

DOI: 10.26650/JGEOG2021-881905

**COĞRAFYA DERGİSİ**  
**JOURNAL OF GEOGRAPHY**  
 2021, (42)

<http://jgeography.istanbul.edu.tr>


## Eskişehir'in Biyogaz Potansiyelinin Değerlendirilmesi

### *Assessment of Biogas Potential in Eskisehir*

Harun KAYNARCA<sup>1</sup> , Taner KILIÇ<sup>2</sup> , Emin AÇIKKALP<sup>3</sup> , Süheyla YEREL KANDEMİR<sup>4</sup> 

<sup>1</sup>Yüksek Lisans, Muharip Hava Kuvvetleri Komutanlığı, Eskişehir, Türkiye

<sup>2</sup>Doç. Dr., Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Bilecik, Türkiye,

<sup>3</sup>Prof. Dr., Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Türkiye

<sup>4</sup>Prof. Dr., Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bilecik, Türkiye

ORCID: H.K. 0000-0001-5496-4815; T.K. 0000-0002-1944-8214; E.A. 0000-0001-5356-1467; S.Y.K. 0000-0003-4056-5383

#### ÖZ

Ülkelerin gelişmişlik ölçütlerinden birisi de enerji tüketimidir. Fosil yakıtların tükenebilirliği, atmosfere önemli miktarda CO<sub>2</sub> ve partikül madde salması, hava kirliliği ve küresel ısınma gibi çevre sorunlarına yol açmaktadır. Biyokütle enerjisinin kullanımı, yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanmak, çevre sorunlarını azaltmak, istihdamı artırmak, ekonomiye katma değer yaratmak bakımından oldukça önemlidir. Hayli ekonomik bir kaynak olan biyogaz kırsal kalkınmanın sağlanması bakımından önemli bir potansiyeli bünyesinde barındırmaktadır. Eskişehir, hayvansal, bitkisel ve organik içerikli kentsel atıklar bakımından büyük bir potansiyele sahiptir. Bu çalışmada Eskişehir'in 2010-2019 yılları arasındaki hayvansal atıklarından elde edilebilecek biyogaz miktarı, bu miktardan elde edilebilecek enerji karşılığı, üretilebilecek enerjinin elektrik tüketimine oranı ve atmosfere verilecek CO<sub>2</sub> miktarının azaltılmasına olan yararı incelenmiştir. Eskişehir ilinin hayvan varlığı TÜİK'ten elde edilen verilerdir. Çalışmanın sonucunda toplanabilir gübre miktarı 2.050.383 ton/yıl olarak hesaplanmıştır. Bu miktardaki hayvansal atıktan elde edilen enerji, Eskişehir'in yıllık elektrik tüketiminin yaklaşık %8'ini karşılamaktadır. Eskişehir'de son on yılda görülen hayvan varlığındaki artış, hayvansal atıklardan üretilebilecek biyogaz enerjisinin sürdürülebilir olduğunu göstermektedir. Metan gazından üretilecek elektrik enerjisi sayesinde önemli miktardaki CO<sub>2</sub>'in atmosfere salınımının azaltılabileceği hesaplanmıştır. Biyogaz tesislerinden atık olarak çıkan gübrenin tarımsal alanlarda kullanılabilir olması, istihdama katkı sağlaması ve çevrenin temiz kalması bakımından da önemlidir.

**Anahtar kelimeler:** Biyokütle, Biyogaz, Eskişehir

#### ABSTRACT

A development indicator of a country is its energy consumption. The exhaustion of fossil fuels causes environmental problems such as the release of significant amounts of CO<sub>2</sub> and particulate matter into the atmosphere, leading to global warming. Biomass energy is an important energy alternative for reducing environmental problems. The province of Eskisehir in Turkey produces massive amounts of animal, herbal, and organic urban waste suitable to obtain biofuel. This study aimed to determine the amount of biogas that could be obtained from the animal waste in Eskisehir between 2010 and 2019 as well as the energy amount that such waste could represent and the ratio of the energy that could be converted into electricity for consumption. The results show that 2,050,383 tons/year of fertilizer could be collected in the study period. This amount of animal waste could satisfy approximately 8% of Eskisehir's annual electricity demand. Moreover, thanks to the electrical energy generated from methane gas, the release of a significant amount of CO<sub>2</sub> into the atmosphere could have been prevented. In addition to energy, the manure generated as waste from biogas facilities could be used in agriculture, contributing to economic development and maintaining the environment clean.

**Keywords:** Biomass, Biogas, Eskisehir

**Başvuru/Submitted:** 17.02.2021 • **Revizyon Talebi/Revision Requested:** 11.05.2021 • **Son Revizyon/Last Revision Received:** 13.05.2021 •

**Kabul/Accepted:** 31.05.2021 • **Online Yayın/Published Online:** 18.06.2021



**Sorumlu yazar/Corresponding author:** Taner KILIÇ / taner.kilic@bilecik.edu.tr

**Atıf/Citation:** Kaynarca, H., Kilic, T., Acikkalp, E., & Yel Kandemir, S. (2021). Eskişehir'in biyogaz potansiyelinin değerlendirilmesi. *Coğrafya Dergisi*, 42, 271-282.

<https://doi.org/10.26650/JGEOG2021-881905>



## EXTENDED ABSTRACT

An important development indicator of a country is its energy consumption. Energy is an indispensable resource in all areas of modern society, from lighting to air conditioning and from industrial production to transportation and health. Fossil fuels such as oil, coal, and natural gas are nonrenewable energy sources. In contrast, sun, wind, biomass, hydrogen, and geothermal energy sources are renewable. As fossil fuels are exhaustible, countries are turning to renewable and clean sources to maintain their energy supply.

A renewable energy source that has gained importance in recent years is biomass, which besides supporting energy supply, substantially contributes to prevent environmental pollution and reduce the greenhouse effect. Wood, charcoal, agricultural and forestry products, animal feces, and domestic and industrial organic waste are biomass sources, from which biogas can be obtained as a biofuel.

The high industrial production in the province of Eskisehir, Turkey, which is the study area, implies a massive energy consumption. Biogas can contribute to meet energy needs from domestic and renewable sources, reduce CO<sub>2</sub> emissions, increase energy efficiency, provide employment opportunities through the processing facilities, add value to the economy, and achieving environmentally friendly development.

In this study, we aimed to calculate the amount of biogas that the province of Eskisehir, Turkey could obtain from animal waste between 2010 and 2019 and the energy equivalents of biogas that can be produced to examine the ratio of energy that could be converted into electricity and the corresponding CO<sub>2</sub> emission reductions.

We retrieved the number of animals between 2010 and 2019 in Eskisehir from the Turkey Statistical Institute. Although it is not possible to determine the amount of animal waste exactly, the biogas potential in methane was estimated using the data of the average amount of manure per animal that can be collected, the amount of solid matter, the ratio of solid matter in the fertilizer, the amount of volatile solid matter, and the ratio of volatile solid matter in the fertilizer. In addition, biomass waste used as raw material for biogas production was examined in three categories: 1) animal waste, 2) herbal waste, and 3) organic waste from urban and industrial areas.

By examining the animal data from 2010 and 2019, we found that the number of animals has generally increased over time. Thus, the amount of animal waste needed for biogas production can increase in the coming years, suggesting that biogas production is a sustainable solution for handling animal waste.

The electrical energy that could be produced in Eskisehir using animal waste in 2019 constitutes 7.75% of the total electricity consumption in that year, representing approximately 4.5 times the lighting consumption (458.43%), 40.45% the residential consumption, 15.06% the industrial consumption, and 37.41% the business consumption. The 233,172 MWhe/year of biogas generation from animal waste in Eskisehir in 2019 could have prevented the release of 239,701 tons CO<sub>2</sub> from lignite, 200,995 tons CO<sub>2</sub> from imported and hard coal, 164,853 tons CO<sub>2</sub> from fuel oil, 110,291 tons CO<sub>2</sub> from natural gas, 9,327 tons CO<sub>2</sub> from nuclear energy, and 2,799 tons CO<sub>2</sub> from geothermal energy.

As global warming and climate change are increasingly noticeable worldwide, adopting renewable energy sources is becoming more important. In addition, renewable energy sources that meet the ever-increasing energy needs should be developed to ensure energy supply and security.

By examining the animal waste availability in Eskisehir over 10 years, we found that 553,794,524.82 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> could be produced, being equivalent to 476,177.57 TEP crude oil and 1,938,280.83 MWhe of electricity. With the electricity that could have been produced, we calculated that emissions from 73,655 to 2,042,948 tons CO<sub>2</sub> could have been prevented if biogas replaced other energy sources.

Establishing biogas plants can also provide socioeconomic benefits. In addition to the employment opportunities in biogas facilities, services such as labor and transportation for collecting waste from farms can provide additional job and income opportunities. Biogas facilities can also provide benefits for environmental cleanliness and health. Waste from animal shelters, zoos, animal hospitals, and

other facilities producing animal waste can be collected in biogas facilities and disposed. Although this waste does not require important raw materials for biogas production, the social and environmental responsibility duty would be fulfilled by preventing waste from causing environmental pollution.

The waste generated after biogas production can be used in agriculture as an efficient liquid fertilizer without unpleasant odors. The use of manure, which is released from the facility as waste, in agricultural areas can promote efficient and healthy agriculture while reducing the use of chemical fertilizers and fertilization costs.

## 1. GİRİŞ

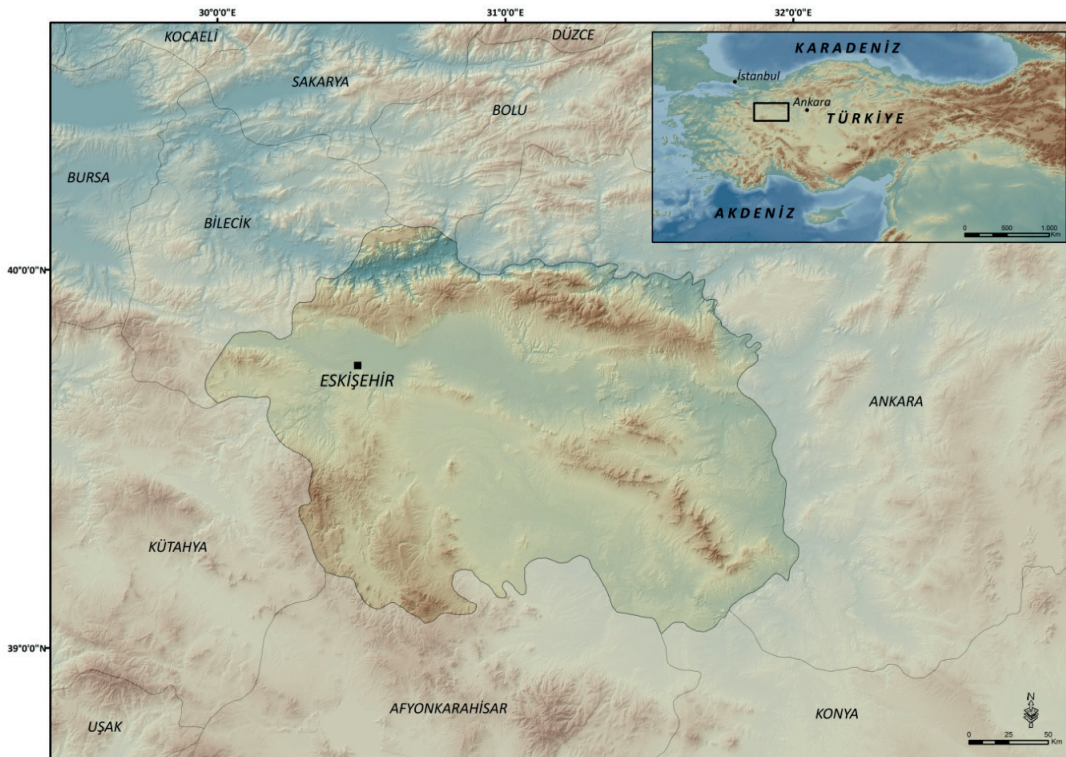
Enerji, aydınlatmadan iklimlendirmeye, endüstri üretiminden ulaştırmaya ve sağlığa kadar hayatımızın her alanında vazgeçilemez bir ihtiyaçtır. Enerji tüketimi, günümüz dünyasında ülkelerin gelişmişlik düzeylerinin önemli bir göstergesidir (Güler, Kandemir ve Açıkkalp, 2020).

Enerji kaynakları, yenilenemez ve yenilenebilir enerji kaynakları olarak başlıca iki kısımda ele alınmaktadır (Adams, Klobodu ve Apio, 2018). Petrol, kömür ve doğal gaz gibi fosil yakıtlar yenilenemez enerji kaynakları olarak adlandırılmaktadır (Külekçi, 2009). Güneş, rüzgâr, biyokütle, hidrojen ve jeotermal gibi enerji kaynakları ise yenilenebilir enerji kaynaklarıdır (Takan ve Kandemir, 2020). Günümüz dünyasında ülkeler kullandıkları enerjinin büyük bir kısmını fosil yakıtlardan elde etmektedir. Ancak fosil yakıtların rezervi sınırlıdır. Petrolün yaklaşık 50, doğal gazın 70, kömürün ise 150 yıl gibi bir sürede tükeneceği bildirilmektedir (Yılmaz, Ünvar, Koca ve Koçer, 2017). Fosil yakıtlar çevre kirliliğine de sebep olmaktadır (Martins, Felgueiras, Smitkova ve Caetano, 2019). Bundan dolayı ülkeler enerji arzlarını devam ettirebilmek için yenilenebilir ve temiz enerji kaynaklarına yönelmiştir. Özellikle gelişmiş ülkeler başta hidroelektrik, güneş, rüzgâr, jeotermal ve biyokütle enerjisi olmak üzere enerji sürekliliğini sağlamaya yönelik birçok proje ve çalışma başlatmıştır.

Son yıllarda önem kazanmaya başlayan yenilenebilir enerji kaynaklarından birisi de biyokütle enerjisidir. Biyokütle enerjisinden faydalanmak, enerji arzına fayda sağlamasının yanı sıra; çevre kirliliğinin önlenmesine ve sera etkisinin azaltılmasına da önemli katkılar sunmaktadır. Odun, odun kömürü, tarım ve orman ürünleri, hayvan dışkıları, evsel ve endüstriyel organik atıklar biyokütle kaynağı olarak tanımlanmaktadır (Kaplukan, 2014). Bu kaynakların klasik ve modern şekilde işlenmesi ile elde edilen ısı, elektrik, gaz ve sıvı yakıtlara biyokütle enerjisi denilmektedir (Tilki ve Çiçek, 2003). Biyogaz ise biyokütle kaynaklarından elde edilen önemli bir biyoyakıttır (İlkılıç ve Deviren, 2011). Biyogaz, dışa bağımlılığı azaltan, bölgenin kalkınmasına katkı sağlayan, ekolojik yapıya zarar vermeyen sürdürülebilir bir enerji kaynağıdır (İlgar, 2016).

Bu çalışmada, Eskişehir ilindeki büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvan atıklarından elde edilebilecek biyogazdan, üretilebilecek enerji miktarı, il elektrik tüketimine oranı ve CO<sub>2</sub> emisyonuna yönelik yararları değerlendirilmiştir.

Eskişehir, İç Anadolu Bölgesi'nin Yukarı Sakarya Bölümü'nde yer alan bir ilimizdir. İlin, İç Anadolu Bölgesi'ni, Marmara Bölgesi'ne bağlayan karayolu güzergahında bulunması, tarihi dönemlerden günümüze kadar olan süreçte önemini artırmıştır (**Şekil 1**). 19. Yüzyılın sonlarında yapılan demiryoluna ek olarak,



**Şekil 1.** Eskişehir ilinin Lokasyon Haritası.  
**Figure 1.** Location Map in Eskişehir.

2009 yılında ilk hızlı tren hattı Ankara-Eskişehir arasında hizmete girmiştir. 2014 yılında ise Ankara-İstanbul hızlı tren hattı devreye girince, şehir hızlı tren ulaşımının ortasında yer almıştır. Eskişehir, ulaşım bakımından avantajlı bir konumda olmasının yanı sıra; TULOMSAŞ, TUSAŞ (TEI), Paşabahçe Cam, Sarar Giyim, ETİ, Peyman, Çimento fabrikası, Şeker fabrikası, Seramik fabrikaları ve Eskişehir OSB’de faaliyet gösteren çok sayıda sanayi kuruluşu ile önemli bir sanayi kentidir. Eskişehir’de sanayi üretiminin fazla olması, enerji tüketiminin de fazla olmasına yol açmaktadır. Biyogazın kullanılması; enerji ihtiyacının yerli ve yenilenebilir kaynaklardan sağlanması, CO<sub>2</sub> salınımının azaltılması, enerji verimliliği, kurulacak tesisler ile istihdam olanaklarını artırması, ekonomiye katma değer sağlaması ve çevre dostu olması bakımından önemlidir.

Eskişehir’in merkezi ilçeleri olan Tepebaşı ve Odunpazarı hariç diğer ilçelerde temel geçim kaynağı tarımsal üretime dayalı olduğundan hayvansal ve bitkisel atıklardan; Tepebaşı ve Odunpazarı’nda ise organik içerikli şehir ve endüstriyel atıklardan yararlanarak biyogaza dayalı elektrik enerjisi üretmek mümkündür.

## 2. AMAÇ VE YÖNTEM

Bu çalışmanın amacı; Eskişehir ilinin 2010-2019 yılları arasında ildeki hayvansal atıklardan elde edilebilecek biyogaz miktarını ve üretilebilecek biyogazın enerji karşılıklarını hesaplayarak, üretilebilecek elektrik enerjisinin il elektrik tüketimine oranını ve CO<sub>2</sub> salınımına olan yararını incelemektir.

Eskişehir ilinin 2010-2019 yılları arasındaki son on yıllık hayvan sayısı verileri Türkiye İstatistik Kurumundan (TÜİK) alınmıştır. Hayvansal atıkların tamamen toplanabilmesi mümkün olmamakla birlikte, metan cinsinden biyogaz potansiyeli hayvan başına toplanabilir ortalama gübre miktarı, Katı Madde Miktarı (KM), Gübre İçerisindeki KM Oranı, Uçucu Katı Madde Miktarı (UKM) ve Gübre İçerisindeki UKM Oranı verileri kullanılarak metan enerji miktarı hesaplanmıştır.

Hayvanların yıllık üretebileceği toplam yaş gübre miktarı;  $M_{YYM} = M_{YG} \times S \times 365$  denklemi ile bulunur. Denklem açılımı ise;  $M_{YYM}$  hayvanların yılda üretebilecekleri toplam gübre miktarı (kg/yıl),  $M_{YG}$  bir hayvanın bir yılda üretebileceği gübre miktarı (kg/yıl) ve  $S$  ise hayvan sayısını ifade etmektedir (Yağlı ve Koç, 2019).

Hayvanların ürettiği yıllık toplanabilir faydalı yaş gübre miktarı;  $M_{YFYG} = M_{YYM} \times T$  denklemi ile bulunur.  $M_{YFYG}$  hayvanların ürettiği yıllık toplanabilir faydalı toplam yaş gübre miktarı (kg/yıl),  $M_{YYM}$  hayvanların yılda üretebilecekleri toplam

gübre miktarı (kg/yıl),  $T$  ise toplanabilir faydalı gübre miktarını (%) ifade etmektedir (Yağlı ve Koç, 2019).

Üretilen yaş gübre miktarındaki katı madde miktarı;  $M_{KM} = M_{YFYG} \times KM$  denklemi ile bulunur.  $M_{KM}$  hayvanların ürettiği yıllık toplanabilir faydalı gübre miktarı içerisindeki toplam katı madde miktarı (kg/yıl),  $KM$  ise yaş gübre içerisindeki katı madde oranını (%) ifade etmektedir (Yağlı ve Koç, 2019).

Katı madde içerisindeki uçucu katı madde miktarı;  $M_{UKM} = M_{KM} \times UKM$  denklemi ile bulunur.  $M_{UKM}$  hayvanların ürettiği yaş gübre içerisindeki yıllık toplam uçucu katı madde miktarı (kg/yıl),  $UKM$  ise katı madde miktarı içerisindeki uçucu katı madde oranını (%) ifade etmektedir (Yağlı ve Koç, 2019).

Toplanabilir faydalı gübreden üretilebilecek toplam yıllık metan miktarı;  $M_{METAN} = M_{UKM} \times MO$  denklemi ile bulunur.  $M_{METAN}$  hayvanların ürettiği toplanabilir faydalı gübreden üretilebilecek toplam yıllık metan miktarı (m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/yıl),  $MO$  1 kg uçucu katı maddeden üretilen metan miktarıdır. Üretilen biyogazın metan içeriği % 60 olması durumunda enerji değeri 22,7 MJ/Nm<sup>3</sup> ve bununla birlikte metan gazının değeri ise 36 MJ/Nm<sup>3</sup> alınarak hayvan gübresinden üretilen biyogazın enerji miktarı hesaplanabilmektedir (Yağlı ve Koç, 2019).

Metan gazından üretilebilecek enerji miktarı;  $Q = M_{METAN} \times H_{METAN}$  denklemi ile bulunur.  $Q$  yıllık üretilebilen metan gazının enerji karşılığı (MJ/yıl) ve  $H_{METAN}$  metanın ısı değeri olup 36 MJ/m<sup>3</sup> olarak alınmıştır (Yağlı ve Koç, 2019).

Metan gazının içten yanmalı bir motor ile elektrik enerjisi üretilmesiyle elde edilecek elektrik miktarı;  $E = M_{METAN} \times \eta_e \times W$  denklemi ile bulunur.  $E$  içten yanmalı motorun yıllık elektrik üretimi (MWh/yıl),  $\eta_e$  içten yanmalı motorun elektriksel verimi (% 35 alınmıştır) ve  $W$  metan gazının kWh cinsinden enerji değeri olup 10 kWh/m<sup>3</sup> olarak alınmıştır (Yağlı ve Koç, 2019).

## 3. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

### 3.1. Biyogaz

Biyogaz; biyokütle kaynaklarının havasız bir ortamda çeşitli bakteri grupları tarafından parçalanarak ortaya çıkartılan havadan hafif, rensiz, kokusuz büyük miktarda metan ve karbondioksit ihtiva eden yanıcı bir gazdır (Çanka Kılıç, 2011). Biyogazın enerji değeri doğal gaza yakındır (Akova, 2016). Oldukça ekonomik bir kaynak olan biyogaz kırsal kalkınmanın sağlanması için de önemli bir potansiyeli bünyesinde barındırmaktadır.

### 3.2. Biyogaz Üretiminde Kullanılan Atıklar

Biyogaz üretiminde hammadde olarak kullanılan biyokütle atıklar üç başlık altında incelenmektedir. Bunlar; hayvansal atıklar, bitkisel atıklar ve organik içerikli şehir ve endüstriyel atıklardır.

#### 3.2.1. Hayvansal Atıklar

Çiftlik hayvanlarının (Sığır, koyun, keçi, tavuk, at) gübreleri, mezbahane ve hayvansal ürün işleme tesislerinde biriken atıklardır (Gülşen, Türkay, Akarsu, Kumbur ve Dizge, 2019). Yapılan araştırmalarda biyokütle atığı olarak hayvan gübresi kullanan tesislerin ürettikleri biyogaz kalitesi hayvan türü ve tesis kapasitesine göre değiştiği bildirilmiştir (Özbaşer ve Erdem, 2013). **Tablo 1**'de hayvan türlerine göre günlük gübre miktarı, katı madde oranı (KM), yaş gübredeki uçucu katı madde oranı (UKM), katı maddedeki uçucu katı madde oranı ve UKM'den üretilen metan oranı verilmiştir (Ekinci, vd., 2010 ve Yağlı ve Koç, 2019).

#### 3.2.2. Bitkisel Atıklar

Bu atıklara, biyoenerji için yetiştirilen tarım ürünleri, tarım üretiminden kaynaklanan atıklar, orman, park bahçe atıkları, tarımsal ürün işleme tesislerindeki üretim atıkları, bitkisel biyokütle atıklarına örnek gösterilebilir (Gülşen vd., 2019; Yenilmez, 2015). Dolayısıyla biyogaz üretimi için kullanılacak bitkisel atık kaynakları çok çeşitlidir.

#### 3.2.3. Organik İçerikli Şehir ve Endüstriyel Atıklar

Kanalizasyon ve dip çamurları, kâğıt-karton sanayi, gıda sanayi atıkları ve çözünmüş madde derişimi yüksek evsel ve endüstriyel atıklar kullanılmaktadır (Gülşen vd., 2019; Yenilmez,

2015). Nüfusun fazla, sanayinin yoğun olduğu büyük kentlerde ekonomik değeri yüksek bu tür atıklardan enerji elde edilmesi bakımından elverişli şartlar bulunmaktadır.

### 4. ESKİŞEHİR İLİNİN HAYVAN VARLIĞI

Eskişehir ilinin 2010-2019 yılları arasındaki son on yıllık hayvan sayısı verileri TÜİK'ten alınmıştır. Bu verilere göre; 2019 yılı itibariyle 88.249 baş kültür ve melez süt sığırı (yetişkin), 22.397 baş kültür ve melez et sığırı (yetişkin), 12.040 baş yerli süt ve et sığırı (yetişkin), 40.169 baş buzağı (genç yavru) olmak üzere toplam büyükbaş hayvan sayısı 162.855'dir. Küçükbaş hayvan sayısı, 926.814 baş koyun, 107.545 baş keçi olmak üzere toplam 1.034.359'dur. Kanatlı hayvan sayısı, 2.651.363 adet et tavuğu, 1.598.471 adet yumurta tavuğu, 16.784 adet hindi, 19.450 adet ördek ve kaz olmak üzere toplam 4.286.068 kanatlı hayvana sahiptir. Tek tırnaklı hayvan sayısı ise, at, katır ve eşek olmak üzere toplam 6.848'dir. **Tablo 2**'de Eskişehir ilinin 2010-2019 yılları arası türlerine göre hayvan varlıkları verilmiştir.

**Tablo 2** incelendiğinde büyükbaş ve küçükbaş tüm hayvan türlerinde genel olarak belirli oranda her yıl artış olduğu görülmektedir. Tek tırnaklı hayvan türü ise her yıl ortalama 6.000 civarında varlığını devam ettirmiştir.

2019 yılında yetişkin büyük baş hayvan sayısı 122.686'dır. Yetişkin büyükbaş hayvan varlığının yaklaşık % 20'si et sığırı olup bu orana yerli ırk et sığırı da dahildir. Geriye kalan % 80'i ise süt sığıridir. Yetişkin sığır içindeki yerli ırk oranı ise yaklaşık % 10'dur. On yılın tamamına bakıldığında, oranların genel olarak aynı kaldığı görülmektedir. Alpu, Çifteler, İnönü ilçelerinde, Odunpazarı ve Tepebaşı merkez ilçelerinin kırsal kesimlerinde manda ırkı yoğunluk göstermektedir. Ancak manda

**Tablo 1:** Hayvan Türüne Göre Biyogaz Süreci İçin Kabul Edilen Gübre Miktarı ve Özellikleri.

**Table 1:** Fertilizer Amount and Properties Accepted for Biogas Process.

Hayvan Türü	Hayvan Başına Ortalama Günlük Gübre Üretimi	Katı Madde Oranı (KM)	Yaş Gübredeki Uçucu Katı Madde Oranı (UKM)	Katı Maddedeki (KM) Uçucu Katı Madde Oranı (UKM)	Metan Üretimi
	kg/gün-hayvan	%	%	%	m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kg-UKM
Süt Sığırı	43,00	13,95	11,63	83,36	0,18
Et Sığırı	29,00	14,66	12,41	84,65	0,33
Buzağı (Genç yavru)	2,48	8,39	3,71	44,23	0,33
Koyun	2,40	27,50	23,00	83,63	0,30
Keçi	2,05	31,71	23,17	73,06	0,30
At	20,40	29,41	19,61	66,67	0,30
Et Tavuğu	0,19	25,88	20,00	77,278	0,35
Yumurta Tavuğu	0,13	25,00	18,75	75,00	0,35
Hindi	0,38	25,53	19,36	75,83	0,35
Ördek ve Kaz	0,33	28,18	17,27	61,28	0,35

**Kaynak:** (Ekinci vd., 2010; Yağlı ve Koç, 2019)

**Tablo 2:** Eskişehir İli 2010-2019 Yılları Arası Hayvan Varlığı.  
**Table 2:** Eskişehir Province Between 2010-2019 Animal Existence.

	Hayvan Türleri										
	Kültür ve Melez Süt Sığırları (Yetişkin)	Kültür ve Melez Et Sığırları (Yetişkin)	Yerli Sığır	Buzağı (Genç yavru)	Koyun	Keçi	At, Katır, Eşek	Et Tavuğu	Yumurta Tavuğu	Hindi	Ördek ve Kaz
2010	56.957	12.830	8.814	29.572	432.271	64.330	6.848	2.345.310	1.009.915	81.011	11.662
2011	62.259	16.639	8.084	30.036	496.302	85.299	5.867	4.249.947	1.027.153	100.249	13.656
2012	64.624	14.508	9.685	30.064	519.635	84.328	6.290	4.250.985	1.266.037	91.117	13.774
2013	68.173	14.099	9.921	30.468	584.795	90.521	5.915	3.222.635	1.179.168	60.593	15.362
2014	66.552	13.047	17.766	29.413	601.774	102.344	6.328	3.479.985	1.184.656	59.074	14.590
2015	67.135	14.092	17.332	29.907	693.412	144.980	5.843	3.124.100	1.136.324	58.700	14.799
2016	70.559	15.047	15.159	30.725	651.410	113.604	6.325	2.662.000	1.655.588	55.893	17.488
2017	73.735	17.359	11.614	34.071	644.275	89.463	5.923	2.814.001	1.658.746	56.056	18.845
2018	83.902	21.542	11.311	38.498	705.624	95.108	5.862	2.447.500	1.565.271	37.147	19.409
2019	88.249	22.397	12.040	40.169	926.814	107.545	5.804	2.651.363	1.598.471	16.784	19.450

**Kaynak:** (TÜİK, 2020)

sayısı toplam büyükbaş hayvan sayısının binde 3'ü kadar olduğu için **Tablo 2**'de yerli sığır ırkı içine dahil edilmiştir.

2019 yılında küçükbaş hayvan sayısı toplamı 1.034.359'dur. Küçükbaş hayvanların yaklaşık % 90'ını koyun oluşturmaktadır. Keçi türünün koyuna oranı 2019'da % 11,6 olmasına karşın son on yılda ortalama % 15 olmuş ve son üç yılda keçi türü azalarak koyun miktarı fazlalaşmıştır.

**Tablo 2** incelendiğinde 2010 yılında 2.345.310 olan et tavuğu 2011 yılında % 55 oranında artış göstererek 4.249.947 olmuştur. 2013 yılında itibaren her yıl azalarak 2019 yılında 2.651.363 seviyesine gerilemiştir. Yumurta tavuğu ise 2010-2015 yılları arasında ortalama 1.100.000 civarı varlık göstermiştir. 2016 yılında ise neredeyse % 70 oranında artış göstererek 1.655.588 olmuştur. 2019 yılında yumurta tavuğu miktarı tekrar azalarak 1.598.471'e gerilemiştir. Ancak tavuk varlığı, kendi türü içindeki

ırk sayıları değişim gösterse de her yıl ortalama toplam tavuk varlığı 4,5 milyon civarı olmuştur. Hindi türü sayısı, 2011 yılında 100 bin civarına ulaşmış ancak 2012'den itibaren her yıl azalarak 2019'da 16.784 seviyesine gerilemiştir. Ördek ve kaz türü ise 2011'de 11.662 iken 2019'da 19.450 sayısına ulaşarak 10 yılda neredeyse % 100'lük bir artış göstermiştir.

Son on yıllık hayvan verilerini incelediğimizde, her yıl toplam hayvan varlığı genel olarak artış göstermiştir. Bu veriler, biyogaz üretiminde ihtiyaç duyulan hayvansal atığın, önümüzdeki yıllarda da miktarı artarak karşılanabileceğini ve biyogaz üretiminin hayvansal atıklar ile sürdürülebilir olduğunu göstermektedir.

#### 4.1. Eskişehir İlinin Biyogaz Potansiyeli

Hayvanların ürettiği potansiyel gübre ile toplanabilme imkânıyla elde edilen gübre farklıdır. Örnek ile açıklamak

**Tablo 3:** Biyogaz Miktarının Hesaplanabilmesinde Kabul Edilen Değerler.

**Table 3:** Accepted Values in Calculation of Biogas Amount.

Hayvan Türü	Hayvan Başına Ortalama Günlük Gübre Üretimi (M <sub>VG</sub> )	Toplanabilir Faydalı Gübre Oranı (T)	Yaş Gübredeki Katı Madde Oranı (KM)	Katı Maddede İçerisindeki Uçucu Katı Madde Oranı (UKM)	Metan Üretimi (MO)
	kg/gün-hayvan	%	%	%	m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kg-UKM
Kültür ve Melez Süt Sığırları (Yetişkin)	43,00	100	17,27	83,36	0,18
Kültür ve Melez Et Sığırları (Yetişkin)	29,00	100	12,41	84,65	0,33
Yerli Sığır	29,00	50	17,27	83,36	0,33
Buzağı (Genç yavru)	2,48	100	3,71	44,23	0,33
Koyun	2,40	13	23,00	83,63	0,30
Keçi	2,05	13	23,17	73,06	0,30
At, Katır, Eşek	20,40	29	19,61	66,67	0,30
Et Tavuğu	0,19	66	20,00	77,278	0,35
Yumurta Tavuğu	0,13	99	18,75	75,00	0,35
Hindi	0,38	68	19,36	75,83	0,35
Ördek ve Kaz	0,33	68	17,27	61,28	0,35

**Kaynak:** (Yağlı ve Koç, 2019)

gerekirse; büyük ölçekli hayvan yetiştiricileri kırsal kesimlerdeki çiftçilere kıyasla daha büyük çiftliklere sahiptir ve hayvanlar çayır, mera gibi otlak alanlara çıkarılmadan beslenmektedir. Kırsal kesimdeki hayvan sahipleri ise genellikle küçükbaş hayvanlar olmak üzere sahip oldukları hayvanları mera ve çayır gibi alanlarda besler ve bu alanlardaki gübreler toplanamaz. Ancak mera ve çayır gibi otlak alanlar yılın her ayı kullanılmaz. Kısaca hayvanların kapalı alanda ne kadar tutuldukları ve ürettikleri gübrenin ne kadarının toplanabildiği önemli bir faktördür (Ekinci vd., 2010).

**Tablo 3**'de hayvanların türüne bağlı olarak ve kapalı ortamda kalma süreleri dikkate alınarak biyogaz miktarının hesaplanabilmesi için kabul edilen değerler gösterilmiştir.

Hayvansal atıkların tamamen toplanabilmesi mümkün olmamakla birlikte, metan cinsinden biyogaz potansiyelini ve metan enerji miktarının daha detaylı veriler ile hesaplamak gerekmektedir. Çalışmanın bu kısmında; Eskişehir'in 2019 yılı hayvan başına toplanabilir ortalama gübre miktarı, Katı Madde Miktarı (KM), Gübre İçerisindeki KM Oranı, Uçucu Katı Madde Miktarı (UKM) ve Gübre İçerisindeki UKM Oranı verileri kullanılarak metan enerji miktarı hesaplanmıştır.

**Tablo 4** Eskişehir ilinin 2019 yılı hayvan varlığı ile üretebileceği metan gazını Tablo 3.'deki değerler ile hesaplanan miktarını göstermektedir. Kültür ve melez ırkı sığırlar ile buzağılar besihanelerde tutuldukları için ürettikleri gübre toplanabilirliği % 100, yerli sığırlar % 50, koyun ve keçi % 13'tür. Yerli sığırlar ile koyun ve keçiler mera ve otlak alanlarda beslendikleri için ürettikleri gübre otlatıldıkları arazide kalmaktadır. Üretilen gübrenin toplanabilirliği; tek tırnaklı hayvanlarda % 29, et tavuğunda % 66, yumurta tavuğunda % 99,

hindide % 38, kaz ve ördekte ise % 33'tür. Bu nedenle, 2019 yılı hayvan varlığının üretebileceği toplanabilir gübre miktarı 2.986.266 ton/yıl iken; toplanabilir gübre yani biyogaza çevrilebilir gübre miktarı ise 2.050.383 ton/yıl'dır. Toplanabilir toplam gübre içerisindeki, toplam katı madde miktarı (KM) 361.205 ton/yıl'dır. Toplam katı madde içerisindeki toplam uçucu madde miktarı (UKM) ise 292.870 ton/yıl'dır. Toplam gübre içerisindeki katı madde (KM) oranı içerisindeki en büyük pay % 66 ile Kültür/Melez süt sığırı türüne aittir. Toplam gübre içerisindeki katı madde (KM) oranı içindeki uçucu madde (UKM) oranı da % 68,1 ile Kültür/Melez süt sığırı türüne aittir. **Tablo 4**'deki değerler ile Eskişehir'in 2019 yılı hayvansal atık varlığı ile elde edebileceği, metan üretim miktarı ( $m^3\text{-CH}_4/\text{yıl}$ ), üretilen metanın enerji değeri (GJ/yıl), üretilen metan enerjisinin ton eşdeğer petrol karşılığı (TEP/yıl) ve elektrik enerjisi karşılığı (MWhe/yıl) hesaplanmış ve **Tablo 5**'de gösterilmiştir.

**Tablo 5**'de üretilen metan gazı miktarı **Tablo 3**'deki metan üretimi (MO) değeri ile hesaplanmıştır. MO 1 kg UKM'den üretilen metan miktarıdır. Üretilen biyogazın metan içeriği % 60 olması durumunda enerji değeri  $22,7 \text{ MJ/Nm}^3$  ve bununla birlikte metan gazının değeri ise  $36 \text{ MJ/Nm}^3$ 'dür (Yağlı ve Koç, 2019: 43). Buna göre üretilen metan miktarının 36 ile çarpılması ile üretilen metan gazının enerji değeri hesaplanmıştır. Hesaplanan metan enerjisi TEP çevrilmiştir.  $1 \text{ TEP} = 41,868 \text{ GJ}$ 'dür (Küçükaya, 2019). Metan gazının kWh enerji değeri 10 kWh, elektriksel verimi ise % 35 alınarak elektrik enerjisi karşılığı hesaplanmıştır.

Eskişehir ilinin, 2019 yılı toplam hayvan varlığından elde edebileceği toplam metan gazı miktarı  $66.620.541,32 \text{ m}^3$ 'tür. Kültür ve melez süt sığırının metan gazı üretim miktarı  $35.891.669,62 \text{ m}^3$  ile toplam metan gazı üretimindeki payı %

**Tablo 4:** Eskişehir İli 2019 Yılı Hayvan Türüne Göre Toplanabilir Gübre, KM Miktarı ve UKM Miktarı.

**Table 4:** Eskişehir Province 2019 Fertilizer, KM Amount and UKM Amount According to Animal Type.

Hayvan Türü	2019 Yılı Hayvan	Toplanabilir Faydalı	Katı Madde	Gübre İçerisindeki	Uçucu Katı Madde	Gübre İçerisindeki
	Sayısı	Gübre Miktarı	Miktarı (KM)	KM Oranı	Miktarı (UKM)	UKM Oranı
	baş	ton/yıl	ton/yıl	%	ton/yıl	%
Kültür ve Melez Süt Sığırı (Yetişkin)	88.249	1.385.068	239.201	66,2	199.398	68,1
Kültür ve Melez Et Sığırı (Yetişkin)	22.397	237.072	29.421	8,1	24.905	8,5
Yerli Sığır	12.040	63.722	11.005	3,0	9.174	3,1
Buzağı (Genç yavru)	40.169	36.361	13.490	3,7	5.967	2,0
Koyun	926.814	105.546	24.275	6,7	20.302	6,9
Keçi	107.545	10.461	2.424	0,7	1.771	0,6
At, Katır, Eşek	5.804	12.533	2.458	0,7	1.639	0,6
Et Tavuğu	2.651.363	121.356	24.271	6,7	18.756	6,4
Yumurta Tavuğu	1.598.471	75.089	14.079	3,9	10.559	3,6
Hindi	16.784	1.583	306	0,1	232	0,1
Ördek ve Kaz	19.450	1.593	275	0,1	169	0,1
<b>Toplam</b>	<b>5.489.086</b>	<b>2.050.383</b>	<b>361,205</b>	<b>100,0</b>	<b>292.870</b>	<b>100,0</b>



**Tablo 5:** 2019 Yılı Eskişehir Hayvansal Atık Varlığı İle Üretebileceği Metan, Enerji, TEP ve Elektrik Miktarı.**Table 5:** The Amount of Methane, Energy, TEP, and Electricity that can be Produced by Eskişehir Animal Waste Existence in 2019.

Hayvan Türü	2019 Yılı	Metan Üretimi	Enerji Değeri	TEP Enerji Karşılığı	Elektrik Enerjisi Karşılığı
	Hayvan Sayısı				
	baş	M <sup>3</sup> -CH <sub>4</sub> /yıl	GJ/yıl	TEP/yıl	MWhe/yıl
Kültür ve Melez Süt Sığırdı (Yetişkin)	88.249	35.891.669,62	1.292.100,11	30.861,28	125.620,84
Kültür ve Melez Et Sığırdı (Yetişkin)	22.397	8.218.515,83	295.866,57	7.066,65	28.764,81
Yerli Sığırdı	12.040	3.027.271,25	108.981,77	2.602,98	10.595,45
Buzağı (Genç yavru)	40.169	1.968.975,69	70.883,12	1.693,01	6.891,41
Koyun	926.814	6.090.475,93	219.257,13	5.236,87	21.316,67
Keçi	107.545	531.260,17	19.125,37	456,80	1.859,41
At, Katır, Eşek	5.804	491.561,36	17.696,21	422,67	1.720,46
Et Tavuğu	2.651.363	6.564.679,17	236.328,45	5.644,61	22.976,38
Yumurta Tavuğu	1.598.471	3.695.785,46	133.048,28	3.177,80	12.935,25
Hindi	16.784	81.338,34	2.928,18	69,94	284,68
Ördek ve Kaz	19.450	59.008,48	2.124,31	50,74	206,53
<b>Toplam</b>	<b>5.489.086</b>	<b>66.620.541,32</b>	<b>2.398.339,49</b>	<b>57.283,35</b>	<b>233.171,89</b>

53,87 olmuştur. Kültür ve melez et sığırdı % 12,34, et tavuğu % 9,85, koyun % 9,14, yumurta tavuğu % 5,55, yerli sığırdı ise % 4,54 olmuştur.

Metan gazının ortalama elektrik verimi % 35 olan bir içten yanmalı motor ile elde edebileceği elektrik enerjisi miktarı ise 233.171,89 MWhe olarak elde edilir. Ayrıca üretilen toplam metan gazı 57.283,35 TEP karşılığıdır.

**Tablo 6** incelendiğinde Eskişehir'in son on yıl içerisinde sahip olduğu toplam hayvansal atıktan elde edebileceği metan gazı miktarı 553.794.525,82 m<sup>3</sup>-CH<sub>4</sub> olarak görülmektedir. Elde edilen metan gazının enerji değeri 19.936.602,92 GJ/yıl, ham petrol karşılığı 476.177,57 TEP/yıl ve elektrik enerjisi karşılığı ise 1.938.280,83 MWhe/yıl'dır.

Toplam hayvan sayıları 2011 ve 2012 yıllarında en yüksek miktarda olmasına rağmen üretilen metan gazı miktarı 2013 yılı hariç her yıl belli oranda artmıştır. 2013'den itibaren toplam

hayvan varlığı yaklaşık aynı düzeyde olmasına rağmen her yıl metan gazı üretiminin artması kültür ve melez ırkı sığırdıların her yıl artış göstermesinden kaynaklanmaktadır. Metan gazı üretiminin en büyük katkı payı özellikle kültür ve melez ırkları olmak üzere büyük baş hayvanlardır.

#### 4.2. Eskişehir İlinde Üretilen Biyogazın Elektrik Tüketimine Oranı

Eskişehir'in elektrik dağıtım ve iletimini yapan Zorlu Enerji Osmangazi Elektrik Perakende Satış A.Ş. (OEDAŞ)'dan alınan bilgilere göre, Eskişehir 2019 yılı elektrik tüketimi; aydınlatma, mesken, sanayi, tarımsal sulama ve ticarethane abone grupları olarak toplam 3.009.193 MWh'tir. **Tablo 7**'de Eskişehir'in 2019 yılı elektrik tüketim değerleri verilmiştir.

**Tablo 8**'de Eskişehir'in 2019 yılında hayvansal atık ile üretebilme potansiyeli olan 233.172 MWhe/yıl enerjisinin 2019 yılı elektrik tüketimine oranları verilmiştir.

**Tablo 6:** Eskişehir İlinin Son On Yıl Hayvansal Atık İle Üretebileceği Metan, Enerji, TEP ve Elektrik Miktarı.**Table 6:** Amount of Methane, Energy, TEP and Electricity That Eskişehir Province can Generate with Animal Waste in the last decade.

Yıllar	Hayvan Sayısı	Metan Üretimi	Enerji Değeri	TEP Enerji Karşılığı	Elektrik Enerjisi Karşılığı
	baş	M <sup>3</sup> -CH <sub>4</sub> /yıl	GJ/yıl	TEP/yıl	MWhe/yıl
2010	4.059.520	43.846.816,77	1.578.485,40	37.701,48	153.463,86
2011	6.095.491	52.536.309,56	1.891.307,14	45.173,10	183.877,08
2012	6.351.047	53.815.481,21	1.937.357,32	46.272,98	188.354,18
2013	5.281.650	52.724.865,34	1.898.095,15	45.335,22	184.537,03
2014	5.575.529	54.445.485,03	1.960.037,46	46.814,69	190.559,20
2015	5.276.624	54.610.599,17	1.965.981,57	46.956,66	191.137,10
2016	5.293.798	55.656.336,59	2.003.628,12	47.855,84	194.797,18
2017	5.424.088	57.257.472,85	2.061.269,02	49.232,56	200.401,15
2018	5.031.174	62.280.617,98	2.242.102,25	53.551,69	217.982,16
2019	5.489.086	66.620.541,32	2.398.339,49	57.283,35	233.171,89
<b>Toplam</b>	<b>53.878.007</b>	<b>553.794.525,82</b>	<b>19.936.602,92</b>	<b>476.177,57</b>	<b>1.938.280,83</b>

**Tablo 7:** Eskişehir İlinin 2019 Yılı Elektrik Tüketim Miktarı.  
**Table 7:** Electricity Consumption Amount of Eskişehir Province in 2019.

Aylar	Aydınlatma MWh	Mesken MWh	Sanayi MWh	Tarımsal Sulama MWh	Ticarethane MWh	Toplam MWh
Ocak 19	6.010	57.671	127.518	796	62.628	<b>254.623</b>
Şubat 19	4.611	55.411	120.454	659	58.360	<b>239.495</b>
Mart 19	4.615	50.271	134.017	1.632	59.216	<b>249.751</b>
Nisan 19	4.108	50.924	130.671	11.534	52.253	<b>249.490</b>
Mayıs 19	3.478	46.101	131.572	22.769	51.184	<b>255.104</b>
Haziran 19	3.308	44.326	115.319	21.859	46.829	<b>231.641</b>
Temmuz 19	2.781	41.150	138.810	39.263	49.187	<b>271.191</b>
Ağustos 19	4.325	44.909	123.418	49.205	50.656	<b>272.513</b>
Eylül 19	3.841	44.741	135.055	33.122	49.263	<b>266.022</b>
Ekim 19	4.177	42.429	137.578	22.792	46.224	<b>253.200</b>
Kasım 19	4.499	48.514	129.544	3.528	47.218	<b>233.303</b>
Aralık 19	5.110	50.003	124.189	3.305	50.253	<b>232.860</b>
Yıllık Toplam	<b>50.863</b>	<b>576.450</b>	<b>1.548.145</b>	<b>210.464</b>	<b>623.271</b>	
<b>Genel Toplam</b>						<b>3.009.193</b>

**Tablo 8:** Üretilebilecek Elektrik Enerjisinin Tüketime Katkısı.  
**Table 8:** Contribution of the Electric Energy that can be produced to the Consumption.

Aylar	OEDAŞ Tüketim MWh	Biyogaz İle Üretilen MWhe	Oran %
Aydınlatma	50.863		458,43
Mesken	576.450		40,45
Sanayi	1.548.145	233.172	15,06
Tarımsal Sulama	210.464		110,79
Ticarethane	623.271		37,41
<b>TOPLAM</b>	<b>3.009.193</b>	<b>233.172</b>	<b>7,75</b>

Eskişehir ilinin 2019 yılı hayvansal atık ile üretilen elektrik enerjisi, 2019 yılı toplam elektrik tüketiminin % 7,75'ini, aydınlatma tüketiminin % 458,43 ile yaklaşık 4,5 katını, mesken tüketiminin % 40,45'ini, sanayi tüketiminin % 15,06'sını ve ticarethane abonelerinin % 37,41'ini karşılayabilmektedir.

#### 4.3. Biyogaz ile Üretilen Elektrik Enerjisinin CO<sub>2</sub> Salınımına Etkisi

Elektrik enerjisi üretimi için yararlanılan enerji kaynaklarından atmosfere CO<sub>2</sub> salınımı oluşmaktadır. Elektrik üretimi kaynağına göre CO<sub>2</sub> salınım miktarı farklılık göstermektedir. **Tablo 9**'da enerji kaynaklarına göre CO<sub>2</sub> salınım değerleri verilmiştir.

**Tablo 9**'da biyokütle enerjisi, hidroelektrik ile birlikte en az CO<sub>2</sub> salınım değerine sahip üçüncü enerji kaynağı olduğu görülmektedir. Bu tabloya göre 2019 yılında Eskişehir ili hayvansal atıklardan üretilen biyogaz kaynaklı 233.172 MWhe/yıl elektrik ile; linyite göre 239.701 ton/CO<sub>2</sub>, ithal ve taş kömüre göre 200.995 ton/CO<sub>2</sub>, fuel-oil'e göre 164.853 ton/CO<sub>2</sub>, doğalgaza göre 110.291 ton/CO<sub>2</sub>, nükleer enerjiye göre 9.327 ton/CO<sub>2</sub> ve jeotermal enerjiye göre 2.799 ton/CO<sub>2</sub> salınımı önlemiş olacaktır.

**Tablo 9:** Enerji Kaynaklarına Göre Karbon Emisyon Değerleri  
**Table 9:** Carbon Emission Values by Energy Sources.

Kaynak Türü	Min.-Max. Sera Gazı Emisyonu (ton-CO <sub>2</sub> /GWh)	Ortalama Sera Gazı Emisyonu (ton-CO <sub>2</sub> /GWh)
Linyit	790-1.372	1.054
Taş Kömür	756-1.310	888
Fuel-oil	547-935	733
Doğalgaz	362-981	499
Nükleer	2-130	66
Jeotermal		38
Biyokütle	10-101	26
Hidroelektrik	2-237	26
Güneş	13-731	23
Rüzgâr	6-124	10

**Kaynak:** (Enerji Atlası, 2021)

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Küresel ısınma ve iklim değişikliğinin daha iyi hissedilir olduğu günümüzde yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi daha çok anlaşılmıştır. Ayrıca sürekli artan enerji ihtiyacının karşılanabilmesi, enerji arz ve güvenliğinin sağlanabilmesi için yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesi artık zorunluluk haline gelmiştir.

Eskişehir ilinin hayvansal atık potansiyeli incelenmiş ve bu atıklardan üretilebilecek enerji miktarları hesaplanmıştır.

Hayvan varlığının üretebilir atık miktarı; 1.785.944 ton/yıl büyükbaş, 892.359 ton/yıl küçükbaş, 264.754 ton/ yıl kanatlı hayvan ve 43.216 ton/yıl ise tek tırnaklı hayvan olmak üzere toplam 2.986.266 ton/yıl'dır. Ancak bu hayvan atığı olan gübrenin tamamını toplamak mümkün değildir. Küçükbaş hayvanlar başta olmak üzere tek tırnaklı hayvan ve yumurta tavuğu hariç diğer kanatlı hayvan gübrelerinin büyük kısmı otlatıldıkları arazilerde kalmaktadır. Toplanabilir toplam gübre miktarı ise 2.050.383 ton/yıl'dır.

Toplam 2.050.383 ton/yıl hayvan atığından, 66.620.541,32 m<sup>3</sup>-CH<sub>4</sub>/yıl metan gazı üretilebileceği saptanmıştır. Bu üretilebilecek metan kazının enerji değerinin 2.398.339,49 GJ/ yıl, bu enerjinin ham petrol karşılığının ise 57.283,89 TEP olduğu ve üretilebilecek metan gazı ile 233.171,89 MWhe elektrik enerjisinin (%35 verim ile) üretilebileceği hesaplanmıştır. Bu miktar Eskişehir'in yıllık toplam elektrik tüketiminin yaklaşık % 8'ini karşılayabilmektedir. Üretilebilecek metan gazından elektrik üretilmesi ile diğer enerji kaynaklarına göre en az 2.799 ton/CO<sub>2</sub>'den 239.701 ton/CO<sub>2</sub>'a kadar karbondioksit salınımının önlenilebileceği hesaplanmıştır.

Eskişehir'in son on yıllık hayvansal atık varlığının incelenmesinde toplam 553.794.524,82 m<sup>3</sup>-CH<sub>4</sub> üretilebileceği, bu miktarın 476.177,57 TEP ham petrole eş değer olduğu ve 1.938.280,83 MWhe elektrik enerjisinin üretilebileceği hesaplanmıştır. Üretilebilecek elektrik ile diğer enerji kaynaklarına göre 73.655 ton/CO<sub>2</sub>'den 2.042.948 ton/CO<sub>2</sub>'e kadar karbondioksit salınımının önlenilebileceği hesaplanmıştır.

Eskişehir'in hayvansal atık potansiyelinin değerlendirilmesi hem ile hem de ülkemize hatırı sayılır ekonomik katkısının olacağı görülmüştür. Ayrıca atmosfere salınan karbondioksit miktarının azaltılmasındaki fayda da ciddi boyuttadır.

Eskişehir'in son on yıllık hayvan varlığı incelendiğinde büyükbaş hayvan sayısının ortalama % 50, küçükbaş hayvan sayısının ortalama % 90 ve kanatlı hayvan sayısının ise ortalama % 35 oranında arttığı görülmüştür. Bu oranlar bize hayvan varlığının genel olarak arttığını göstermektedir. Hayvan artışının ise biyogaz üretimi için sürekli ve artarak atık sağlayabileceğini göstermektedir.

Eskişehir'in son on yıllık hayvan miktarı verileri dikkate alındığında ve hayvancılık gelişimi aynı şekilde korunduğunda önümüzdeki on yılda da hayvan varlığında artış olacağı

öngörülmektedir. Öngörülen hayvan artışı aynı zamanda hayvansal atık miktarının artarak devam edeceğinin öngörüsüdür. Bu öngörüler ışığında da Eskişehir de hayvansal atıklardan üretilebilecek biyogaz enerjisinin sürdürülebilir bir enerji kaynağı olacağını anlaşılmaktadır.

Üretilen biyogazından elektrik enerjisi üretilmesi, biyogazdan % 35-% 40 oranında yararlanılmasını sağlar. Biyogazın sadece elektrik enerjisi üretilmesinde kullanılması enerji verimliliği bakımından uygun değildir. Biyogazın kojenerasyon veya trijenerasyon santrallerinde kullanılması, sağlanacak faydayı % 90 seviyelerine çıkarır. Bu santrallerde aynı anda elektrik, ısıtma ve soğutma enerjileri üretildiğinden 1 birim biyogaz enerjisinden 3 birim enerji elde ederek enerji verimliliği maksimum oranda sağlanmış olur.

Biyogaz tesislerinin kurulması sosyo-ekonomik açıdan da fayda sağlamaktadır. Biyogaz tesislerinde sağlanacak istihdamın yanında çiftliklerden getirilecek atıklar için işçi, nakliye gibi hizmetlerin karşılanması iş ve kazanç imkanları sunacaktır.

Biyogaz tesislerinin varlığı, çevre temizliğine ve sağlığımıza da faydaları vardır. Hayvan barınaklarının, hayvanat bahçesinin, hayvan hastanelerinin ve diğer hayvansal atık üreten tesislerin atıkları, biyogaz tesislerinde toplanarak bertaraf edilir. Bu atıklar biyogaz üretimi için önemli hammadde ihtiyacı olmasa da bahse konu atıkların çevre kirliliğine neden olmaları önlenerek sosyal ve çevre sorumluluk görevi yerine getirilmiş olur.

Biyogaz üretimi sonrası oluşan atık, kötü kokusunu yitirmiş daha verimli hale gelmiş sıvı gübre olarak tarımsal alanda kullanılır. Tesisten atık olarak çıkan gübrenin tarımsal alanlarda kullanılması verimli ve sağlıklı tarımcılığın yapılmasının yanında kimyasal gübrenin kullanımını azaltarak gübreleme maliyetinin düşmesini sağlar.

**Hakem Değerlendirmesi:** Dış bağımsız.

**Çıkar Çatışması:** Yazarlar çıkar çatışması bildirmemiştir.

**Finansal Destek:** Yazarlar bu çalışma için finansal destek almadığını beyan etmiştir.

**Peer-review:** Externally peer-reviewed.

**Conflict of Interest:** The authors have no conflict of interest to declare.

**Grant Support:** The authors declared that this study has received no financial support.

## KAYNAKÇA/REFERENCES

Adams, S., Klobodu, E. K. M., & Apio, A. (2018). Renewable and non-renewable energy, regime type and economic growth. *Renewable Energy*, 125(C), 755–767.

- Akova, İ. (2016). *Enerji Kullanımındaki Değişimler*. Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.
- Çanka Kılıç, F. (2011). Biyogaz, Önemi, Genel Durumu ve Türkiye’deki Yeri. *Mühendis ve Makina*, 52(617), 94–106.
- Ekinci, K., Kulcu, R., Kaya, D., Yıldız, O., Ertekin, C., & Öztürk, H. H. (2010). The prospective of potential biogas plants that can utilize animal manure in Turkey. *Energy Exploration & Exploitation*, 28(3), 187–206.
- Enerji Atlası (2021). Elektrik Üretiminde Karbon Salınımı. [Erişim: 08.01.2021, <https://www.enerjiatlası.com/haber/elektrik-uretiminde-karbon-salinimi>]
- Güler, E., Kandemir, S. Y. ve Açikkalp, E. (2020). Türkiye’deki Enerji Dağıtım Şirketlerinin Etkinliklerinin Veri Zarflama Analizi ile Değerlendirilmesi. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7(1), 66–79.
- Gülşen, H. E., Türkay, G. K., Akarsu, C., Kumbur, H. ve Dizge, N. (2019). Çeşitli Atıklardan Biyogaz Üretimini Sürdürülebilir Çevre Yönetimine Etkisi. *Çevre Bilim ve Teknoloji Teknik Dergi*, 3(2), 1–15.
- İlgar, R. (2016). Hayvan Varlığına Göre Çanakkale Biyogaz Potansiyelinin Tespine Yönelik Bir Çalışma-A Study For Determination of Biogas Potential in Çanakkale, Assets By Animals. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 21(35), 89–106.
- İlkılıç, C. ve Deviren, H. (2011). Biyogazın Üretimi ve Üretimi Etkileyen Faktörler. *6<sup>th</sup> International Advanced Technologies Symposium (IATS’11)*, 16-18 Mayıs, Elazığ, 144–149.
- Kapluhan, E. (2014). Enerji Coğrafyası Açısından Bir İnceleme: Biyokütle Enerjisinin Dünyadaki ve Türkiye’deki Kullanım Durumu. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 30, 97–125.
- Küçükkaya, E. (2019). Enerji Birimleri Nelerdir?, Enerjiportali. [Erişim: 03.01.2021, Enerji Birimleri Nelerdir? | Enerji Portalı (enerjiportali.com)]
- Külekçi, Ö. C. (2009). Yenilenebilir enerji kaynakları arasında jeotermal enerjinin yeri ve Türkiye açısından önemi. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 1(2), 83–91.
- Martins, F., Felgueiras, C., Smitkova, M., & Caetano, N. (2019). Analysis of fossil fuel energy consumption and environmental impacts in European countries. *Energies*, 12(6), 964.
- Özbaşer, F. T. ve Erdem, E. (2013) Biyogaz Üretimi ve Kullanımı. *Lalahan Hayvancılık Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 53(2), 115–124.
- Alpaslan Takan, M. ve Yerel Kandemir, S. (2020). Türkiye’deki Jeotermal Enerjinin Birincil Enerji Arzı Yönünden Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, Özel sayı*, 381–385.
- Tilki, F. ve Çiçek, E. (2003). Biyokütle Enerjisi ve Enerji Ormanlığı. *Kafkas Üniversitesi Artvin Orman Fakültesi Dergisi*, 1-2(33-40).
- TÜİK (2020). Gösterge Uygulaması. [Erişim: 29.12.2020, <https://biruni.tuik.gov.tr/ilgosterge/?locale=tr>]
- Yağlı, H. ve Koç, Y. (2019). Hayvan Gübresinden Biyogaz Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi: Adana İli Örnek Hesaplama. *Çukurova Mühendislik Mimarlık Dergisi*, 34(3), 35–48.
- Yenilmez, F. (2015). Tavukçuluk Atıklarından Biyogaz Üretimi. *Fırat Üniversitesi Sağlık Bilimleri Veteriner Dergisi*, 29(3), 205–212.
- Yılmaz, A., Ünvar, S., Koca, T. ve Koçer, A. (2017). Türkiye’de Biyogaz Üretimi ve Biyogaz Üretimi İstatistik Bilgileri. *Technological Applied Sciences*, 12(4), 218–232.