



Türkiye'deki Biyogaz Tesislerine Genel Bir Bakış

A General Overview of Biogas Plants in Turkey

Doğan Kömür¹ Nusret Göksu²

¹ Doktora öğrencisi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Ana Bilim Dalı, Kahramanmaraş, Türkiye, e-mail: ziganad@hotmail.com, Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6288-1179>

² Prof. Dr., Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Ana Bilim Dalı, Kahramanmaraş, Türkiye, e-mail: nusretgoksu@gmail.com, Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3455-6982>

ÖZ

Dünyada nüfusun sürekli artması, hızla gelişen teknoloji ve sanayileşmeye paralel olarak enerji kullanımı ve atık miktarı sürekli olarak artmaktadır. Sürekli artan atıkların bertaraf edilmesi için sürdürülebilir atık yönetimine ihtiyaç duyulur. Biyogaz santralleri sürdürülebilir atık yönetimi için fırsat oluşturmaktadır. Bu çalışmada, Türkiye'nin faaliyette olan 18 büyük biyogaz tesisi incelenmiş ve elde edilen veriler karşılaştırılmıştır. 2011-2021 yıllarında kurulmuş faal olarak çalışan ve lisans gücü ortalaması 4,23 MW olan 18 büyük biyogaz tesisi detaylı olarak incelenmiştir. Elde edilen veriler 2011 yılından beri faaliyette olan santralleri de kapsadığından somut sonuçlar vermektedir. Türkiye'de aktif olarak çalışan 95 biyogaz tesisinden 18 büyük biyogaz tesisi incelenmiş ve elde edilen veriler karşılaştırılmıştır. İncelenen biyogaz tesislerinde yıllık üretilen biyogaz miktarlarının ortalaması 25.609.067 m³/yıl olarak tespit edilmiştir. En yüksek biyogaz üretimi 50.000.000 m³/yıl ile Eskişehir, Sivrihisar da bulunan Hisar Biyogaz tesisindedir. En düşük biyogaz üretimi 3.607.200 m³/yıl ile Balıkesir, Gönen de bulunan Astosan Balıkesir Biyogaz tesisindedir. İncelenen biyogaz tesislerinde günlük toplam 2.691 ton, aylık toplam 80.730 ton ve yıllık toplam 982.215 ton atık bertaraf edilmektedir. Günlük her tesiste ortalama 150 ton atık bertaraf edilmekte olup, aylık ortalama 4.485 ton ve yıllık ortalama 54.568 tondur. İncelenen tesislerin çok önemli miktarda atığı bertaraf ettiği görülmektedir. En çok atık bertarafı günlük 600 ton ile Aydın, Germencik de bulunan Efeler Biyogaz tesisindedir. En az atık bertarafı günlük 15 ton ile Balıkesir, Altieylül de bulunan Balıkesir Biyogaz tesisindedir.

Anahtar kelimeler: Biyogaz, Enerji, Sürdürülebilir.

Citation: Kömür, D., & Göksu, N. (2025). A general overview of biogas plants in Turkey. *Journal of Western European Social Sciences*.2(1)

Corresponding Author:

Doğan Kömür Email: ziganad@hotmail.com



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

ABSTRACT

In parallel with the continuous increase in the world's population, rapidly developing technology and industrialization, energy use and the amount of waste are constantly increasing. Sustainable waste management is needed to dispose of ever-increasing waste. Biogas power plants provide an opportunity for sustainable waste management. In this study, 18 large biogas plants operating in Turkey were examined and the obtained data were compared. 18 large biogas plants established between 2011-2021,. Since the obtained data also covers plants operating since 2011, it provides concrete results. 18 large biogas plants out of 95 active biogas plants operating in Turkey were examined and the obtained data were compared. The average annual biogas produced in the examined biogas plants was determined as 25,609,067 m³/year. The highest biogas production was in the Hisar Biogas plant in Sivrihisar, Eskişehir with 50,000,000 m³/year. The lowest biogas production is in Astosan Balıkesir Biogas facility located in Gönen, Balıkesir with 3,607,200 m³/year. In the biogas facilities examined, a total of 2,691 tons of waste is disposed of daily, 80,730 tons monthly and 982,215 tons annually. An average of 150 tons of waste is disposed of daily in each facility, a monthly average of 4,485 tons and an annual average of 54,568 tons. It is observed that the facilities examined dispose of a very significant amount of waste. The highest waste disposal is in Efeler Biogas facility located in Germencik, Aydın with 600 tons daily. The lowest waste disposal is in Balıkesir Biogas facility located in Altıeylül, Balıkesir with 15 tons daily.

Keywords: Biogas, Energy, Sustainable.

1. GİRİŞ

Biyogaz teknolojisi, sürdürülebilir atık yönetimi açısından önemli olmasının yanında yenilenebilir enerji kaynağı olduğundan her geçen gün daha da popüler olmaktadır. Anaerobik (oksijensiz) ortamda organik atıkların parçalanması ile elde edilen yenilenebilir enerji kaynağı olan biyogaz teknolojisi, büyük ölçekte enerji ve çevre sorunlarını çözmeye alternatif bir enerji kaynağı olarak dünya çapında yaygınlaşmaktadır (Ruiling, Shikun, & Zifu, 2017).

Dünyada nüfusun sürekli artması, hızla gelişen teknoloji ve sanayileşmeye paralel olarak enerji kullanımı ve atık miktarı sürekli olarak artmaktadır. Enerji arzında oldukça önemli paya sahip olan geleneksel fosil yakıtlar çevre sorunlarına, özellikle hava kirliliği ve küresel ısınmaya neden olmaktadır. Bu nedenlerle, fosil enerji kaynaklarının hızla tükenmesi ve rezervlerinin azalması yanı sıra fiyatlarda görülen dalgalanmalar, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmeye neden olmuştur. Araştırma sonuçlarına göre petrolün 2047, doğalgazın 2068 ve kömürün 2140 yılına kadar tükeneceği öngörülmektedir (Baran, Lüle, & Gökdoğan, 2017). Biyogaz üretiminin ve kullanımının yaygınlaşması, geçtiğimiz yıllar boyunca çok güçlü bir gelişim göstermiştir. Türkiye için yenilebilir enerji olarak biyogaz üretmek, pratik ve sürdürülebilir atık yönetimidir. Ayrıca biyogaz, atıkları enerjiye dönüştürerek iklim değişikliğinin etkilerinin azalmasına potansiyel olarak katkıda bulunabilecek oldukça önemli bir yenilebilir enerji kaynağıdır (Rana, Ingrao, Lombardi, & Tricase, 2016).

Çok geniş ortamda yaşayan organizmalardan üretilen madde anlamına gelen biyokütle saman, mısır koçanları pamuklar gibi tarımsal atıklar, şehir kanalizasyon atıkları, endüstriyel organik atıklardan oluşmaktadır. Birkaç bin yıldır enerji kaynağı olarak bilinen biyokütlenin modern kullanımı 21. yüzyılda yakıtı çevrilerek gerçekleşmiştir. Biyokütle modern enerji formları içerisinde katı (ağaç, pellet vb.), sıvı (etanol, biyodizel vb.) ve gaz (biyogaz, hidrojen vb.) olarak gruplandırılabilir (Üçgül & Akgül, 2010). Aynı zamanda organik, evsel, tarımsal ve tehlikeli atıkların tümü doğru yöntem ve uygulamalar ile atığın ortadan kaldırılması veya geri kazanılması ülke ekonomisine ve çevreye ciddi

oranda faydalar sağlamaktadır (Kaygusuz, 2023). Biyogaz enerjisinin üretimi ve kullanımı için uygulanabilecek alternatif teknolojiler hızla gelişmektedir. Ülkemizde tarım ve hayvancılık yaygın olduğundan, biyogaz enerjisi için bol miktarda biyokütle mevcuttur (Çağlayan, 2020). Biyokütlenin anaerobik fermentasyonu sonucunda biyogaz ortaya çıkar (Kadam & Panwar, 2017). Biyogaz hayvansal ve bitkisel atıklardan elde edilen yanıcı bir gazdır. Biyogazın ana bileşenleri metan ve karbondioksittir, ve biyogazın içerisinde az miktarda su buharı, azot, hidrojen, hidrojen sülfür, oksijen ve karbon monoksit bulunmaktadır (Pizzuti, Martins, & Lacava, 2016).

Hayvansal ve bitkisel atıklardan üretilen biyogaz, ısınma ve elektrik üretimi için kullanılmaktadır. Hayvan gübrelerinin gaza dönüştürülmesi sonucunda gübrelerin kötü kokusu hissedilmeyecek kadar azalmaktadır. Anaerobik sindirim işleminden sonra ortaya çıkan katı ve sıvı artıklar değerli organik gübre niteliğindedir. Anaerobik fermentasyon ile biyogaz üretilmesi ile ortaya çıkan katı fermente ürünlerin tarım arazilerinde toprak iyileştiricisi veya gübre olarak kullanımı sağlanmaktadır. Biyogaz üretimi ile tarımsal ve hayvansal atıkların kokusunun azalmasının yanında bu atıklardan kaynaklanan insan sağlığını tehdit eden hastalık nedenleri etkisiz hale gelmektedir (Cihansar, 2022).

Bu Çalışmada biyogaz santrallerinin atık yönetimi açısından değerlendirmesi yapılmıştır. Atık yönetimi için biyogaz santrallerinin katkısının ortaya konulması özgün bir yaklaşımdır. Literatür tarandığında biyogaz santralleri ile ilgili çok sayıda çalışma mevcuttur ancak biyogaz santrallerinin atık yönetimi açısından değerlendirmesi çok sınırlıdır. Bu çalışmada, Türkiye'deki biyogaz tesisleri sürdürülebilir atık yönetimi perspektifinden incelenmiş ve ayrıca yatırım sürecinin ekonomik incelenmesi yapılmıştır. Araştırma bu yönüyle hem sürdürülebilir atık yönetimi hem de biyogaz oluşumu, kullanımı, tesis koşulları ve ekonomik analiz konularını içermektedir. Araştırma bu yönüyle de özgün bir yapıya sahiptir. Saha çalışması olarak, Türkiye'nin faaliyette olan 18 büyük biyogaz tesisi incelenmiş ve elde edilen veriler karşılaştırılmıştır.

2. BİYOGAZ SANTRALLERİ

Günümüzde biyogaz iki farklı temel yöntemle üretilmektedir. Bunlar; düzenli depolama sahaları ve tarımsal atıklar, atık su arıtma çamurları başta olmak üzere çeşitli enerji bitkilerinin (mısır silajı, vb.) hammadde olarak kullanıldığı biyoreaktörlerdir. Evsel katı atıklar genel olarak %30-50 arasında bir organik kısım ihtiva ederler. Bu yüzden bu çöpler bilinçsizce bertaraf yerine düzenli depolama sahalarında biyogaz üretiminde kullanılır ise enerji üretiminde önemli bir katkı sağlayabilirler. Günümüzdeki düzenli depolama sahaları yan ürün olarak sadece deponi gazı (biyogaz) ve atık su oluşturmaktadır. Atık miktarı açısından baktığımızda düzenli depolama sahalarında biyogaz üretimi atık giderimi problemi için umut vadeden bir çözüm sunmaktadır. Deponi gazı organik atıkları bir depolama alanına havasız koşullarda gömmekle elde edilir (Themelis & Ulloa, 2007).

Bir düzenli depolama alanı atık suyun yer altı sularına karışmasının önlenmesi için kil ve membranla geçirimsiz hale getirilmiş bir tabakanın üzerine evsel katı atıkların tabakalar halinde serilmesi ile oluşturulur. Depolama alanının en alt tabakasına sızıntı suyunu atık su arıtma tesisine götürmek için drenaj boruları ve oluşan biyogazı toplamak için yüzeye kadar uzanan gaz bacaları yerleştirilir. Bu bacalardan toplanan biyogaz bir tesiste yakılarak elektrik üretiminde kullanılır (Di Addario & Ruggeri, 2016).

Düzenli depolama sahası çok büyük kapalı bir biyoreaktör gibi davranır ve organik atıklar bakteriler tarafından havasız fermentasyon ile deponi gazına dönüştürülür. Bu sistemler özellikle belediyelerin topladığı evsel nitelikli çöplerin bertarafından kullanılmaktadır. Düzenli depolama sahalarının yaşama

alanlarına konumu, yer altı su kaynaklarına yakınlığı, sızıntı suyu geçirgenliği, koku kontrolü, atık su arıtımı ve biyogaz yönetimi çok iyi kontrol edilmelidir. Saha kapasitesini tamamladığı zaman üzeri geçirimsiz bir tabaka ve toprakla kapatıldıktan sonra ağaçlandırma, çimlendirme gibi çalışmalar yapılabilir. Hatta park ve golf sahası olarak bile değerlendirilebilmektedir (Warith, Li, & Jin, 2005). Diğer bir biyogaz üretim prosesi ise biyoreaktörlerde (fermantörler, sindiriciler) gerçekleşir (Di Addario & Ruggeri, 2016).

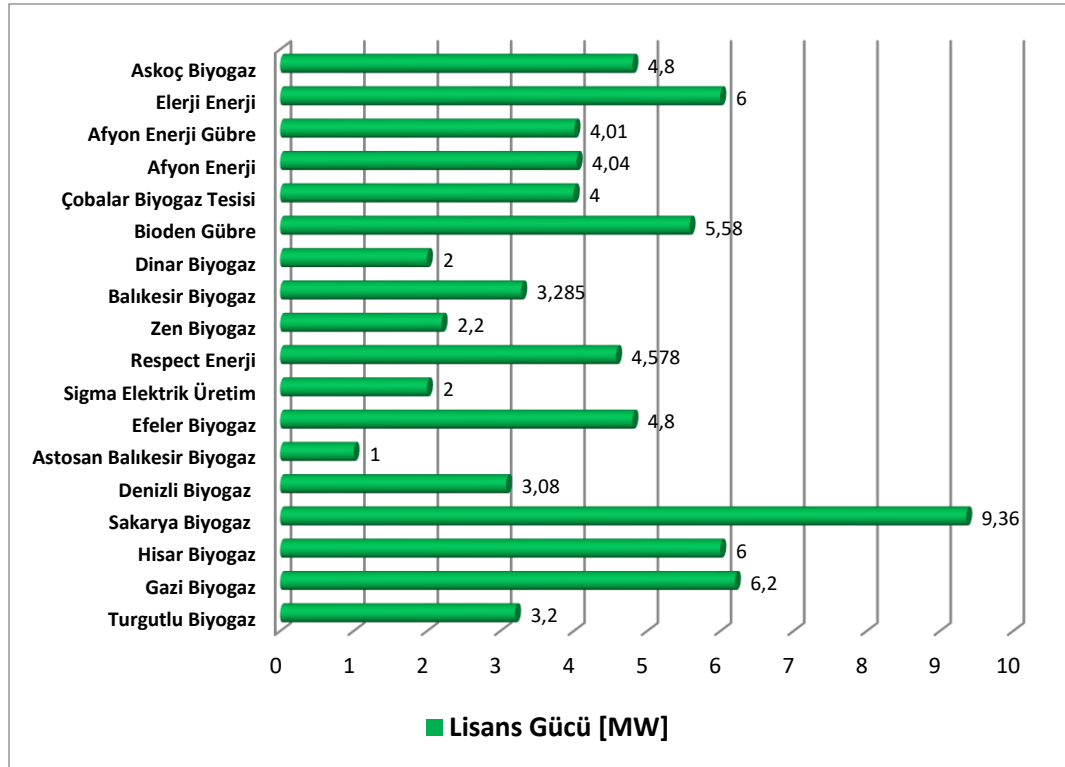
Biyodizel ve Biyoetanol gibi diğer yenilenebilir yakıtların aksine, biyogaz üretimi nispeten basittir ve her koşulda çalışabilir ve tekeli değildir. Özellikle hayvansal gübreler biyogaz üretimi için potansiyel bir hammadDEDİR. Bu sebeple kırsal enerji için biyogaz sürdürülebilir, uygun maliyetlidir ve uygun şekilde kullanıldığında insanların sağlığı veya çevreleri üzerinde olumsuz bir etkisi yoktur. Karmaşık inşaat, sistemlerin zor çalışması, yüksek yatırım ve bakım maliyetleri, çiftçileri ev tipi diye adlandırılan daha ucuz ve basit anaerobik sistemleri benimsemeye itmiştir (Rajendran, Aslanzadeh, & Taherzadeh, 2012). Çin’de 30 milyondan fazla ev tipi sindiricisi bulunmakta, bunu 3,8 milyon ile Hindistan, 0,2 milyon ile Nepal ve 60.000 ile Bangladeş takip etmektedir. Çin biyogaz altyapısına yatırımlarını çok hızlı bir şekilde artırmıştır. 2020 yılında, Çin’de 80 milyon hanede 300 milyon insana hizmet veren biyogaz sindiricileri bulunmaktadır (Alma, 2022).

3. MATERYAL VE METOT

Nüfus artışlarına paralel olarak atık miktarları artmaktadır. Atıklarla mücadele önemli bir finans kaynağı ile yapılabilir. Sürekli artan atıkların bertaraf edilmesi için sürdürülebilir atık yönetimine çözüm oluşturabilir. Biyogaz santralleri sürdürülebilir atık yönetimi için fırsat oluşturmaktadır. Biyogaz santralleri atık bertaraf etmelerinin yanında, gübre üretimi ve enerji üretimi için önemli bir kaynak teşkil etmektedir. Biyogaz santrallerinin karlılığı, atık yönetimi için mali kaynak oluşturmaktadır. Türkiye’de aktif olarak çalışan 95 biyogaz tesisi incelenmiş ve bu tesislerden 18 tanesi ziyaret edilmiştir. Ziyaret edilen Biyogaz santralleri için yetkililerden detaylı bilgiler alınmıştır. Her bir santral için kullanılan atık miktarı, atık çeşidi, yatırım maliyeti, işletme giderleri, gübre geliri, enerji gideri, enerji geliri, personel gideri öğrenilmiştir. Elde edilen veriler işlenerek, işletmelerin karlılık oranı hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, sürdürülebilir atık yönetimi açısından değerlendirilmiştir.

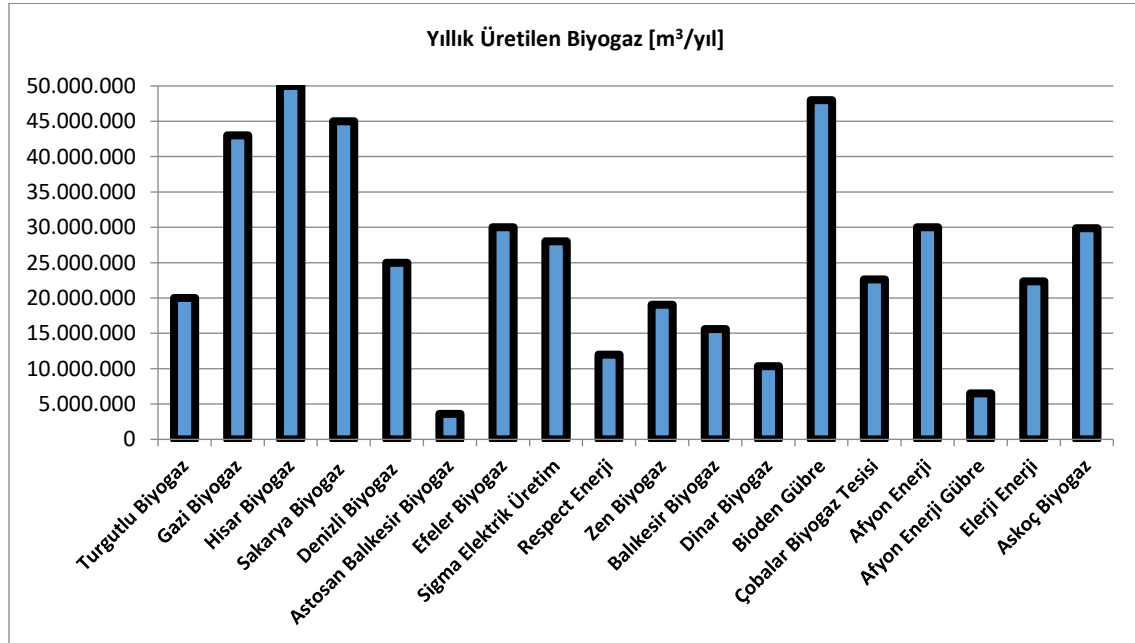
4. BULGULAR VE ANALİZ

İncelenen biyogaz tesisleri ve güçleri Şekil 1.’de görülmektedir. Biyogaz santralleri, atıkları hammadde olarak kullanmaktadırlar. İncelenen santrallerin lisans güçlerinin ortalaması 4,23 MW olup, en düşük lisans gücü 1 MW, en yüksek lisans gücü 9,36 MW’tır. İncelenen santrallerin devreye alınan güçlerinin ortalaması 3,58 MW olup, en düşük lisans gücü 1 MW, en yüksek lisans gücü 9,36 MW’tır. İncelenen 18 biyogaz santralinin toplam lisans gücü 76,13 MW ve devreye alınan toplam güç 64,45 MW’tır.



Şekil 1 . İncelenen Biyogaz Tesisleri Lisans Güçleri

Şekil 2.'de incelenen biyogaz tesislerinde yıllık üretilen biyogaz miktarları görölmektedir. İncelenen biyogaz tesislerinde yıllık üretilen biyogaz miktarlarının ortalaması 25.609.067 m³/yıl olarak tespit edilmiştir. En yüksek biyogaz üretimi 50.000.000 m³/yıl ile Eskişehir, Sivrihisar da bulunan Hisar Biyogaz tesisindedir. En düşük biyogaz üretimi 3.607.200 m³/yıl ile Balıkesir, Gönen de bulunan Astosan Balıkesir Biyogaz tesisindedir.



Şekil 2. İncelenen Biyogaz Tesislerinde Yıllık Üretilen Biyogaz Miktarları

Tablo 1.'de biyogaz tesislerinde bertaraf edilen atık miktarları görölmektedir. İncelenen biyogaz tesislerinde günlük toplam 2.691 ton, aylık toplam 80.730 ton ve yıllık toplam 982.215 ton atık bertaraf edilmektedir. Günlük her tesiste ortalama 150 ton atık bertaraf edilmekte olup, aylık ortalama 4.485 ton

ve yıllık ortalama 54.568 tondur. İncelenen tesislerin çok önemli miktarda atığı bertaraf ettiği görülmektedir. En çok atık bertarafı günlük 600 ton ile Aydın, Germencik de bulunan Efeler Biyogaz tesisindedir. En az atık bertarafı günlük 15 ton ile Balıkesir, Altıeylül de bulunan Balıkesir Biyogaz tesisindedir.

Tablo 1. İncelenen Biyogaz Tesislerinde Bertaraf Edilen Atık Miktarları

Tesis	Günlük Bertaraf Edilen Atık [ton/gün]	Aylık Bertaraf Edilen Atık [ton/ay]	Yıllık Bertaraf Edilen Atık [ton/yıl]
Turgutlu Biyogaz	85	2.550	31.025
Gazi Biyogaz	100	3.000	36.500
Hisar Biyogaz	98	2.940	35.770
Sakarya Biyogaz	50	1.500	18.250
Denizli Biyogaz	98	2.940	35.770
Astosan Balıkesir Biyogaz	100	3.000	36.500
Efeler Biyogaz	600	18.000	219.000
Sigma Elektrik Üretim	120	3.600	43.800
Respect Enerji	60	1.800	21.900
Zen Biyogaz	95	2.850	34.675
Balıkesir Biyogaz	15	450	5.475
Dinar Biyogaz	100	3.000	36.500
Bioden Gübre	500	15.000	182.500
Çobalar Biyogaz Tesisi	300	9.000	109.500
Afyon Enerji	150	4.500	54.750
Afyon Enerji Gübre	85	2.550	31.025
Elerji Enerji	60	1.800	21.900
Askoç Biyogaz	75	2.250	27.375
Toplam	2.691	80.730	982.215
Aritmetik Ortalama	150	4.485	54.568
Standart Sapma	153	4.598	55.942
Geometrik Ortalama	126	3.787	46.077
Ortanca	98	2.940	35.770
En Küçük	15	450	5.475
En Büyük	600	18.000	219.000

Tablo 2.'de biyogaz tesislerinde yıllık gelir miktarları görülmektedir. İncelenen biyogaz tesislerinde yıllık toplam 1.573.953.010 TL gelir elde edilmektedir. Bu gelirin 1.330.318.017 TL'lik kısmı elektrik enerjisi satışından, 171.484.916 TL'lik kısmı katı gübre satışından ve 72.150.076 TL'lik kısmı sıvı gübre satışından elde edilmiştir. İncelenen biyogaz tesislerinde yıllık gelir miktarlarının ortalaması 87.441.834 TL olarak tespit edilmiştir. En yüksek gelir 216.628.486 TL ile Amasya merkezde bulunan Bioden Gübre tesisindedir. En düşük gelir 11.998.486 TL ile Balıkesir, Gönen de bulunan Zen Biyogaz tesisindedir.

Tablo 2. Analiz Edilen Biyogaz Tesislerinde Yıllık Gelir Miktarları

Tesis	Yıllık Üretilen Elektrik Enerjisi [kWh]	Yıllık Üretilen Elektrik Enerjisi Geliri [TL]	Yıllık Elde Edilen Katı Gübre Miktarı [ton/yıl]	Yıllık Elde Edilen Katı Gübre Geliri [TL/yıl]	Yıllık Elde Edilen Sıvı Gübre Miktarı [ton/yıl]	Yıllık Elde Edilen Sıvı Gübre Geliri [TL/yıl]	Yıllık Gelir Toplamı [TL]
Turgutlu Biyogaz	25.000.000	76.500.000	6.373	5.416.655	2.337	2.278.988	84.195.643
Gazi Biyogaz	19.000.000	58.140.000	7.497	6.372.535	2.750	2.681.162	67.193.697
Hisar Biyogaz	45.000.000	137.700.000	7.347	6.245.084	2.695	2.627.539	146.572.623

Sakarya Biyogaz	24.000.000	73.440.000	3.749	3.186.268	1.375	1.340.581	77.966.849
Denizli Biyogaz	12.000.000	36.720.000	7.347	6.245.084	2.695	2.627.539	45.592.623
As. Balıkesir Biyogaz	24.000.000	73.440.000	7.497	6.372.535	2.750	2.681.162	82.493.697
Efeler Biyogaz	20.000.000	61.200.000	44.983	38.235.210	16.499	16.086.974	115.522.184
Sigma Elektrik Üre.	15.000.000	45.900.000	8.997	7.647.042	3.300	3.217.395	56.764.437
Respect Enerji	23.400.000	71.604.000	4.498	3.823.521	1.650	1.608.697	77.036.218
Zen Biyogaz	1.110.450	3.397.977	7.122	6.053.908	2.612	2.547.104	11.998.989
Balıkesir Biyogaz	24.007.500	73.462.950	1.125	955.880	412	402.174	74.821.005
Dinar Biyogaz	12.500.000	38.250.000	7.497	6.372.535	2.750	2.681.162	47.303.697
Bioden Gübre	56.000.000	171.360.000	37.486	31.862.675	13.750	13.405.811	216.628.486
Çobalar Biyogaz Te.	24.000.000	73.440.000	22.491	19.117.605	8.250	8.043.487	100.601.092
Afyon Enerji	32.000.000	97.920.000	11.246	9.558.803	4.125	4.021.743	111.500.546
Afyon Enerji Gübre	26.000.500	79.561.530	6.373	5.416.655	2.337	2.278.988	87.257.173
Elerji Enerji	21.850.000	66.861.000	4.498	3.823.521	1.650	1.608.697	72.293.218
Askoç Biyogaz	29.876.000	91.420.560	5.623	4.779.401	2.062	2.010.872	98.210.833
Toplam	434.744.450	1.330.318.017	201.747	171.484.917	74.000	72.150.076	1.573.953.010
Aritmetik Ortalama	24.152.469	73.906.557	11.208	9.526.940	4.111	4.008.338	87.441.834
Standart Sapma	11.773.971	36.028.351	11.491	9.766.931	4.215	4.109.311	42.732.449
Geometrik Ortalama	22.743.557	69.595.286	9.464	8.044.527	3.471	3.384.632	86.378.497
Ortanca	24.000.000	73.440.000	7.347	6.245.084	2.695	2.627.539	80.230.273
En Küçük	1.110.450	3.397.977	1.125	955.880	412	402.174	11.998.989
En Büyük	56.000.000	171.360.000	44.983	38.235.210	16.499	16.086.974	216.628.486

Araştırılan biyogaz tesislerinde yıllık toplam 434.744.450 kWh elektrik enerjisi üretilmiştir. Analiz edilen biyogaz tesislerinde yıllık üretilen elektrik enerjisi ortalaması 24.152.469 kWh olarak tespit edilmiştir. En yüksek elektrik enerjisi üretimi 56.000.000 kWh ile Amasya merkezde bulunan Bioden Gübre tesisindedir. En düşük elektrik enerjisi üretimi 1.110.450 kWh ile Balıkesir, Gönen de bulunan Zen Biyogaz tesisindedir. İncelenen biyogaz tesislerinde yıllık toplam 74.000 ton sıvı gübre üretilmiştir. Analiz edilen biyogaz tesislerinde yıllık üretilen sıvı gübre ortalaması 4.111 ton olarak tespit edilmiştir. En yüksek sıvı gübre üretimi 16.499 ton ile Aydın, Germencik de bulunan Efeler Biyogaz tesisindedir. En düşük sıvı gübre üretimi 412 ton ile Balıkesir, Altıeylül de bulunan Balıkesir Biyogaz tesisindedir. Analiz edilen biyogaz tesislerinde yıllık toplam 201.747 ton katı gübre üretilmiştir. Analiz edilen biyogaz tesislerinde yıllık üretilen katı gübre ortalaması 11.208 ton olarak tespit edilmiştir. En yüksek katı gübre üretimi 44.983 ton ile Aydın, Germencik de bulunan Efeler Biyogaz tesisindedir. En düşük katı gübre üretimi 1.125 ton ile Balıkesir, Altıeylül de bulunan Balıkesir Biyogaz tesisindedir.

Tablo 3.'de biyogaz tesislerinde yıllık gider miktarları görülmektedir. İncelenen biyogaz tesislerinde yıllık toplam 704.235.000 TL gider olmaktadır. Bu giderin 244.320.000 TL'lik kısmı yıllık personel gideri, 356.520.000 TL'lik kısmı yıllık atık hammadde maliyet gideri ve 103.395.000 TL'lik kısmı yıllık enerji gideridir. İncelenen biyogaz tesislerinde yıllık gider miktarlarının ortalaması 39.124.167 TL olarak tespit edilmiştir. En yüksek gider 97.800.000 TL ile Amasya merkezde bulunan Bioden Gübre tesisindedir. En düşük gelir 9.530.000 TL ile Balıkesir, Gönen de bulunan Zen Biyogaz tesisindedir. İncelenen biyogaz tesislerinde yıllık toplam 244.320.000 TL personel gideri vardır. Analiz edilen biyogaz tesislerinde yıllık personel gideri ortalaması 13.573.333 TL olarak tespit edilmiştir. En yüksek personel gideri 34.800.000 TL ile Afyon, başmakçı da bulunan Bioden Gübre tesisindedir. En düşük personel gideri 4.800.000 TL ile Manisa, Turgutlu da bulunan Turgutlu Biyogaz tesisindedir. İncelenen biyogaz tesislerinde yıllık toplam 356.520.000 TL atık hammadde maliyeti vardır. Analiz edilen biyogaz tesislerinde yıllık atık

hammadde maliyeti ortalaması 19.806.667 TL olarak tespit edilmiştir. En yüksek atık hammadde maliyeti 54.000.000 TL ile Amasya merkezde bulunan Bioden Gübre tesisindedir. En düşük atık hammadde maliyeti 480.000 TL ile Balıkesir, Gönen de bulunan Zen Biyogaz tesisindedir. Analiz edilen biyogaz tesislerinde yıllık toplam 103.395.000 TL enerji gideri vardır. Analiz edilen biyogaz tesislerinde yıllık üretilen enerji gideri ortalaması 5.744.167 TL olarak tespit edilmiştir. En yüksek enerji gideri 45.000.000 TL ile Afyonkarahisar, Kocaöz de bulunan Respect Enerji tesisindedir. En düşük enerji gideri 650.000 TL ile Balıkesir, Gönen de bulunan Zen Biyogaz tesisindedir.

Tablo 3. Analiz Edilen Biyogaz Tesislerinde Yıllık Gelir Miktarları

Tesis	Personel Giderleri [TL/yıl]	Yıllık Atık Maliyeti [TL/yıl]	Tesisin Yıllık Enerji Giderleri [TL/yıl]	Tesisin Toplam Giderleri [TL/yıl]
Turgutlu Biyogaz	4.800.000	14.400.000	2.200.000	21.400.000
Gazi Biyogaz	11.520.000	38.400.000	3.500.000	53.420.000
Hisar Biyogaz	14.400.000	27.000.000	3.460.000	44.860.000
Sakarya Biyogaz	12.480.000	30.000.000	4.000.000	46.480.000
Denizli Biyogaz	12.000.000	6.480.000	1.500.000	19.980.000
Astosan Balıkesir Biyogaz	6.720.000	14.400.000	4.000.000	25.120.000
Efeler Biyogaz	24.000.000	11.400.000	10.000.000	45.400.000
Sigma Elektrik Üretim	22.800.000	19.200.000	9.000.000	51.000.000
Respect Enerji	13.200.000	2.400.000	45.000.000	60.600.000
Zen Biyogaz	8.400.000	480.000	650.000	9.530.000
Balıkesir Biyogaz	9.600.000	10.200.000	900.000	20.700.000
Dinar Biyogaz	12.000.000	12.000.000	2.000.000	26.000.000
Bioden Gübre	34.800.000	54.000.000	9.000.000	97.800.000
Çobalar Biyogaz Tesisi	8.880.000	21.600.000	1.600.000	32.080.000
Afyon Enerji	10.800.000	31.800.000	2.200.000	44.800.000
Afyon Enerji Gübre	8.400.000	9.000.000	885.000	18.285.000
Elerji Enerji	5.520.000	11.760.000	2.000.000	19.280.000
Askoç Biyogaz	24.000.000	42.000.000	1.500.000	67.500.000
Toplam	244.320.000	356.520.000	103.395.000	704.235.000
Aritmetik Ortalama	13.573.333	19.806.667	5.744.167	39.124.167
Standart Sapma	7.645.431	14.198.055	9.933.275	21.544.812
Geometrik Ortalama	13.478.047	16.074.442	3.800.680	38.239.917
Ortanca	11.760.000	14.400.000	2.200.000	38.440.000
En Küçük	4.800.000	480.000	650.000	9.530.000
En Büyük	34.800.000	54.000.000	45.000.000	97.800.000

Tablo 4.'de biyogaz tesislerinde maliyet analizi görülmektedir. İncelenen biyogaz tesislerinde yıllık toplam 704.235.000 TL gider, 1.573.953.010 TL gelir ve 869.718.010 TL net gelir olmaktadır. Toplam yatırım bedeli 971.789.700 TL'dir. Toplam yıllık net gelir, toplam yatırım bedeline yakındır. Dolayısıyla biyogaz santralleri, yatırımın fizibil olmasından dolayı sürdürülebilir atık çözümüdür. İncelenen biyogaz tesislerinde yıllık toplam 869.718.010 TL net gelir olmaktadır. Analiz edilen biyogaz tesislerinde yıllık net gelir ortalaması 53.988.317 TL olarak tespit edilmiştir. En yüksek net gelir 450.000.000 TL ile Afyon, başmakçı da bulunan Bioden Gübre tesisindedir. En düşük personel gideri 4.000.000 TL ile Denizli, Honaz da bulunan Denizli Biyogaz tesisindedir. Türkiye'deki biyogaz tesisleri sürdürülebilir atık yönetimi açısından incelendiğinde, biyogaz üretiminin atıkları bertaraf etmesinin

yanında enerji üretimi içinde çözüm oluşturmaktadır. Enerji üretiminden elde edilen gelir, atıkların bertaraf edilmesi için kaynak oluşturarak sürdürülebilir atık yönetimi sağlamaktadır. Hayvansal ve bitkisel atıklardan üretilen biyogaz, ısınma ve elektrik üretimi için kullanılmaktadır. Hayvan gübrelerinin gaza dönüştürülmesi sonucunda gübrelerin kötü kokusu hissedilmeyecek kadar azalmaktadır. Anaerobik sindirim işleminden sonra ortaya çıkan katı ve sıvı artıklar değerli organik gübre niteliğindedir. Türkiye için yenilebilir enerji olarak biyogaz üretmek, pratik ve sürdürülebilir atık yönetimidir. Ayrıca biyogaz, atıkları enerjiye dönüştürerek iklim değişikliğinin etkilerinin azalmasına potansiyel olarak katkıda bulunabilecek oldukça önemli bir yenilebilir enerji kaynağıdır. Türkiye’de toplam atıkların teorik enerji eşdeğeri 34.002.549 (TEP/yıl) olup, hayvansal atıkların teorik enerji eşdeğeri 4.385.371 (TEP/yıl), bitkisel atıkların teorik enerji eşdeğeri 25.384.268 (TEP/yıl), belediye atıkların teorik enerji eşdeğerleri 3.373.011 (TEP/yıl) ve orman varlığı artıklarının enerji eşdeğeri 859.899 (TEP/yıl) dir. İncelenen biyogaz tesislerinde toplam 1.018 kişi çalışmaktadır. Tesislerde ortalama 57 kişi çalışmakta olup en çok çalışan sayısı 145 kişi ile Afyon, başmakçı da bulunan Borden Gübre tesisindedir. En az çalışan sayısı 20 kişi ile Manisa, Turgutlu da bulunan Turgutlu Biyogaz tesisindedir. Biyogaz tesisleri, sürdürülebilir atık yönetiminin yanında elektrik enerjisi ve gübre üretimine katkı sağlamaktadır. Tesisler ayrıca istihdama katkı sağlamaktadır.

Tablo 4. Analiz Edilen Biyogaz Tesislerinde Yıllık Gelir Miktarları

Tesis	Yıllık Gelir Toplamı [TL/yıl]	Yıllık Gider Toplamı [TL/yıl]	Yıllık Net Gelir Toplamı [TL/yıl]	Yaklaşık Yatırım Maliyeti
Turgutlu Biyogaz	84.195.643	21.400.000	62.795.643	40.000.000
Gazi Biyogaz	67.193.697	53.420.000	13.773.697	10.000.000
Hisar Biyogaz	146.572.623	44.860.000	101.712.623	25.000.000
Sakarya Biyogaz	77.966.849	46.480.000	31.486.849	25.000.000
Denizli Biyogaz	45.592.623	19.980.000	25.612.623	4.000.000
Astosan Balıkesir Biyogaz	82.493.697	25.120.000	57.373.697	32.389.700
Efeler Biyogaz	115.522.184	45.400.000	70.122.184	50.000.000
Sigma Elektrik Üretim	56.764.437	51.000.000	5.764.437	50.000.000
Respect Enerji	77.036.218	60.600.000	16.436.218	20.000.000
Zen Biyogaz	11.998.989	9.530.000	2.468.989	6.500.000
Balıkesir Biyogaz	74.821.005	20.700.000	54.121.005	6.000.000
Dinar Biyogaz	47.303.697	26.000.000	21.303.697	6.250.000
Borden Gübre	216.628.486	97.800.000	118.828.486	450.000.000
Çobalar Biyogaz Tesisi	100.601.092	32.080.000	68.521.092	36.000.000
Afyon Enerji	111.500.546	44.800.000	66.700.546	25.000.000
Afyon Enerji Gübre	87.257.173	18.285.000	68.972.173	33.650.000
Elerji Enerji	72.293.218	19.280.000	53.013.218	22.000.000
Askoç Biyogaz	98.210.833	67.500.000	30.710.833	130.000.000
Toplam	1.573.953.010	704.235.000	869.718.010	971.789.700
Aritmetik Ortalama	87.441.834	39.124.167	48.317.667	53.988.317
Standart Sapma	42.732.449	21.544.812	31.428.440	100.001.233
Geometrik Ortalama	86.378.497	38.239.917	40.659.650	33.065.965
Ortanca	80.230.273	38.440.000	53.567.111	25.000.000
En Küçük	11.998.989	9.530.000	2.468.989	4.000.000
En Büyük	216.628.486	97.800.000	118.828.486	450.000.000

Biyogaz santrallerinin yıllık bertaraf edilen atık miktarına göre sıralanması Tablo5.'de görülmektedir. Yıllık bertaraf edilen atık açısından biyogaz tesisleri karşılaştırıldığında 219.000 ton/yıl ile Efeler Biyogaz 1.sıradadır. 182.500 ton/yıl ile Bıden Gübre 2.sıradadır. Yıllık en az bertaraf edilen atık 5.475 ton/yıl ile Balıkesir Biyogaz santralindedir. İncelenen biyogaz tesislerinde günlük toplam 2.691 ton, aylık toplam 80.730 ton ve yıllık toplam 982.215 ton atık bertaraf edilmektedir. Günlük her tesiste ortalama 150 ton atık bertaraf edilmekte olup, aylık ortalama 4.485 ton ve yıllık ortalama 54.568 tondur. İncelenen tesislerin çok önemli miktarda atığı bertaraf ettiği görülmektedir. En çok atık bertarafı günlük 600 ton ile Aydın, Germencik de bulunan Efeler Biyogaz tesisindedir. En az atık bertarafı günlük 15 ton ile Balıkesir, Alıeylül de bulunan Balıkesir Biyogaz tesisindedir. Türkiye'deki biyogaz tesisleri sürdürülebilir atık yönetimi açısından incelendiğinde, biyogaz üretiminin atıkları bertaraf etmesinin yanında enerji üretimi içinde çözüm oluşturmaktadır. Enerji üretiminden elde edilen gelir, atıkların bertaraf edilmesi için kaynak oluşturarak sürdürülebilir atık yönetimi sağlamaktadır. Hayvansal ve bitkisel atıklardan üretilen biyogaz, ısınma ve elektrik üretimi için kullanılmaktadır. Hayvan gübrelerinin gaza dönüştürülmesi sonucunda gübrelerin kötü kokusu hissedilmeyecek kadar azalmaktadır. Anaerobik sindirim işleminden sonra ortaya çıkan katı ve sıvı artıklar değerli organik gübre niteliğindedir. Türkiye için yenilebilir enerji olarak biyogaz üretmek, pratik ve sürdürülebilir atık yönetimidir. Ayrıca biyogaz, atıkları enerjiye dönüştürerek iklim değişikliğinin etkilerinin azalmasına potansiyel olarak katkıda bulunabilecek oldukça önemli bir yenilebilir enerji kaynağıdır.

Tablo 5. Biyogaz Santrallerinin Yıllık Bertaraf Edilen Atık Miktarına Göre Sıralanması

Tesis	Yıllık Bertaraf Edilen Atık [ton/yıl]	Sıralama
Efeler Biyogaz	219.000	1
Bıden Gübre	182.500	2
Çobalar Biyogaz Tesisi	109.500	3
Afyon Enerji	54.750	4
Sigma Elektrik Üretim	43.800	5
Gazi Biyogaz	36.500	6
Astosan Balıkesir Biyogaz	36.500	7
Dinar Biyogaz	36.500	8
Hisar Biyogaz	35.770	9
Denizli Biyogaz	35.770	10
Zen Biyogaz	34.675	11
Turgutlu Biyogaz	31.025	12
Afyon Enerji Gübre	31.025	13
Askoç Biyogaz	27.375	14
Respect Enerji	21.900	15
Elerji Enerji	21.900	16
Sakarya Biyogaz	18.250	17
Balıkesir Biyogaz	5.475	18

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

İncelenen santrallerin lisans güçlerinin ortalaması 4,23 MW olup, en düşük lisans gücü 1 MW, en yüksek lisans gücü 9,36 MW'tır. İncelenen santrallerin devreye alınan güçlerinin ortalaması 3,58 MW olup, en düşük lisans gücü 1 MW, en yüksek lisans gücü 9,36 MW'tır. İncelenen 18 biyogaz santralının toplam lisans gücü 76,13 MW ve devreye alınan toplam güç 64,45 MW'tır. İncelenen biyogaz tesislerinde yıllık üretilen biyogaz miktarlarının ortalaması 25.609.067 m³/yıl olarak tespit edilmiştir. En yüksek biyogaz üretimi 50.000.000 m³/yıl ile Eskişehir, Sivrihisar da bulunan Hisar Biyogaz tesisindedir. En düşük biyogaz üretimi 3.607.200 m³/yıl ile Balıkesir, Gönen de bulunan Astosan Balıkesir Biyogaz tesisindedir.

İncelenen biyogaz tesislerinde günlük toplam 2.691 ton, aylık toplam 80.730 ton ve yıllık toplam 982.215 ton atık bertaraf edilmektedir. Günlük her tesiste ortalama 150 ton atık bertaraf edilmekte olup, aylık ortalama 4.485 ton ve yıllık ortalama 54.568 tondur. İncelenen tesislerin çok önemli miktarda atığı bertaraf ettiği görülmektedir. En çok atık bertarafı günlük 600 ton ile Aydın, Germencik de bulunan Efeler Biyogaz tesisindedir. En az atık bertarafı günlük 15 ton ile Balıkesir, Altıeylül de bulunan Balıkesir Biyogaz tesisindedir. Toplam yıllık net gelir, toplam yatırım bedeline yakındır. Dolayısıyla biyogaz santralleri, yatırımın fizibil olmasından dolayı sürdürülebilir atık çözümüdür. İncelenen biyogaz tesislerinde yıllık toplam 869.718.010 TL net gelir olmaktadır. Analiz edilen biyogaz tesislerinde yıllık net gelir ortalaması 53.988.317 TL olarak tespit edilmiştir. En yüksek net gelir 450.000.000 TL ile Afyon, başmakçı da bulunan Bioten Gübre tesisindedir. En düşük personel gideri 4.000.000 TL ile Denizli, Honaz da bulunan Denizli Biyogaz tesisindedir. İncelenen biyogaz tesislerinde toplam 1.018 kişi çalışmaktadır. Tesislerde ortalama 57 kişi çalışmakta olup en çok çalışan sayısı 145 kişi ile Afyon, başmakçı da bulunan Bioten Gübre tesisindedir. En az çalışan sayısı 20 kişi ile Manisa, Turgutlu da bulunan Turgutlu Biyogaz tesisindedir. Biyogaz tesisleri, sürdürülebilir atık yönetiminin yanında elektrik enerjisi ve gübre üretimine katkı sağlamaktadır. Tesisler ayrıca istihdama katkı sağlamaktadır.

Öneriler;

- Sürdürülebilir atık yönetimi için biyogaz santralleri kurulmalıdır.
- Büyükbaş hayvan atıkları, sürdürülebilir atık yönetimi açısından ele alınmalıdır.
- Küçükbaş hayvan atıkları, sürdürülebilir atık yönetimi açısından ele alınmalıdır.
- Kanatlı hayvan atıkları, sürdürülebilir atık yönetimi açısından ele alınmalıdır.
- Tarla Bitkileri atıkları, sürdürülebilir atık yönetimi açısından ele alınmalıdır.
- Bahçe Bitkileri atıkları, sürdürülebilir atık yönetimi açısından ele alınmalıdır.
- Orman atıkları, sürdürülebilir atık yönetimi açısından ele alınmalıdır.
- Belediye atıkları, sürdürülebilir atık yönetimi açısından ele alınmalıdır.
- Sıfır atık projesi daha çok yaygınlaştırılmalıdır.
- Atıklar konusunda toplum bilinçlendirilmelidir.
- Geri dönüşüm desteklenmelidir.
- Biyogaz santralleri büyük ve küçük ölçekte teşvik edilmelidir.
- Atıklardan gübre üretimi teşvik edilmelidir.
- Atıklardan enerji üretimi teşvik edilmelidir.

KAYNAKÇA

Alma, H. (2022). *TÜBA Biyokütle Enerjisi Raporu*. Ankara: Türkiye Bilimler Akademisi Yayınları.

Baran, M., Lüle, F., & Gökdoğan, O. (2017). Adıyaman ilinin hayvansal atıklardan elde edilebilecek enerji potansiyeli. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 245-249.

Cihansar, İ. (2022). *Biyogazdan Enerji Üretiminin Çevresel Etkilerinin Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Yöntemiyle Belirlenmesi*. Eskişehir: Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Çağlayan, G. (2020). Doğu Anadolu Bölgesindeki Büyükbaş ve Küçükbaş Hayvan Atıklarının Biyogaz Potansiyelinin İncelenmesi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 672-681.

Di Addario, M., & Ruggeri, B. (2016). *Landfill Bioreactor Technology for Waste Management. In Recycling of Solid Waste for Biofuels and Bio-chemicals*. Singapore: Springer.

- Gautam, M., & Agrawal, M. (2021). Greenhouse gas emissions from municipal solid waste management: a review of global scenario. *Carbon Footprint Case Studies*, 123-160.
- Güllü, G. (2022). Kentsel dönüşümde sıfır atık yönetimi. *İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 112-120.
- Kadam, R., & Panwar, N. (2017). Recent advancement in biogas enrichment and its applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 892-903.
- Kaygusuz, E. (2023). *Biyogaz Enerji verimliliğinin termal ön işlem Yöntemleri ile Artırılması*. Giresun: Giresun Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Mai, L., Sun, X., Xia, L., Bao, L., Liu, L., & Zeng, E. (2020). Global riverine plastic outflows. *Environmental Science & Technology*, 10049-10056.
- Pizzuti, L., Martins, C., & Lacava, P. (2016). Laminar burning velocity and flammability limits in biogas: A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 856-865.
- Rajendran, K., Aslanzadeh, S., & Taherzadeh, M. (2012). Household biogas digesters — A review. *Energies*, 5(8), 2911-2942.
- Rana, R., Ingrao, C., Lombardi, M., & Tricase, C. (2016). Greenhouse gas emissions of an agro-biogas energy system: Estimation under the Renewable Energy Directive. *Science of the Total Environment*, 1182-1195.
- Ruiling, G., Shikun, C., & Zifu, L. (2017). Research progress of siloxane removal from biogas. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 30-39.
- Themelis, N., & Ulloa, P. (2007). Methane generation in landfills. *Renewable Energy*, 32(7), 1243-1257.
- Turan, A. (2022). *Biyogaz Enerjisi Yakıt Prosesi Ve Optimal Tesis Büyüklüğü Uygulamaları*. Konya: KTO Karatay Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Enerji Yönetimi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Üçgül, İ., & Akgül, G. (2010). Biyokütle Teknolojisi. *Yekarum*, 1.
- Warith, M., Li, X., & Jin, H. (2005). Bioreactor landfills: state-of-the-art review. *Emirates Journal for Engineering Research*, 10(1), 1-14.

Etik, Beyan ve Açıklamalar

1. Etik Kurul izni ile ilgili;

- ☒ Bu çalışmanın yazar/yazarları, Etik Kurul İznine gerek olmadığını beyan etmektedir.
- ☐ Bu çalışmanın yazar/yazarları, Üniversitesi Etik Kurulu'nun tarih sayı ve karar ile etik kurul izin belgesi almış olduklarını beyan etmektedir.

2. Bu çalışmanın yazar/yazarları, araştırma ve yayın etiği ilkelerine uyduklarını kabul etmektedir.

3. Bu çalışmanın yazar/yazarları kullanmış oldukları resim, şekil, fotoğraf ve benzeri belgelerin kullanımında tüm sorumlulukları kabul etmektedir.

4. Bu çalışmanın benzerlik raporu bulunmaktadır.