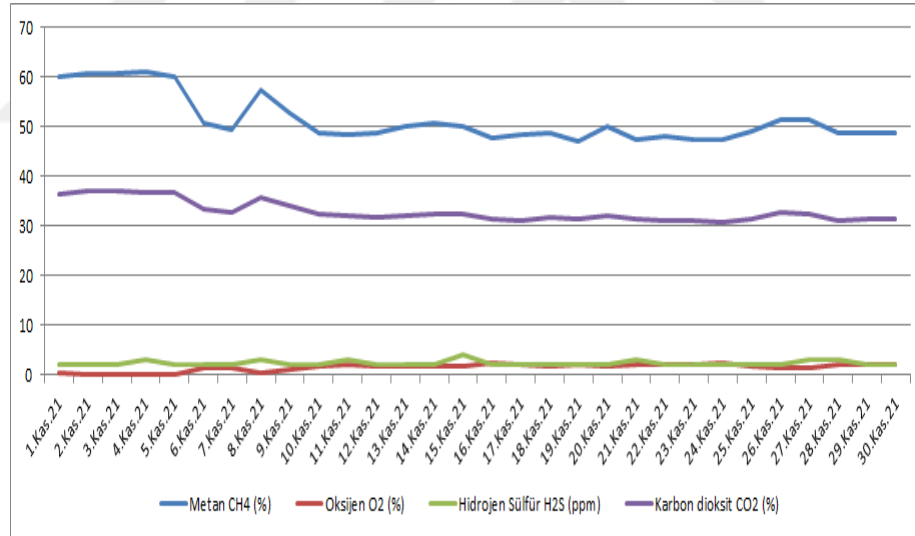
Tablo 19. (devamı)

29	56,31	0,61	11	36,96	29	48,72	2,07	2	31,47
30	60,11	0,08	14	38,17	30	48,81	2,03	2	31,50
(2020 Kasım ayı ortalama sıcaklık derecesi: 1,4C ⁰)					(2021 Kasım ayı ortalama sıcaklık derecesi: 2,5C ⁰)				

Şekil 49’da Kasım 2020 ve Şekil 50’de Kasım 2021 depo gazı grafiği verilmiştir.



Şekil 49. Kasım 2020 depo gazı grafiği



Şekil 50. Kasım 2021 depo gazı grafiği

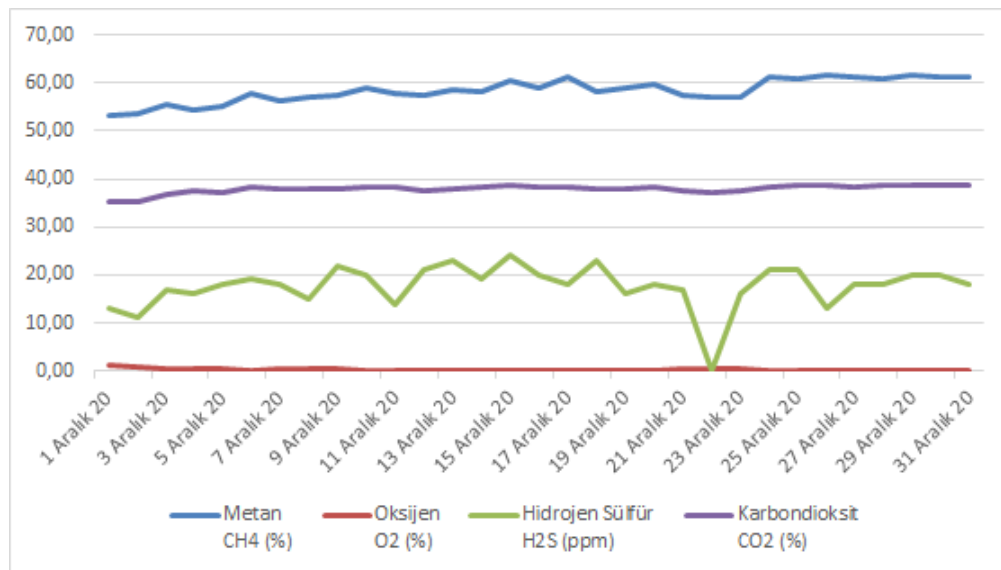
2021 Kasım ayı ölçümlerine bakıldığında O₂ gazı değerinin yükseldiği görülmektedir. Bu durum ise havanın soğuması ile çöp içerisine rüzgar ve kar suyu girişi nedeniyle çöp içerisindeki sıcaklığın azalmasına yol açmıştır. Bunun sonucunda da metan gazı değerinin %50 dolaylarında ölçüldüğü görülmektedir. Tablo 20’de 2020-2021 yılı Aralık ayı depo gazı değerleri aktarılmıştır.

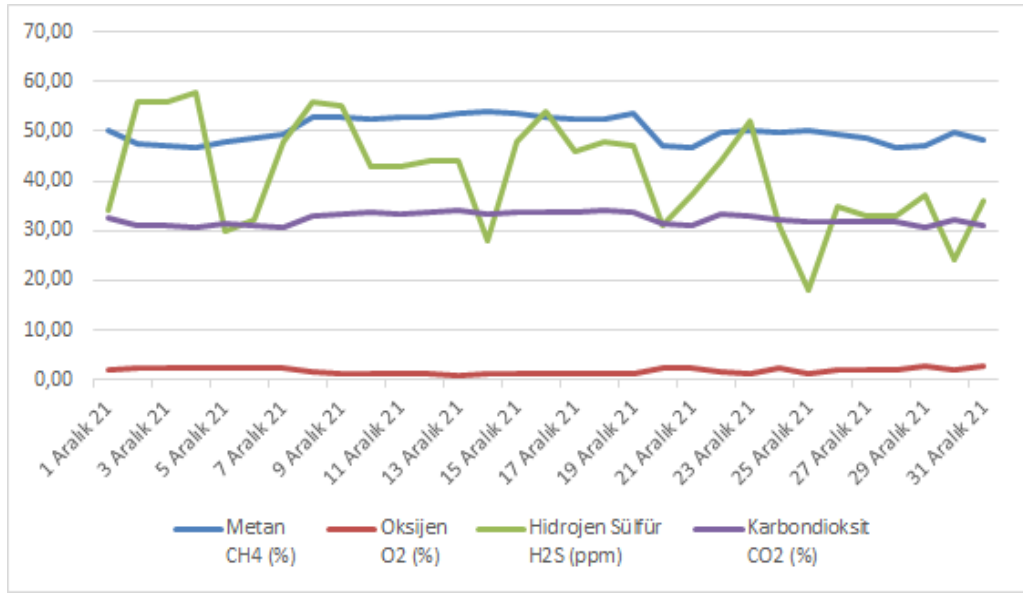
Tablo 20. 2020-2021 Yılı Aralık Ayı Depo Gazı Değerleri

ARALIK 2020	Metan CH ₄ (%)	Oksijen O ₂ (%)	Hidrojen Sülfür H ₂ S (ppm)	Karbon dioksit CO ₂ (%)	ARALIK 2021	Metan CH ₄ (%)	Oksijen O ₂ (%)	Hidrojen Sülfür H ₂ S (ppm)	Karbon dioksit CO ₂ (%)
1	53,38	1,08	13	35,41	1	50,10	1,82	34	32,49
2	53,62	0,98	11	35,35	2	47,34	2,18	56	30,97
3	55,71	0,55	17	36,87	3	47,27	2,21	56	30,94
4	54,28	0,46	16	37,40	4	46,75	2,40	58	30,58
5	55,33	0,44	18	37,33	5	48,00	2,30	30	31,40
6	57,71	0,19	19	38,20	6	48,46	2,31	32	31,08
7	56,41	0,33	18	37,89	7	49,50	2,16	48	30,80
8	57,23	0,27	15	38,03	8	52,76	1,76	56	32,81
9	57,31	0,29	22	37,89	9	52,74	1,22	55	33,44
10	59,05	0,16	20	38,19	10	52,64	1,16	43	33,74
11	57,95	0,19	14	38,12	11	52,80	1,18	43	33,36
12	57,60	0,17	21	37,53	12	52,82	1,06	44	33,64
13	58,66	0,16	23	37,97	13	53,59	0,96	44	33,96
14	58,15	0,17	19	38,25	14	53,85	1,02	28	33,28
15	60,63	0,01	24	38,51	15	53,64	1,02	48	33,90
16	58,90	0,12	20	38,26	16	52,95	1,02	54	33,75
17	61,33	0,01	18	38,45	17	52,64	1,22	46	33,66
18	58,36	0,16	23	37,92	18	52,52	1,10	48	34,09
19	58,81	0,11	16	38,05	19	53,55	1,07	47	33,87
20	59,69	0,09	18	38,22	20	47,06	2,32	31	31,36
21	57,58	0,25	17	37,65	21	46,87	2,43	37	30,94
22	57,06	0,26	0	37,24	22	49,88	1,54	44	33,16
23	56,91	0,29	16	37,61	23	50,34	1,34	52	32,90
24	61,16	0,02	21	38,45	24	49,93	2,32	31	32,29
25	60,82	0,05	21	38,65	25	50,20	1,02	18	31,88
26	61,48	0,02	13	38,63	26	49,51	1,80	35	31,99
27	61,35	0,02	18	38,49	27	48,82	1,92	33	31,99
28	61,01	0,02	18	38,53	28	46,67	1,90	33	31,70
29	61,66	0,01	20	38,56	29	47,20	2,63	37	30,85
30	61,24	0,09	20	38,55	30	49,80	1,89	24	32,05
31	61,40	0,01	18	38,64	31	48,31	2,58	36	30,97

(2020 Haziran ayı ortalama sıcaklık derecesi: -5.7 C⁰)(2021 Aralık ayı ortalama sıcaklık derecesi: -5,2 C⁰)

Tablo 51’de Aralık 2020 ve Şekil 52’de Aralık 2021 depo gazı grafiği verilmiştir.

**Şekil 51.** Aralık 2020 depo gazı grafiği



Şekil 52. Aralık 2021 depo gazı grafiği

2021 Aralık ayın da hava sıcaklığının düşmesi ve kar sularının çöp içerisine geçiş yapması etkisini göstermiş; O₂ gazının artmasıyla beraber metan gazı ölçümlerinde düşüş görülmektedir.

TARTIŞMA, SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, Erzurum düzenli depolama tesisinde bir önceki yıla göre çöp üstü örtüsünün iyileştirilmesi, depo sahasının üst örtüsünün sıkıştırılması ile geçirgenliğin azaltılması, çöp depo sahasının içerisindeki sıcaklığının korunması sonucunda çöp içerisindeki metan gazının artış oranı görülmüştür. Metan gazının deponi sahasında tutulması ve elektrik enerjisine çevrilmesi ile ekonomik fayda sağlanmıştır. Ayrıca metan gazının deponi sahası içerisinde tutulup havaya karışmaması ile sera gazı etkisi azaltılmıştır.

Depolama sahasında yapılan toprak örtünün yeterli olmayışından dolayı yağmur ve kar sularının depolanan atık içerisine doğru akışa geçerek nüfuz etmesi, saha içerisindeki ısıyı düşürdüğünden dolayı 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.

Çöp sahalarında uygulanan çöp üstü örtüsünün yeterli olmaması durumu, kar ve yağmur sularının depolanması, yapılan atık içerisine sızması ile depo içerisindeki sıcaklığı azalttığından depo sahası içerisine oksijen girişine sebep olmaktadır. Bunun sonucunda anaerobik bozunma olayına olumsuz biçimde etki etmekte ve metan gazı miktarı azalmaktadır. Aynı zamanda depolanan atık içerisine yüksek miktarda giriş yapan su; gaz toplama sistemlerinde birikmesi ile gaz toplama sistemlerinin verimli bir biçimde çalışmasını da engellemektedir.

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

Çöp üstü örtüsünün yeterli olmamasından kaynaklı olarak bir diğer oluşacak sorun ise; deponi sahası üst tarafı tamamen şev olan Erzurum katı atık depolama alanında rüzgarların depolama sahası içerisine sürekli halde etki göstermesidir. Bu sebeple daha çok kış mevsiminde gaz üretim verimi açısından azalma görülmektedir.

Depolama işlemi tamamlandıktan sonra çöp sahasının üst tarafı 50 cm kalınlığında kil tabakası ile kapatma işlemi yapılmalı, kil tabakası üzerine ise en az 50 cm kalınlığında üzerinde yetişebilecek uygunluktaki bitki türüne bağlı olarak toprak örtüsü serilerek geçirimsizlik sağlanmalıdır.

Erzurum Katı Atık Düzenli Depolama Tesisinde yıllara göre üretilen elektrik enerji miktarı verilerine göre saatte; 2020 yılında 1,51 MW, 2021 yılında 1,33 MW ortalama üretim yapılmıştır.

Bir ailenin yılda ortalama olarak 2,4 MW enerji tüketeceğini varsayarsak (Keskin, 2021) Erzurum'daki depolama sahasında 2020 yılı için 13.123.91 kW elektrik enerjisi üretildiğinden bu da ortalama 5.468 ailenin (27.340 nüfuslu bir ilçenin) bir yıllık elektrik enerji ihtiyacının karşılanacağını göstermektedir.

Katı atık düzenli depolama tesislerinde organik atıklardan depo gazı oluşum prosesindeki hidroliz, asit ve metan oluşum süreçlerinde türlü mikroorganizma kümeleri görevlidir. Bu mikroorganizmaların hayatlarına devam edebilmeleri için lüzumlu olan anaerobik durumun meydana gelmesinde, sahanın doğru biçimde işletimi önem arz etmektedir. Depo sahasının üzeri, günlük örtü ile kapatılarak sahanın hava geçirimsiz hale getirilmesi ve depo sahasının içerisinde oksijen ile temasının ortadan kaldırılması, anaerobik durum oluşumu için önemli bir etmendir. Belli periyotlarda depo sahası üst örtü uygulaması işlemi yapılmaması, metan gazı üretiminde görevli organik maddelerin miktarında azalmaya ve bunun sonucunda oluşan gaz miktarında azalmaya neden olacaktır. Bu şekilde kapatılan sahadan 15-20 yıl enerji elde etmeye devam edilebilecektir. Buna ek olarak geri dönüşümü mümkün olan atıkların kaynakta ayrıştırılması ve depolama tesislerine getirilmemesi hem sahanın alan kazancı açısından hem de organik atıkların saha içerisinde daha hızlı bir şekilde ayrışmaları için gerekli olan uygun anaerobik ortamın meydana gelmesi açısından önemlidir. Kuyu yanlarında ve gaz borularında meydana gelen gaz kaçağı kısımlarının onarımı veya toprak ile kapatılarak gaz kaçağının kapatılması, sızıntı suyu drenajının doğru bir biçimde gaz borularında suyun gaz ile temasının engellenmesi ve sızıntı suyunun geri devri ile depo sahasındaki biyolojik hareketlerin artırılması gaz toplama işleminin verimini büyük ölçüde artıracaktır.

Depo sahasının üstünün örtülmesi ile metan gazının tutulup sisteme verilmesiyle elektrik üretim veriminin artırmasının yanı sıra yapılan araştırmalar sonucunda elektrik üretiminde kullanılan gaz jeneratörlerinin egzozundan çıkan gazların enerji potansiyelinin geri enerji üretiminin sağlanması elektrik üretim veriminin artıracağını göstermektedir.

Tasarlanacak olan atık ısı kazanı ile 2x1,2 mWe elektrik üretimine katkı olarak atık gazlardan 512 kWe elektrik elde edilebileceği ve tesisin elektrik enerjisi üretiminin 2902 kWe olabileceği görülmektedir. Baca gazı enerji elde sistemi sayesinde, gaz jeneratörü teknik belgelerinde motor randımanı %37,94 seviyesindeyken atık ısı kazanı ile birlikte çalışan Rankine çevrimli kurulan sistemin elektrik üretim veriminin ise %43,1 seviyesinde olacağı görülmüştür. Depo gazının elektrik enerjisi veriminin kıymetlendirilmesi ve yakma

teknolojileri dünya genelinde en fazla tercih edilen sistemlerdir. Bu tür tasarımlar için topografik koşullar nedeniyle büyük depolama alanları bulunması olabildiğince zordur. Bu nedenle bu fikir günümüz için yeterli olduğu gözüktüğü de, uzun dönemde farklı yaklaşımlar geliştirilmeli ve uygulanmalıdır. Bu konu bakımından dünyada çok fazla kuruluş kredi imkanı sağlamaktadır. Bu kaynaklar kullanılarak uzun vadeli projelerin hayat geçirilmesi ile hazırda işletilen tesislerin toplam verimini artırmaya yönelik çözüm oluşması sağlanacaktır. Bunun yanı sıra yeni kurulması düşünülen fazla sayıda şehir katı atık sahalarında bu yöntem, kuruluş etabında toplam yatırım maliyetlerini birim elektrik enerjisi başına düşürücü ve mühim bir katkı sağlamaktadır. Üretimi yapılan elektriğin ve ısıнын bir kısmının sistemin kendi iç enerji ihtiyacı için kullanılması, diğer kısmının ise yenilenebilir enerji kanunu içeriği ile satımı planlanmalıdır. Bu şekilde katı atık düzenli depolama sahalarında tüm atıklar çevreye zararsız hale getirilerek ve çevreye yararlı bir teknoloji sayesinde ülke ekonomisine kazanımı sağlanacaktır (Kankılıç ve Topal, 2015).

Erzurum ilinin evsel katı atıkları, geri dönüştürülebilir atıkları ve inert atıklarının kaynağında ayrıştırma yöntemiyle toplanmaya başlanmalıdır. Bu toplama yöntemi öncelik olarak yüksek ve orta gelir seviyesine sahip yerleşim bölgelerinde başlanılmalıdır.

Kaynağında ayrıştırılan atıklar depolama tesislerine götürülecek evsel ve inert atıkların farklı lotlarda depolanması katı atık sahalarının daha verimli ve uzun ömürlü kullanılmasını sağlayacaktır. Evsel ve inert atıkların birbirine karışması metan bakterilerin üremesini ve çalışması olumsuz etkilediğinden metan üretimini, atığın bozunma ve parçalanma süresini azaltmakta ve depolama sahasının verimsiz ve kısa ömürlü olmasına yol açar.

Katı atıklardan enerji eldesi, sadece biyoenerji uygulaması olarak değil de atmosferik CH₄ emisyonlarının yılda ortalama %1-2 seviyelerinde arttığı düşünülerek metan gazı emisyonunu direkt olarak atmosfere salınımını engelleyerek insan ve çevre sağlığı üzerindeki olumsuz etkiyi de asgari seviyeye düşürmektedir.

Hali hazırda kullanılan veya atık depolama işlemi son ermiş katı atık düzensiz ve düzenli depolama sahalarından enerji eldesi yapılabilmesi için tesis envanterlerinin çıkartılıp ıslahlarının hızlı bir şekilde yapılarak depo gazının Metan salınımını önleyecek duruma getirilmelidir. Bu çalışma sonucunda, metan gazından enerji üretim tesislerine gereken önemin verilmesi durumunda enerjide dışa bağımlılığının azalacağı ve zararlı depo gazlarını havaya karışmasının engelleneceği görüşüne varılmıştır.

KAYNAKLAR

- Akpınar, N., 2006. Kentsel Katı Atıklardan Enerji Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Arslan, Z. 2022. Erzurum Katı Atık Düzenli Depolama Sahasındaki Depo Gazı Verimliliğinin Landgem Modeli Kullanılarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Atmaca, K., 2015. Samsun Katı Atık Düzenli Depolama Sahası Deponi Gazı Enerji Verimliliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Aydın, A. 2013. Türkiye’de Depo Gazından Enerji Yönetimi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Bilgili, M. S. 2002. Katı Atık Düzenli Depo Sahalarında Atıkların Aerobik Ve Anaerobik Ayrışması Üzerine Sızıntı Suyu Geri Devrinin Etkileri, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Cellatoğlu, N., İlkan, M., Egelioglu, F., 2010. Dikmen Çöplüğü Bir Enerji Kaynağına Dönüştürülebilir mi?, EmoBilim, 8, 68-69.
- Chakraborty, M, Sharma, C, Pandey, J, Singh, N, Gupta, P. K. 2011. Methane emission estimation from landfills in Delhi: A comparative assessment of different methodologies. Atmospheric Environment. 45: 7135-7142.
- Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, 2014. Düzenli Depolama Tesisleri Saha Yönetimi Ve İşletme Kılavuzu, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Yayınları.
- Dede, Ş., 2017. Membran Biyoreaktör Sistemi İle Çöp Sızıntı Suyu Arıtımı Ve Nanofiltrasyon Konsantresi İçin İleri Arıtma Yöntemlerinin Geliştirilmesi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Kocaeli
- Demirci, İ.E., 2017. Düzenli Depolama Sahaları Sızıntı Suları Kontrol Ve Bertaraf Yöntemleri Ve Bir Uygulama, Tezsiz Yüksek Lisans Dönem Projesi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Pamukkale
- Gendebien, A., Pauwels, M., Constant, M., Willumsen, H.C., Butson, J., Fabry, R., Ferrero, G.L. and Nyns, E.J. 1991. Landfill Gas: from Environment to Energy: State of the Art and Implementation in the European Community, 69-76.
- Johari, A, Ahmed, S. A, Hashim, H, Alkali, Ramli, M. 2012. Economic and environmental benefits of landfill gas from municipal solid waste in Malaysia. Science Direct Renewable and Sustainable Energy Reviews,16: 2907:2912.
- Kankılıç, T., Topal, H., 2015. Belediye Atıklarından Düzenli Depolama Sahalarında Biyogaz ve Enerji Üretimi. Mühendis ve Makine Dergisi, 56 (669), 58-69
- Keskin, A. C. 2021. Katı Atık Düzenli Depolama Sahalarında Depo Gazından Enerji Elde Edilmesi Ve Depo Gazı Oluşumunu Etkileyen Faktörler Yüksek Lisans Tezi, Avrasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- 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, 3, 209-218.

- Kolukısa, Z. Ü., 2013. Belediyelerde Katı Atık Yönetimi: Malatya Belediyesi Örneği, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Malatya.
- Mc Bean, E.A., Rovers, F.A and Farquhar, G.J. 1995. Solid Waste Landfill Engineering and Design. Prentice Hall. New Jersey, USA.
- Mcbean, E.A., Rovers, F.A. ve Farquar, G.J., 1995, Solid waste engineering and design, Prentice Hall PTR, New Jersey.
- OECD, 2013. Waste Definition. OECD Glossary of Statistical Terms.
- Öbekcan, H., 2014. Çorum İlinin Biyogaz Üretim Potansiyelinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Özaktaç, Ş. 2004. Düzenli Depolama Tesislerinde Depo Gazı Üretimine İlişkin Modelleme Olanaklarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Özcan, H., Borat, M., Bayat, C. 2005. Katı Atık Depo Sahası Gazları ve Çevresel Etkileri, II. Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacılar Kongresi, İstanbul Üniversitesi.
- Özçakıl, M., 2001. Türkiye’de Katı Atık Depo Gazı Geri Kazanım Tesislerinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özgöçmen, S., 2007. Düzenli Depolama Sahaları Sızıntı Suları Kontrol Ve Bertaraf Yöntemleri Ve Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Öztürk M., 2008. Katı Atık Depolama Alanında Metan Gazı Oluşumu. <http://www.mozturk.net/Upload//DEPO%20GAZI.pdf>. (27.04.2011)
- Öztürk, İ., 2010. Katı Atık Yönetimi ve AB Uyumlu Uygulamalı, İTÜ, İstanbul.
- Öztürk, İ., Arıkan, O., Altınbaş, M., Alp, K. ve Güven, H. 2019. Katı Atık Geri Dönüşüm ve Arıtma Teknolojileri El Kitabı, Temmuz 2019, Türkiye Belediyeler Birliği, İstanbul.
- Öztürk, M., 2018. Katı Atık Depolama Alanında Depo Gazı Oluşumu, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 36, Ankara.
- Solak, O., 2015. Türkiye’deki Katı Atık Deponi Alanlarında Oluşan Gazın Çevresel Ve Ekonomik Açıdan İncelenmesi. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- T.C. Resmi Gazete, 11 Ağustos, sayı: 18132
- Tchbonoglous, G., Theisen, H. ve Vigil, S.A., 1993. Integrated solid waste management engineering principles and management issues, McGraw Hill International Editions.
- Topal, A. D. 2021. Gaziantep İli Katı Atık Sızıntı Suyunun Ters Osmoz Sistem İle Arıtımının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Topaloğlu, M. 2020. Katı Atık Yönetimi Ve Ekonomiye Geri Kazandırılmasında Yeni Uygulamalar: Trabzon Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Avrasya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- TUİK (2018a). data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Atik-Istatistikleri-2020-37198 (12.05.2022).
- TUİK (2018b). data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Atik-Istatistikleri-2020-37198#:~:text=Atik%20bertaraf%20ve%20geri%20kazanım%20tesislerinde%20işlene n%20127%2C4%20milyon,m3%20olarak%20tespit%20edildi., (13.06.2022).
- Tüylüoğlu, B. S. 2001. Evrensel Katı Atık Sızıntı Sularının Havasız Çamur Yataklı Reaktörle Aktarımı, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Yadvika S. ve Sreekrishnan T.R., Kohli S., Rana V., 2004. Enhancement of Biogas Production from Solid Substrates Using Different Techniques–a review. *Bioresource Technology*, 95, 1–10.
- Yıldırım, B. (2020). Depo Gazından Enerji Üretimi Ve Bir Örnek Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- 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



ÖZGEÇMİŞ

Kıssel Bilgiler

Adı Soyadı

Muhammed Taha FAYETÖRBAY

Doğum Yeri ve Tarihi

Medeni Hali

İletişim Adresi

E-Posta Adresi

Eğitim ve Akademik Durumu

Lise: Aziziye Anadolu Lisesi,2007

Lisans: Atatürk Üniversitesi, Çevre Mühendisliği,2011

Yüksek Lisans: Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı Tezsiz Yüksek Lisans Programı

Yüksek Lisans: Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,2019

İs Tecrübesi

Erzurum Metan Gazından Elektrik Üretim Tesisi Kurulum ve İşletme Mühendisi

Erzurum Anadolu TMGDK-Tehlikeli Madde Güvenlik Danışmanı