



HAYVAN GÜBRESİNDEN BİYOGAZ ÜRETİM POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ: ANKARA, GAZİANTEP, KARS*

Utku CANCI MATUR^{1**}, Aytaç ATASAYIN²

¹ İstanbul Gedik Üniversitesi, Gedik MYO, Mekatronik Programı, İstanbul,
ORCID No : <http://orcid.org/0000-0001-6342-5645>

² İstanbul Gedik Üniversitesi, Makine Mühendisliği, İstanbul,
ORCID No : <http://orcid.org/0009-0007-5641-2644>

Anahtar Kelimeler

Öz

*Biyogaz, enerji,
biyokütle, yenilenebilir
enerji, elektrik*

Gelişen teknoloji ve artan nüfusa paralel olarak enerji talebi gün geçtikçe hızla artış göstermiştir. Enerji talebinin artışı bu alanda yapılan çalışmalara hız kazandırmıştır. Halihazırda emre amade kullanılan konvansiyonel enerji kaynakları tükenebilme riski ve olumsuz çevre etkileri nedeniyle kullanımına sınır getirilmek istenen enerji kaynakları durumuna gelmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları bu anlamda konvansiyonel enerji kaynaklarına alternatif oluşturmuşlardır. Tükenme riski olmayan çevre dostu yenilenebilir enerji kaynakları son dönemlerde sıklıkla çalışılan konulardandır. Yenilenebilir enerji kaynağı olarak biyokütlenin kullanılması tarım ve hayvancılık alanında gelişmeye sebep olmuştur. Yapılan tarım ve hayvancılıkta atık olarak görünen ürünler değerlendirilerek, geri kazanım sağlanmış olacaktır. Hayvan dışkısı doğada kaldığı sürece açığa çıkan metan gazı sera etkisi yaratarak küresel ısınmaya neden olur. Suya karıştıktan sonra insan sağlığına zararlı hale gelir. Bu nedenle elektrik ve ısı enerjisi elde ederek geri dönüşümlü olarak bertaraf edilmesi önem arz etmektedir. Yapılan bu çalışma kapsamında ülkemizin farklı bölgelerinde bulunan Ankara, Gaziantep ve Kars illerindeki hayvan dışkısının toplanabilirliği dikkate alınarak biyogazdan elde edilebilecek potansiyel elektrik enerjisi araştırılmıştır. Bu kapsamda, Ankara ilinden 375.497,55 Mega Watt Saat Elektrik /Yıl (MWhe/yıl), Gaziantep ilinden 115.452,27 MWhe/yıl, Kars ilinden de 198.691,4 MWhe/yıl elektrik enerjisinin biyogazdan elde edilebilme potansiyeline sahip oldukları belirlenmiştir.

* Bu makale, İstanbul Gedik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Fen Bilimleri Ana Bilim Dalı, Makine Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programında hazırlanan " HAYVAN GÜBRESİNDEN BİYOGAZ ÜRETİM POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ: ANKARA, GAZİANTEP, MANİSA, MERSİN, KARS, SAKARYA, SAMSUN İLLERİ ÖZELİNDE" isimli yüksek lisans tez çalışmasından üretilmiştir.

** utku.canci@gedik.edu.tr

doi : 10.46399/muhendismakina.1330243

DETERMINATION OF BIOGAS PRODUCTION POTENTIAL FROM ANIMAL MANURE: SPECIFIC TO THE PROVINCES OF ANKARA, GAZİANTEP, KARS

Keywords

Biogas, energy, biomass, renewable energy, electric

Abstract

Developing technology and increasing population trigger the increasing of the energy demand. As a result, increase in energy demand has accelerated the studies in this field. Conventional energy sources were used currently as usual however it was desired to be limited due to the risk of depletion and negative environmental effects. Therefore, environmentally friendly and no risk of depletion renewable energy sources have created an alternative to conventional energy sources were the frequently studied topics recently. The use of biomass as a renewable energy source has led to development in agriculture and animal husbandry. Products that appear as waste in agriculture and animal husbandry will be evaluated and recycled. If animal feces remain in nature, the methane gas released creates a greenhouse effect and causes global warming. It becomes harmful to human health after mixing with water. For this reason, it is important to obtain electrical and heat energy and dispose of it recyclable. Within the scope of this study, the potential electrical energy that can be obtained from biogas was investigated, considering the collectability of animal feces in Ankara, Gaziantep and Kars provinces located in different regions of our country. In this context, it has been determined that 375,497.55 Mega Watt Hour Electricity (MWhe/year) from Ankara, 115,452.27 MWhe/year from Gaziantep, and 198,691.4 MWhe/year from Kars have the potential to obtain electrical energy from biogas.

Araştırma Makalesi

Başvuru Tarihi : 20.07.2023

Kabul Tarihi : 20.12.2023

Research Article

Submission Date : 20.07.2023

Accepted Date : 20.12.2023

Extended Abstract

Introduction

The need for energy, which could work, is increasing day by day with the increase in population and the development of technology. Among the resources used to obtain energy, there are exhaustible and clean energy sources. Solar, wind, biomass, hydraulic, geothermal are seen as clean energy sources. These energy sources are both renewable and environmentally friendly. Considering the energy supply throughout the world, it was found to be 13,961 MTEP in 2020, according to the International Energy Agency. When the sources of energy supply are examined, the energy obtained and its source are 4.114 MTEP of oil, 3.741 MTEP of coal, 3.306 MTEP of natural gas, 1.373 MTEP of biofuels and waste, 697 MTEP of nuclear, 354 MTEP of wind and solar (International Energy Agency, 2020).

Considering the proportions of gases in the biogas released from animal manure, Methane (CH₄) 40-75%, Carbon dioxide (CO₂) 15-60%, Water vapor (H₂O) 1-5%, Nitrogen (N₂) 0-5%, Oxygen (O₂) <2%, Hydrogen (H₂) <1%, Ammonia (NH₃) 0-500 ppm, Hydrogen Sulfide (H₂S) 0-5000 ppm (Bharathiraja, B., Sudharsana, T., Jayamuthunagai, J., Praveenkumar, R., Chozhavendhan, S., Iyyappan, J., 2018.)

The potential energy to be gained from the cogeneration system to be made with methane gas obtained from animal manures of Bursa province was conducted. According to this research conducted in 2015, it has been determined that there is 2,788 TJ of thermal energy and 271 GWh of electrical energy.

According to the research conducted in Çanakkale province, the potential electrical energy to be obtained from biogas was found to be 8.33 107 kWh/year. A study was conducted on animal breeds and numbers (Özpinar S., 2018).

There are carbon emission rates determined in the literature in energy production. Although this rate varies according to each country, it is accepted that 0.58 g of carbon dioxide is emitted for 1 kWh electricity production for Turkey (Yağlı H., Koç Y., 2019). When renewable energy sources are used, the amount of CO₂ released into the atmosphere is also reduced.

Material and Methods

The collectibility of animal manure is an important factor in the amount of biogas to be obtained. Calculation on the collected fertilizers will give more accurate information. In Turkey, the collectibility rate of animal manure has been accepted as 50% (Yağlı H., Koç Y., 2019).

The information necessary to find the potential amount of biogas is available. This information is the type of animal, the number of animals, the daily manure amount of the animal, the amount of wet manure according to the tests and acceptances, the amount of solid matter, the amount of volatile solids. The efficiency of the gas turbine to be used for the calculation of the electricity to be produced is also important. This rate varies between 35%-40%. In the calculations, this efficiency was accepted as 35%.

When making the calculations, the number of animal species is multiplied by the average amount of fertilizer. To find a one-year amount, it is necessary to multiply it again by 365 days. To find the amount of collectable fertilizer, the annual amount of fertilizer is multiplied

lied by the collection rate. The amount of solid matter is found by multiplying the amount of collectable manure with the solid matter ratio in the wet manure. When the volatile solids ratio is multiplied by the solids amount, volatile solids are found. The amount of methane is calculated by multiplying the amount of methane in the volatile solids with the volatile solids. The amount of methane is multiplied by the generator efficiency and the kWh value of the methane gas, which is 10kWh, to find the potential electrical energy.

Biogas Potential in Determined Provinces

When Ankara province is examined, the total number of animals is 18.437.040, the total methane amount is 107.285.013,99 m³-CH₄, the energy value is 3.862.260.50 GJ/year, the potential electrical energy is 375,497.55 MWhe/year and the potential of the facility to be established is 42 in total. It was found to be 87 MW.

When Gaziantep province is examined, the total number of animals is 7.031.749, the total amount of methane is 32.986.363.06 m³-CH₄, the energy value is 1.187.509.07 GJ/year, the potential electrical energy is 115.452.27 MWhe/year and the potential of the facility to be established is 13 in total. It was found to be 18 MW.

When Kars province is examined, the total number of animals is 2.125.962, the total methane amount is 56,768,971.15 m³-CH₄, the energy value is 2.043.682.96 GJ/year, the potential electrical energy is 198.691.40 MWhe/year and the potential of the facility to be established is 22 in total. It was found to be 68 MW.

Discussion and Conclusions

The 375,497.55 MWhe/year electrical energy to be obtained from the biogas facilities in Ankara will meet the 2.5% of the total electricity expenditure according to the 2020 data of Tedaş. Since energy will be obtained from renewable sources, a total of 217,278.57 tons of CO₂ emissions will be prevented. Due to the large amount of sheep, it will be recommended to give priority to sheep farms.

115,452.27 MWhe/year electrical energy to be obtained from biogas facilities in Gaziantep will meet 1.3% of the total electricity expenditure according to the 2020 data of Tedaş. Since energy will be obtained from renewable sources, a total of 66,962.31 tons of CO₂ emissions will be prevented. Due to the large amount of cattle, priority will be given to sheep farms.

198,691,40 MWhe/year electrical energy to be obtained from biogas facilities in Kars province will meet 62% of the total electricity expenditure according to the 2020 data of Tedaş. Since energy will be obtained from renewable sources, a total of 115,241.01 tons of CO₂ emissions will be prevented. Due to the large amount of sheep, it will be recommended to give priority to sheep farms.

1. Giriş

İş yapabilme yeteneği olan enerjiye gerek sanayide gerekse kişilerin günlük hayatlarında oldukça ihtiyaç duyulmaktadır. Nüfusun ve teknolojinin artması ile enerji ihtiyacı açığı ortaya çıkmıştır (Koç, E., Kaya, K., 2015). Bu ihtiyaç tükenebilen enerji kaynakları ya da yenilenebilir enerji kaynakları ile sağlanabilir. Temiz enerji olarak adlandırılan ve günümüzde önemini artıran güneş, jeotermal, hidrolik, rüzgâr ve biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji elde edilebilmek mümkündür (Mao C, Feng Y, Wang X, Ren G., 2015). Bu kaynaklardan elde edilen enerji hem çevreci hem de daha uzun ömürlüdür. Dünya geneline bakıldığında Uluslararası Enerji Ajansı'nın (International Energy Agency) yapmış olduğu çalışmaya göre 2020 yılında toplam 13.961 mega ton eşdeğer petrol (MTEP) enerji arzı gerçekleşmiştir. Bu enerji arzının dağılımı incelendiğinde 4.114 MTEP ile %29,5'lik paya sahip olan enerji çeşidinin petrol olduğu, %26,8'lik paya sahip olanın da kömürden 3.741 MTEP ' lik enerji elde edildiği belirlenmiştir. Doğalgazdan 3.306 MTEP, biyoyakıt ve atıklardan 1.373 MTEP, nükleerden 697 MTEP, hidrolik santrallerden 373 MTEP, rüzgar ve güneş gibi kaynaklardan 354 MTEP enerji elde edilmiştir [3]. Türkiye' de 2021 yılındaki enerji arzına bakıldığında toplamda 158,43 MTEP enerji arzı yapılmıştır. International Energy Agency'nin paylaştığı verilere dayanarak doğalgazdan enerji %31 pay ile 49,11 MTEP, %27,4 pay ile 43,47 MTEP petrolden, %25,3'lük pay ile kömürden 40,14 MTEP, %10,5'lik pay ile rüzgar, güneş ve jeotermal kaynaklarından 16,56 MTEP, %3'lük pay ile hidroelektrik santrallerden 4,78 MTEP, %2,7'lik bir pay ile de biyoyakıt ve atıklardan 4,34 MTEP enerji elde edilmiştir (International Energy Agency, 2020).

Dünya genelinde enerji eldesi tükenebilen enerji kaynaklarından sağlandığı zaman atmosferde mevcut olmayan karbon açığa çıkmaktadır. Karbon temelli olan metan ve karbondioksit gazları, sera gazı olarak adlandırılmaktadır. Bu sera gazları güneş ışınlarının dünyada kalmasını sağlayarak, küresel ısınmaya sebep olmaktadır. Özellikle metan gazı karbona göre 25 kat daha fazla etki etmektedir (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, 2010). Bu sebepten dolayı açığa çıkabilecek metan gazı bertaraf edilmesi gerekmektedir.

Alternatif enerji kaynağı olan biyokütleden, farklı yöntemler kullanılarak elektrik eldesi sağlanabilmektedir. Bu çevrim yöntemleri ile ilgili yapılan araştırmaya göre fiziksel çevrim yöntemi, biyokimyasal çevrim yöntemi, termokimyasal çevrim yöntemi, gazlaştırma ve sıvılaştırma yöntemleri gösterilmiştir (Yılmaz O., 2021).

Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan biyokütleden elde edilen enerji ile ilgili çalışma yapılmış. Çalışmaya göre elde dünya genelinde biyokütleden 59,2 Exajoule (EJ) enerji arzı tespit edilmiştir. Biyokütle çeşitlerinden biri de hayvan

gübrelerinden elde edilen biyogazdır. Hayvan gübreleri doğada kaldığı zaman çevreye metan gazı salınımı gerçekleşir. Bu yüzden bu gübrelerin bertaraf edilmesi hem çevredeki insanların sağlığı hem de atmosferdeki metan gazı miktarından dolayı önem arz etmektedir. Bu metan gazı uygun şartlarda kojenerasyon sistemler kurularak bertaraf edilmektedir. Metan gazı alınmış, gerekli işlemler yapılmış gübre, önceki durumuna göre daha verimli hale getirilebilir (Aslantaş A. , 2018)

Hayvan gübresinden elde edilen biyogazın içerisinde, hayvan türüne göre farklı oranlarda metan gazı bulunmaktadır. Tablo 1’de biyogaz içerisinde bulunan gazların hacimsel oranları verilmiştir. Tablo 1’e göre metan oranı %40 ile %75 arasında değişkenlik göstermektedir.

Tablo 1. Biyogaz İçerisindeki Gazların Oranı (Bharathiraja, B. ve diğ., 2018)

Bileşen Adı	Hacimsel Oran	Birim
Metan (CH ₄)	40-75	%
Karbon dioksit (CO ₂)	15-60	%
Su buharı (H ₂ O)	1-5	%
Azot (N ₂)	0-5	%
Oksijen (O ₂)	<2	%
Hidrojen (H ₂)	<1	%
Amonyak (NH ₂)	0-500	Ppm (Parts Per Million)
Hidrojen Sülfür (H ₂ S)	0-5000	Ppm

Hayvan gübrelerinin bakteriler aracılığı ile saldığı metan gazından elektrik enerjisi ve ısı enerjisi elde edilebilmektedir. Gübrelerin salınımı süreci, verimli gaz elde edilmesi, biyogaz tesisinin kurulumu ile ilgili Türk-Alman işbirliği ile T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü biyogaz kullanım kılavuzu çıkartmıştır (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, 2010)

Hayvan gübrelerinden elde edilen biyogaz kojenerasyon sistemlerde kullanılmaktadır. Bölgesel olarak biyogazdan elde edilebilecek potansiyel enerji araştırmaları yapılmıştır. Bursa ili özelinde 2015 yılında yapılan çalışmada e 2.788 TJ ısı enerjisi ve 271 GWhe elektrik enerjisi elde edilebileceğı gösterilmiştir (Ayhan A., 2015).

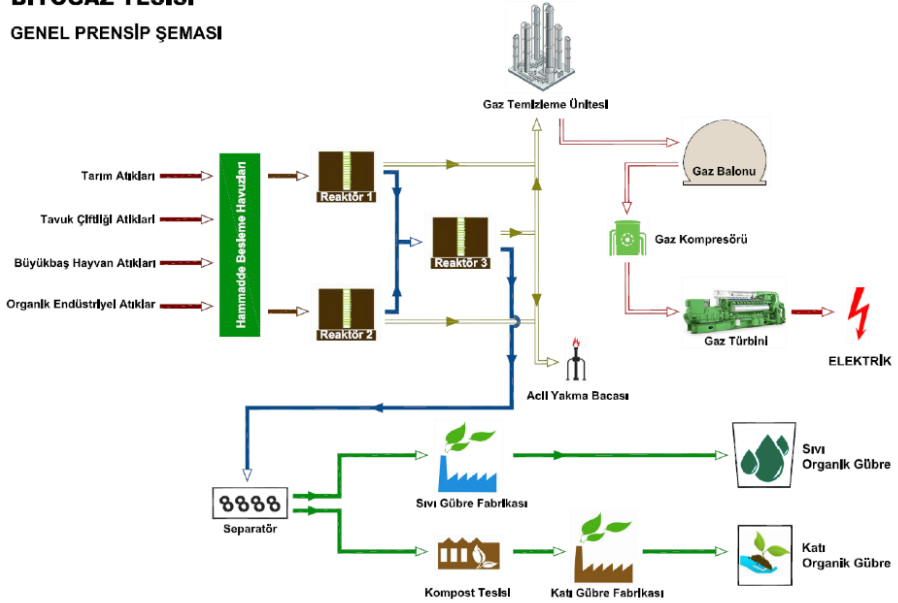
Çanakkale ili özelinde biyogazdan elde edilebilecek potansiyel enerji ile ilgili Sakine Özpnar’ in çalışmasında elektrik enerjisi potansiyeli 8.33 10⁷ kWh/yıl

olarak bulunmuştur. Buradaki hayvan cinsleri ve sayılarına göre araştırma yapılmıştır (Özpınar S., 2018).

Hayvan gübreleri belirli aşamalardan sonra metan gazı salgılamaktadır. Hayvan cinsine göre gübre miktarı, gübrenin içerisindeki bileşenlerin miktarı değişiklik göstermektedir. Metan gazı kojenerasyon sistemlerinde yakılarak elektrik eldesi sağlanır. Elektrik elde edilirken gaz türbinlerinin soğutulması amacıyla kullanılan su da ısıtılmış olmaktadır. Sıcak su hem tesis ihtiyacı hem de farklı alanlarda duyulan ısı enerjisi ihtiyacı için kullanılabilir. Şekil 1’ de de gösterildiği gibi toplanan hayvan gübreleri önce karıştırma ünitelerinden geçer, sonrasında reaktörlere iletilir, reaktörlerdeki gazlar gaz motorlarına gönderilir ve burada elektrik enerjisi üretimi sağlanır. Gazı alınmış olan gübre ise kullanılmak ya da verimi arttırmak üzere farklı bir lokasyona aktarılabilir.

BIYOGAZ TESİSİ

GENEL PRENSİP ŞEMASI



Şekil 1. Biyogaz Üretim Prosesi (<https://altacaenerji.com/biyogaz/uretim/>)

Enerji üretimi sırasında yapılan çalışmalara göre her ülkenin kendi karbon salımı mevcuttur. Türkiye’deki 1kWh’lik elektrik enerjisi için doğaya salınan CO₂ miktarı ise 0,58 kg olarak belirtilmiştir (Yağlı H., Koç Y., 2019). Yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen elektrik enerjisi sayesinde doğaya salınan CO₂ miktarının düşümü de sağlanmış olacaktır.

Bu çalışma kapsamında yapılan literatür çalışmaları doğrultusunda ülkemizin farklı bölgelerinde bulunan üç büyük il için biyokütle enerjisinden elektrik

enerji elde etme potansiyeli değerlendirilmiştir. Yapılan çalışma ile incelenen illerden Ankara'ya bakıldığında 375.497,55 MWhe/ yıl, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nden enerji eldesi potansiyeli yüksek olan Gaziantep'e bakıldığında biyogazdan 115.452,27 MWhe/ yıl ve Doğu Anadolu Bölgesi'nde bulunan Kars ili incelendiğinde 198.691,40 MWhe' lik elektrik enerjisinin biyogaz tesislerinden elde edilebileceği bulunmuştur.

2.Bilimsel Yazın Taraması

İran ülkesi için Noorollahi ve arkadaşları (2015) besi hayvanlarının gübresinden elde edilecek olan biyogaz potansiyeli çalışması yapmıştır. Yapılan çalışmaya göre en yüksek potansiyelin İran'ın Sistan-Baluchestan ve Ilham bölgelerinde olduğu tespit edilmiştir. Bu yüzden yapılacak olan biyogaz üretim tesisinin bu bölgede öncelik olması gerektiğine karar verilmiştir.

Bursa ili özelinde Ayhan A. (2015) tarafından 2008-2014 yılları arasında hayvan gübrelerinden elde edilecek biyogaz potansiyel araştırması yapılmıştır. Bu çalışmadan çıkan sonuca göre elde edilecek olan potansiyel biyogaz %100 enerjiye dönüştürülürse 2014 yılı için 2.788 TJ ısı enerjisi ve 271 GWhe elektrik enerjisi elde edileceği bulunmuştur.

Hayvan gübrelerinden faydalanılarak elde edilecek biyogaz potansiyeli Adana ili özelinde Yağlı, H. (2019) tarafından 2019 yılında çalışma yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda 88.367,417 m³ -CH₄/yıl biyogaz üretilebileceği, bu biyogaz kullanılarak senelik 309,286 MWhe elektrik üretimi yapılabileceği bulunmuştur.

Nilüfer Nacar Koçar (2006), Türkiye Hayvancılık Potansiyeli ve Biyogaz Üretimi başlıklı 2006 yılında yaptığı çalışmada, hayvan türlerine göre üretilecek olan metan gazı miktarlarını, metan üretimini etkileyen faktörleri araştırmıştır. Bu araştırma sonunda 12,5 milyon ton organik atık olduğu sonucuna varılmıştır. Sığır, koyun, keçi, tavuk ve hindi gibi hayvanların gübrelerinden elde edilecek olan toplam biyogaz potansiyelini 3.275.098.076 m³/yıl olarak bulmuştur.

Çanakkale ili özelinde Özpınar S. (2018) tarafından yapılan çalışmada toplam biyogaz potansiyelinin 1.77x10⁷ m³ olduğu bulunmuştur. Bu biyogazın enerji eşdeğeri 425,3 milyon MJ ve bunun da elektrik enerjisi karşılığı 8,33x10⁷ kWh olduğu belirtilmiştir. Afyonkarahisar için Kumaş, K., & Akyüz, A. Ö. (2023) tarafından yapılan çalışmada 208,44 Mm³ yıllık metan gazı potansiyeli ve metan gazının termal enerji karşılığının 4.503.342 GJ/yıl olarak bulunmuştur. Portekiz'deki gübrelerden elde edilebilecek olan biyogaz ve biyometan üretim potansiyeli incelemesi Fernandes, D. J., Ferreira, A. F., & Fernandes, E. C. (2023) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmaya göre en yüksek gübre potansiyelinin Portekiz'in orta ve güney bölgelerinde olduğu bulunmuştur. Bu bölgelerde kurulabilecek 743 adet tesisin olabileceği bulunmuştur. Portekiz'in toplam biyogaz potansiyeli

3.561.947,05 ton/yıl, biyometan potansiyeli 1.791.402,48 ton/yıl olarak bulunmuştur.

Singh, D., Tembhare, M., Machhirake, N., & Kumar, S. (2023) tarafından gıda atıklarından elde edilen biyogaz potansiyeli ve biyogaz eldesi için sıcaklık şartları incelenmiştir. 90 gün süren çalışmada 35°C ve 73°C arasındaki sıcaklıklarda biyogaz üretimi test edilmiştir. En yüksek verimin 45°C ile 52°C arasında olduğu tespit edilmiştir. Afotey, B., & Sarpong, G. T. (2023) tarafından Gana için biyogaz potansiyeli ve önlenen sera gazı miktarı belirlenmesi yapılmıştır. Bu çalışmada 2020 yılında 6.792×10^9 m³ biyogaz potansiyeli olduğu ve bu biyogazdan 7.12 10×10^9 kWh/yıl elektrik üretimi yapılabileceği bulunmuştur. Hindistan ülkesi için de Nehra, M., & Jain, S. (2023) yaptığı çalışmada 5464,11 milyon m³ biyogaz ve bu biyogazdan 9835,4 GWh elektrik enerjisi üretilebileceği tespit edilmiştir. Konya ili özelinde Karaca, C. (2023) tarafından yapılan çalışmada toplamda 105,67 Mm³ biyogaz potansiyeli olduğu hesaplanmıştır. Biyogazdan elde edilebilecek elektrik 266,53 GWh olarak bulunmuştur.

3. Materyal ve Yöntem

Hayvan gübrelerinin toplanması ayrı bir prosestir. Hayvan gübresinden elde edilecek enerjinin potansiyelini hesaplarken gübrelerin toplanabilir olması gerekmektedir. Türkiye geneli düşünüldüğünde toplanma oranı olarak %50 alınmıştır (Yağlı H., Koç Y., 2019).

Biyogaz potansiyeli hesaplanırken hesaplanacak bölge ile ilgili bilinmesi gereken veriler mevcuttur. Bunlar bölgedeki hayvan cinsi ve sayısı, hayvan cinsine göre günlük gübre miktarı, yapılan testlere veya kabullere göre hayvan cinsine göre gübredeki yaş gübre oranı, yaş gübredeki katı madde miktarı ve katı maddedeki uçucu katı madde miktarıdır. Biyogaz miktarını bulduktan sonra bunun gaz türbinlerinde elektriğe çevrildiğinde türbinin verimi de dikkate alınması gerekir. Bu verim türbine göre farklılık gösterirken genel olarak %35-%40 arasında değişiklik göstermektedir.

Yapılan incelemelere göre hesaplamalar için bazı kabuller yapılmıştır. Tablo 2' de hayvan türlerine göre günlük gübre miktarı, toplanabilirliği ve yaş gübredeki katı madde oranı, katı madde içerisindeki uçucu katı madde oranı, metan oranı gösterilmiştir. Hesaplamalar bu verilere dayanarak yapılmıştır (Yağlı H., Koç Y., 2019). Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Tablo 2. Hayvan Gübre Miktarı (Yağlı H., Koç Y., 2019)

Hayvan Türü	Hayvan Başına Ortalama Günlük Yaş Gübre Üretimi (kg/gün-hayvan)	Toplanabilir Faydalı Gübre Oranı (%)	Yaş Gübredeki Katı Madde Oranı (%)	Katı Madde İçerisindeki Uçucu Katı Madde Oranı (UKM) (%)	Metan Üretimi (Nm ³ CH ₄ /kg-UKM)
Kültür ve Melez Süt Sığırları (Yetişkin)	43,00	41,00	17,27	83,36	0,108
Kültür ve Melez Et Sığırları (Yetişkin)	29,00	41,00	12,41	84,65	0,22
Yerli Sığır	29,00	41,00	17,27	83,36	0,22
Genç Yavru (Buzağı)	2,48	41,00	3,71	44,23	0,22
Koyun	2,40	41,00	23,00	83,63	0,20
Keçi	2,05	41,00	23,17	73,06	0,20
At-Katır-Eşek	20,40	33,00	19,61	66,67	0,18
Et Tavuğu	0,19	99,00	20,00	77,28	0,20
Yumurta Tavuğu	0,13	99,00	18,75	75,00	0,20
Hindi	0,38	99,00	19,36	75,83	0,20
Kaz	0,33	99,00	17,27	61,28	0,20
Ördek	0,33	99,00	17,27	61,3	0,20

Gaz türbini verim oranı olarak %35 kabul edilmiştir. Bu oran ile türbine gelen gazın elektrik enerjisine çevirimi hesaplanmıştır. Hesaplamalar aşağıda yöntemler kullanılarak yapılmıştır. Eşitlik 1-7 işlemlerinde kullanılan parametrelere ait kısaltmalar ve açıklamalar Tablo 3'de verilmiştir

Tablo 3.İşlemlerde Kullanılan Parametreler ve Kısaltmalar

Hesaplanan Tanım	Kısaltması
Yıllık Toplam Hayvan Gübresi	YTHG
Hayvan Sayısı	HS
Ortalama Günlük Gübre Miktarı	OGGM
Toplanabilir Faydalı Gübre Miktarı	TFGM
Toplanabilir Faydalı Gübre Oranı	TFGO
Katı Madde Miktarı	KM
Yaş Gübredeki Katı Madde Oranı	YGKMO
Uçucu Katı Madde Miktarı	UKM
Katı Maddedeki Uçucu Katı Madde Oranı	KMUKMO
Katı Maddedeki Uçucu Katı Maddedeki Metan Oranı	MO
Metan Miktarı	MM
Metan Enerji Değeri	Q
Elektrik Enerjisi	E
Motor Verimi	η
Metan Gazının Elektrik Enerjisi Değeri	W

Hesaplamalar yapılırken öncelikle bulunması gereken değer bizim toplamdaki yaş gübre miktarımızdır. Senelik toplam gübre miktarını bulmak için hesaplanan hayvan türünün sayısı ve ortalama günlük gübre miktarı kullanılmıştır. Eşitlik 1 için yılın 365 gün olduğu bilinerek hesaplama yapılmıştır.

$$YTHG = HS \times OGGM \times 365 \quad (1)$$

Toplam gübre miktarımız bulduktan sonra bu gübrelerin toplanma durumu önem kazanmıştır. Yapılan besiciliğe göre toplanma miktarı hayvanlara göre değişkenlik göstermiş olup toplanan gübrede enerji eldesi olacağı için toplanabilir gübre miktarı Eşitlik 2’de belirtildiği şekilde hesaplanmıştır.

$$TFGM = YTHG \times TFGO \quad (2)$$

Toplanan gübrelerdeki katı madde miktarı ve bu katı maddedeki uçucu katı madde miktarı bizim için önemlidir. Toplanabilir gübre miktarı ile yaş gübre katı madde miktarı çarpımından katı madde miktarı Eşitlik 3’deki gibi hesaplanmıştır.

$$KM = TFGM \times YGKMO \quad (3)$$

Katı madde içerisindeki uçucu katı maddeyi de Eşitlik 4’den yola çıkarak bulma oranı ile hesaplayabiliriz. Biyogaz bu uçucu maddeden elde edilmiştir.

$$UKM = KM \times KMUKMO \quad (4)$$

Katı madde içerisindeki uçucu katı maddeyi bulduktan sonra metan miktarı bulunur. Her gübrenin içerisindeki metan oranı farklılık gösterebilir. Hacimsel olarak metan gazı miktarı, uçucu katı madde miktarının kg birim başına belirli bir oranı mevcuttur. (Eşitlik 5)

$$MM = UKM \times MO \quad (5)$$

Metan miktarı bulunduğundan sonra elde edilebilecek enerji miktarı bulunabilir. Biyogazın içerisindeki metan oranı %100 olduğunda metan gazının enerji değeri 36 MJ/Nm³ olarak belirlenmiştir. Eşitlik 6 kullanılarak metan gazının ısıl değeri 36 MJ/Nm³ olarak hesaplanmıştır (YAĞLI, Hüseyin. 2019).

$$Q = MM \times 36 \text{ MJ/Nm}^3 \quad (6)$$

Biyogazdan elektrik eldesi için gaz motorları bulunmaktadır. Bu motorlar aracılığı ile biyogaz yakılarak elektrik enerjisi elde edilmektedir. Elektrik enerji miktarını belirleyen parametrelerden biri de kullanılan motorun verimidir. Motor verimleri %35-%40 arasında değişiklik göstermektedir. Hesaplamalarda motor verimi %35 olarak alınmıştır. Metan gazının kWh değeri yaklaşık olarak 10 kWh olarak alınmıştır. Buna göre Eşitlik 7'deki gibi hesaplama yapıldığında elektrik enerjisi değeri E değeri bulunmuştur.

$$E = MM \times \eta \times W \quad (7)$$

4. Ankara, Gaziantep ve Kars İlleri için Biyogaz Potansiyellerinin Belirlenmesi

Yapılan bu çalışma ile, Bölüm 2'de verilen materyal ve yöntem kısmında detayları verilmiş hesaplamalar kullanılarak ülkemizin farklı bölgelerinden iller seçilerek, bu illerdeki hayvansal atıklardan elde edilebilecek elektrik enerjisi potansiyeli belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında sanayi veya hayvancılığın gelişmiş olduğu iller örnek alınarak seçilmiştir. Bu kapsamda, İç Anadolu Bölgesi'nden Ankara, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nden Gaziantep ve hayvancılığın yaygın olduğu Doğu Anadolu Bölgesi'nden Kars illeri seçilmiştir. Yapılan bu çalışma neticesinde seçilen iller için biyokütleden elektrik enerjisi potansiyelini belirleyerek bu bölgelere sürdürülebilir teknolojinin kullanımını artıracak yatırımlar yapılabilmesini sağlamaktır.

4.1 Ankara İli Hayvan Gübrelerinden Elde Edilecek Elektrik Enerjisi Potansiyeli

Ankara ilinde 2021 yılı için nüfus 4.890.893' tür. Bunun içerisinde 2.843.409 erkek, 2.903.916 kadın bulunmaktadır (TÜİK, 2022). Geçim kaynağı olarak sanayi

ve hayvancılık yapılan ilde, Tablo 3' te görüldüğü gibi genelde küçük baş ve kümes hayvanları beslenmektedir. Toplam hayvan sayısına bakıldığında 18.430.040 olarak bulunmuştur (TÜİK, 2022). Kimi hayvanlar çiftliklerde beslenirken kimisi de meralarda otlamaktadır.

TÜİK verilerine göre Ankara ilindeki hayvan gübrelerinin toplanabilirliği dikkate alındığında, elde edilebilecek olan gübre miktarı 4.382.269,78 ton/yıl olarak bulunmuştur. Belirtilen yöntem uygulandığı zaman Tablo 3' te de belirtildiği gibi toplam olarak 774.118,67 ton/yıl katı madde miktarı, 630.994,82 ton/yıl uçucu katı madde miktarı ve 107.285.013,99 m³-CH₄ metan gazı potansiyeli tespit edilmiştir. Potansiyel olarak bulunan metan gazı, elektrik üretimi için uygun tesislerde elektrik enerjisine dönüştürülebilmektedir.

Tablo 3. Ankara İlinin Metan Gazı Potansiyeli

Hayvan Türü	Hayvan Sayısı (Adet)	Toplanabilir Faydalı Gübre Miktarı (ton/yıl)	Katı Madde Miktarı (ton/yıl)	Uçucu Katı Madde Miktarı (ton/yıl)	Metan Miktarı (m ³ -C _{H4})
Kültür ve Melez Süt Sığıri (Yetişkin)	246.640	1.587.116,07	274.094,94	228.485,55	24.676.438,98
Kültür ve melez Et sığıri (Yetişkin)	211.437	917.604,86	113.874,76	96.394,99	21.206.897,24
Yerli Sığıri	14.819	64.312,24	11.106,72	9.258,56	2.036.884,21
Genç Yavru (Buzacağı)	139.242	51.677,16	1.917,22	847,99	186.557,27
Koyun	1.940.304	696.879,58	160.282,30	134.044,09	26.808.818,25
Keçi	349.337	107.170,48	24.831,40	18.141,82	3.628.364,14
At-Katır-Eşek	3.628	8.914,65	1.748,16	1.165,50	209.790,01
Et Tavuğu	9.867.362	677.458,54	135.491,71	104.705,28	20.941.056,40
Yumurta Tavuğu	5.599.003	263.015,97	49.315,49	36.986,62	7.397.324,03
Hindi	18.670	2.563,63	496,32	376,36	75.271,81
Kaz	22.239	2.651,90	457,98	280,65	56.130,43
Ördek	24.359	2.904,70	501,64	307,41	61.481,23
TOPLAM	18.437.040	4.382.269,78	774.118,67	630.994,82	107.285.013,99

Metan gazının elektrik enerjisine dönüşümü için kullanılan gaz türbinin verimi %35 olarak alındığında Tablo 4' teki veriler elde edilmiştir. Tablo 3' te gösterildiği gibi toplam elektrik enerjisi potansiyeli 375.497,55 MWhe/yıl olarak bulunmuştur. Kurulabilecek olan biyogaz tesislerinin toplam kapasitesi ise 42,87 MW olarak bulunmuştur.

Tablo 4. Ankara İlinin Metan Gazından Elektrik Üretim Potansiyeli

Hayvan Türü	Enerji Değeri (GJ/yıl)	Enerji Değeri (TEP/yıl)	Elektrik Enerjisi (MWhe/yıl)	Kurulu Güç Potansiyeli (MW)
Kültür ve Melez Süt Sığı (Yetişkin)	888.351,80	21.221,97	86.367,54	9,86
Kültür ve melez Et sığı (Yetişkin)	763.448,30	18.238,13	74.224,14	8,47
Yerli Sığı	73.327,83	1.751,74	7.129,09	0,81
Genç Yavru (Buzığı)	6.716,06	160,44	652,95	0,07
Koyun	965.117,46	23.055,84	93.830,86	10,71
Keçi	130.621,11	3.120,43	12.699,27	1,45
At-Katır-Eşek	7.552,44	180,42	734,27	0,08
Et Tavuğu	753.878,03	18.009,51	73.293,70	8,37
Yumurta Tavuğu	266.303,66	6.361,77	25.890,63	2,96
Hindi	2.709,79	64,73	263,45	0,03
Kaz	2.020,70	48,27	196,46	0,02
Ördek	2.213,32	52,87	215,18	0,02
TOPLAM	3.862.260,50	92.266,14	375.497,55	42,87

4.2 Gaziantep İli Hayvan Gübrelerinden Elde Edilecek Elektrik Enerjisi Potansiyeli

Gaziantep ili için 2021 yılı için TÜİK 2022 verileri dikkate alındığında 2.130.432 olarak tespit edilmiştir. Nüfusun 1.075.409 kişisi erkek, 1.055.023 kişisi kadındır (TÜİK, 2022). Sanayinin de olduğu Gaziantep ilinde hayvancılık da yapılmaktadır. Tablo 5' teki verilere bakıldığında kümes ve küçükbaş hayvancılığın daha yaygın olduğu görülmektedir. Toplam hayvan sayısı 7.031.749 olarak belirlenmiştir (TÜİK, 2022).

Yapılan hesaplamalar sonrasında Tablo 5' te görüldüğü gibi Gaziantep ilindeki hayvan gübrelerinin toplanabilir miktarı toplamda 1.432.809,72 ton/yıl, katı

madde miktarı 251.623,04 ton/yıl, uçucu katı madde miktarı 203.530,27 ton/yıl ve metan gazı miktarı ise 32.986.363,06 m³-CH₄ olarak bulunmuştur.

Tablo 5. Gaziantep İlinin Metan Gazı Potansiyeli

Hayvan Türü	Hayvan Sayısı (Adet)	Toplanabilir Faydalı Gübre Miktarı (ton/yıl)	Katı Madde Miktarı (ton/yıl)	Uçucu Katı Madde Miktarı (ton/yıl)	Metan Miktarı (m ³ CH ₄)
Kültür ve Melez Süt Sığırtı (Yetişkin)	96.752	622.594,28	107.522,03	89.630,37	9.680.079,57
Kültür ve melez Et sığırtı (Yetişkin)	57.482	249.463,26	30.958,39	26.206,28	5.765.381,02
Yerli Sığırtı	766	3.324,33	574,11	478,58	105.287,35
Genç Yavru (Buzağı)	45.050	16.719,50	620,29	274,36	60.358,26
Koyun	463.447	166.451,62	38.283,87	32.016,80	6.403.360,70
Keçi	234.871	72.054,31	16.694,98	12.197,36	2.439.471,09
At-Katır-Eşek	2.005	4.926,65	966,12	644,11	115.939,63
Et Tavuğu	295.000	20.253,67	4.050,73	3.130,33	626.065,17
Yumurta Tavuğu	5.803.485	272.621,61	51.116,55	38.337,41	7.667.482,77
Hindi	26.478	3.635,77	703,89	533,76	106.751,32
Kaz	3.041	362,63	62,63	38,38	7.675,37
Ördek	3.372	402,10	69,44	42,55	8.510,81
TOPLAM	7.031.749	1.432.809,72	251.623,04	203.530,27	32.986.363,06

Elde edilebilecek olan metan gazının Tablo 6' da verildiği gibi potansiyel enerjisi 1.187.509,07 GJ/yıl, elektrik enerjisi potansiyeli ise %35'lik verimli bir gaz türbi-

ni kullanılan tesiste 115.452,27 MWhe/yıl olarak bulunmuştur. Biyogaz tesisleri için toplam kapasite 13,18 MW olarak hesaplanmıştır.

Tablo 6. Gaziantep İlinin Metan Gazından Elektrik Üretim Potansiyeli

Hayvan Türü	Enerji Değeri (GJ/yıl)	Enerji Değeri (TEP/yıl)	Elektrik Enerjisi (MWhe/yıl)	Kurulu Güç Potansiyeli (MW)
Kültür ve Melez Süt Sığırtı (Yetişkin)	348.482,86	8.324,96	33.880,28	3,87
Kültür ve Melez Et Sığırtı (Yetişkin)	207.553,72	4.958,28	20.178,83	2,30
Yerli Sığırtı	3.790,34	90,55	368,51	0,04
Genç Yavru (Buzacı)	2172,90	51,91	211,25	0,02
Koyun	230.520,99	5.506,95	22.411,76	2,56
Keçi	87.820,96	2.097,97	8.538,15	0,97
At-Katır-Eşek	4173,83	99,71	405,79	0,05
Et Tavuğu	22.538,35	538,42	2.191,23	0,25
Yumurta Tavuğu	276.029,38	6.594,11	26.836,19	3,06
Hindir	3.843,05	91,81	373,63	0,04
Kaz	276,31	6,60	26,86	0,00
Ördek	306,39	7,32	29,79	0,00
TOPLAM	1.187.509,07	28.368,59	115.452,27	13,18

4.3 Kars İli Hayvan Gübrelereinden Elde Edilecek Elektrik Enerjisi Potansiyeli

Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki Kars ili incelendiğinde TÜİK verilerine göre 2021 yılında nüfus 281.077 olarak gösterilmektedir. Nüfusun 144.396'sı erkeklerden, 136.681'i kadınlardan oluşmaktadır (TÜİK, 2022). Dięer illere göre nüfusun düşük olduğu ilde hayvancılık önemli geçim kaynaklarındandır. Tablo 7' deki verilere bakıldığında kümes hayvanları, küçükbaş ve büyükbaş hayvancılık oransal olarak dağılmıştır. Toplam hayvan sayısı 2.125.962 olarak verilmiştir.

Yapılan hesaplamalar doğrultusunda Tablo 7'de belirtildiği gibi toplanabilir faydalı gübre miktarı 3.047.332,72 ton/yıl, katı madde miktarı 506.601,43 ton/yıl uçucu katı madde miktarı 418.899,40 ton/yıl ve metan gazı miktarı da 56.768.971,15 m³-CH₄ olarak bulunmuştur.

Tablo 7. Kars İlinin Metan Gazı Potansiyeli

Hayvan Türü	Hayvan Sayısı (Adet)	Toplanabilir Faydalı Gübre Miktarı (ton/yıl)	Katı Madde Miktarı (ton/yıl)	Uçucu Katı Madde Miktarı (ton/yıl)	Metan Miktarı (m ³ -CH ₄)
Kültür ve Melez Süt Sığırı (Yetişkin)	330.388	2.126.030,26	367.165,43	306.069,10	33.055.462,70
Kültür ve melez Et sığır (Yetişkin)	116.257	504.537,94	62.613,16	53.002,04	11.660.448,51
Yerli Sığır	9.141	39.670,57	6.851,11	5.711,08	1.256.438,26
Genç Yavru (Buzağı)	164.937	61.213,40	2.271,02	1.004,47	220.983,59
Koyun	574.530	206.348,19	47.460,08	39.690,87	7.938.173,78
Keçi	30.217	9.270,05	2.147,87	1.569,23	313.846,74
At-Katır-Eşek	7.300	17.937,41	3.517,53	2.345,14	422.124,33
Et Tavuğu	0	0,00	0,00	0,00	0,00
Yumurta Tavuğu	344.911	16.202,37	3.037,94	2.278,46	455.691,56
Hindi	41.095	5.642,88	1.092,46	828,41	165.682,65
Kaz	489.304	58.347,30	10.076,58	6.174,93	1.234.985,49
Ördek	17.882	2.132,35	368,26	225,67	45.133,52
TOPLAM	2.125.962	3.047.332,72	506.601,43	418.899,40	56.768.971,15

Hesaplamalar sonucunda çıkan metan gazı potansiyeli biyogaz tesislerinde %35'lik verimli gaz türbinlerinde değerlendirildiğinde üretilecek olan elektrik

enerjisi hesaplanmıştır. Elektrik üretilmeden önceki enerji potansiyeli Tablo 8’ de belirtildiği gibi 2.043.682,96 GJ/yıl bulunmuştur. Gaz türbinlerinden geçirilerek elektrik üretildiğinde 198.691,40 MWhe/yıl’lık elektrik enerjisi potansiyeli hesaplanmıştır. Bu enerji üretimi için biyogaz tesislerinin toplam kapasitesi 22,68 MW olarak bulunmuştur.

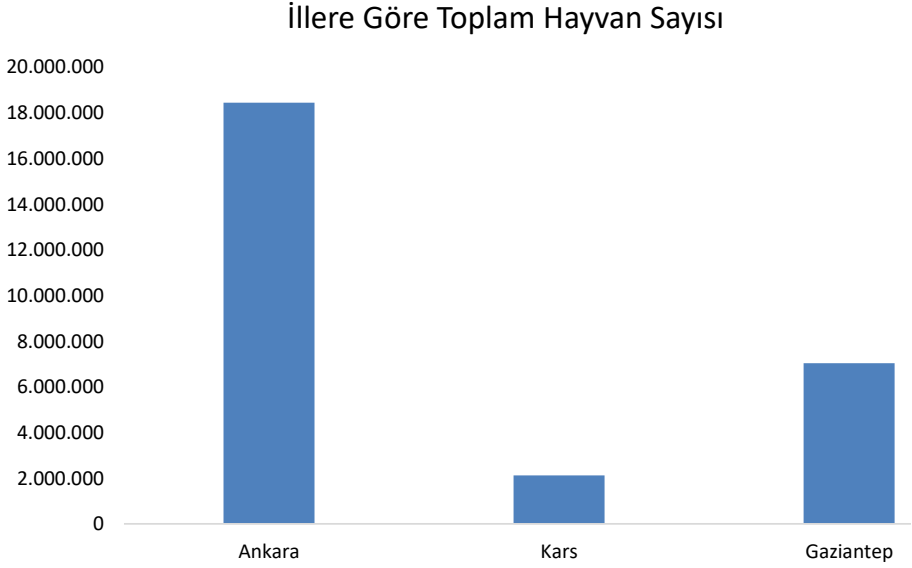
Tablo 8. Kars İlinin Metan Gazından Elektrik Üretim Potansiyeli

Hayvan Türü	Enerji Değeri (GJ/yıl)	Enerji Değeri (TEP/yıl)	Elektrik Enerjisi (MWhe/yıl)	Kurulu Güç Potansiyeli (MW)
Kültür ve Melez Süt Sığırı (Yetişkin)	1.189.996,66	28.428,01	115.694,12	13,21
Kültür ve Melez Et Sığırı (Yetişkin)	419.776,15	10.028,10	40.811,57	4,66
Yerli Sığırı	45.231,78	1.080,55	4.397,53	0,50
Genç Yavru (Buzağı)	7.955,41	190,05	773,44	0,09
Koyun	285.774,26	6.826,91	27.783,61	3,17
Keçi	11.298,48	269,91	1.098,46	0,13
At-Katır-Eşek	15.196,48	363,03	1.477,44	0,17
Et Tavuğu	0,00	0,00	0,00	0,00
Yumurta Tavuğu	16.404,90	391,90	1.594,92	0,18
Hindi	5.964,58	142,49	579,89	0,07
Kaz	44.459,48	1.062,10	4.322,45	0,49
Ördek	1.624,81	38,82	157,97	0,02
TOPLAM	2.043.682,96	48.821,86	198.691,40	22,68

5. Sonuç ve Öneriler

Yenilenebilir enerji kaynaklarından birisi de biyokütle enerjidir. Biyokütle çeşitlerinden olan biyogaz, temelinde metan gazından oluşmaktadır. Metan gazının hayvan gübrelerinden elde edilip elektrik ve sıcak su eldesi için biyogaz tesisleri kurulmaktadır. Bu şekilde sera etkisi oluşturan metan gazı hem bertaraf edil-

miş hem de enerji eldesi sağlanmış olmaktadır. Hayvancılık yapılan bölgelerde gübrelerin toplanması ve enerji elde edilmesiyle o bölgedeki elektrik ve ısınma ihtiyacı karşılanabilir. Analiz yapılan bölgelerde biyogaz tesis kurulumu için öncesinde potansiyel araştırması yapılır. Yüksek potansiyele sahip, ham maddeye olan ulaşılabilirliğin uygunluğu göz önüne alındığında tesis kurulumu için çalışmalar yapılır. Bu çalışma kapsamında incelenen Ankara, Kars ve Gaziantep illeri için toplam hayvan sayısı bilgisi Şekil 2’de gösterilmiştir.



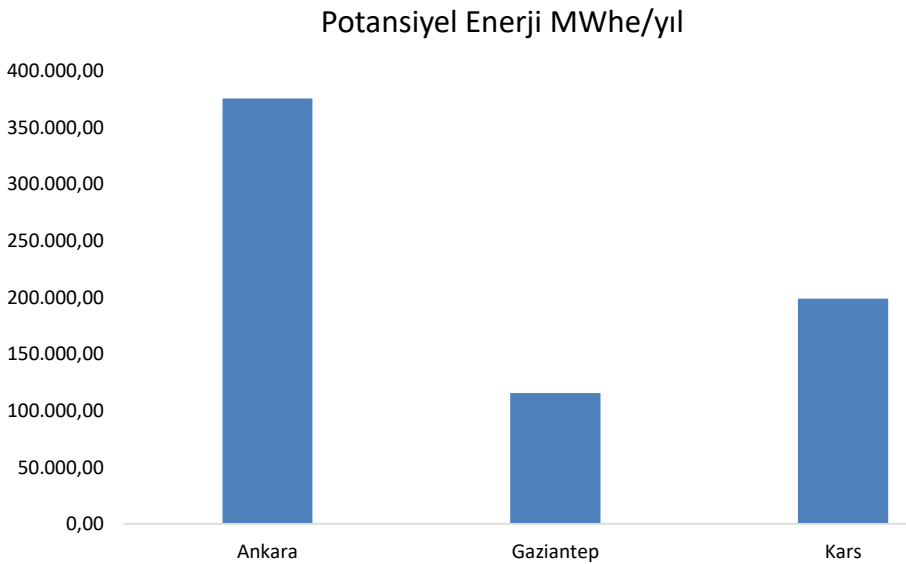
Şekil 2. İllere Göre Toplam Hayvan Sayısı

Farklı lokasyonlardaki iller incelendiğinde sırasıyla biyogazdan elde edilebilecek olan potansiyel elektrik enerjisi Ankara 375.497,55 MWhe/yıl, Gaziantep 115.452,27 MWhe/yıl ve Kars 198.691,40 MWhe/yıl olarak bulunmuştur. Nüfus yoğunluğu ve sanayi kuruluşları fazla olan Ankara’ da potansiyel elektrik enerjisi en fazladır. Hayvan türlerinden en fazla koyun gübresinden elde edilecek biyogaz miktarının olduğu tespit edilmiştir. Ankara’daki 2021 yılı nüfusuna bakıldığında 5.747.325 olduğu görülmüştür. Tedaş verilerine göre 2020 yılında Ankara’daki kişi başı elektrik tüketimi 2.680 kWh’ tir. Yıllık toplam elektrik tüketimi olarak 15.402.831 MWhe’ tir.

Gaziantep iline bakıldığında en çok kültür ve melez sığırının gübresinin potansiyeli olduğu bulunmuştur. 3. Sırada ise kültür ve melez sığırının gübresinin potansiyelinin olmasından dolayı, biyogaz tesisinin kurulum önceliğinin büyükbaş-

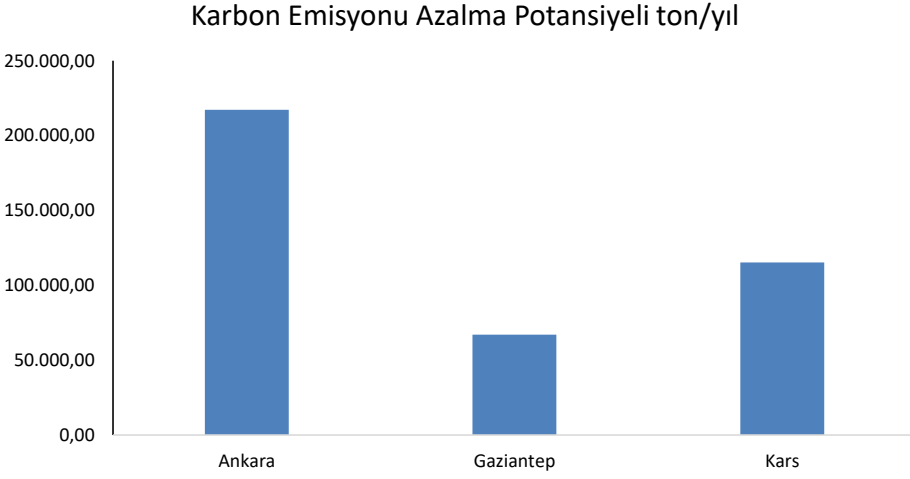
ların olduğu yerlere yakın kurulması daha verimli olacaktır. Gaziantep'teki 2021 yılı nüfusuna bakıldığında 2.130.432 olması ve kişi başı 2020 yılında elektrik tüketimi 4.076 kWh olmasından dolayı yaklaşık olarak yıllık toplam elektrik tüketimi 8.683.640 MWhe olarak bulunmuştur.

En çok büyükbaş hayvanlarının gübrelerinin biyogaz potansiyeli olan Kars ilinde 2021 yılı nüfusu 281.077 olarak görülmektedir. Tedaş'ın 2020 verilerine göre Kars ilinde kişi başı elektrik tüketimi 1.139 kWh' tir. Yaklaşık olarak toplam elektrik enerjisi tüketimi 320.146 MWhe olarak hesaplanmıştır. Şekil 3'te potansiyel enerji ve Şekil 4'te karbon emisyon azalma potansiyelleri gösterilmiştir.



Şekil 3. Ankara, Gaziantep ve Kars İçin Yıllık Potansiyel Enerji Oranı

Sonuç olarak yapılan bu çalışma neticesinde Ankara için kurulacak biyogaz tesisleri ile birlikte buradan elde edilecek elektrik toplam tüketimin %2,5' unu karşılamış olacaktır. Bu yöntem ile üretilen elektrik sayesinde 217.278,57 ton CO₂ salınımının önüne geçileceği öngörülmüştür. Gaziantep İli için Biyogaz tesisleri ile üretilen elektrik enerjisi toplam tüketimin %1,3 ' ünü karşılamaktadır, 115.452,27 MWhe/yıl elektrik enerjisinin biyogaz tesislerinden elde edilmesi ile 66.962,31 ton CO₂ salınımının önüne geçilmiş olacaktır. Kars İli için Biyogaz tesislerinden elde edilecek olan elektrik enerjisi ile toplam tüketimin %62' si karşılayabilmektedir. Yenilenebilir enerji olarak üretilen elektrik enerjisi sayesinde 115.241,01 ton CO₂ salınımının önüne geçileceği hesaplanmıştır.



Şekil 4. Ankara, Gaziantep ve Kars için yıllık Karbon Emisyonu Azalma Miktarı

Kaynakça

Afotey, B., & Sarpong, G. T. (2023). Estimation of biogas production potential and greenhouse gas emissions reduction for sustainable energy management using intelligent computing technique. *Measurement: Sensors*, 25, 100650. <https://doi.org/10.1016/j.measen.2022.100650>

Altaca Enerji, <https://altacaenerji.com/biyogaz/uretim>

Aslantaş A. (2018), Dünya’da ve Türkiye’de Biyokütle Enerjisinin Kullanımı ve Potansiyeli, KTO Karatay. <https://dspace.karatay.edu.tr/handle/20.500.12498/455?show=full&locale-attribute=en>

Ayhan A. (2015), Biogas Production Potential from Animal Manure of Bursa Province, *U. Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi*, Cilt 29, Sayı 2, 47-53. <https://acikerisim.uludag.edu.tr/server/api/core/bitstreams/e98b6c7c-6d93-4a09-9cc8-7f73b4d78887/content>

Bharathiraja, B., Sudharsana, T., Jayamuthunagai, J., Praveenkumar, R., Chozhavendhan, S., Iyyappan, J., (2018). Biogas Production-A Review on Composition, Fuel Properties, Feed Stock and Principles of Anaerobic Digestion. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90, 570-582. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.093>

Fernandes, D. J., Ferreira, A. F., & Fernandes, E. C. (2023). Biogas and biomethane production potential via anaerobic digestion of manure: A case study of Portugal. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier*, 188, 113846. [10.1016/j.rser.2023.113846](https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113846)

- Heidenreich, S., Müller, M. & Foscolo P. U. (2016), Advanced Biomass Gasification: New Concepts for Efficiency Increase and Product Flexibility. (*Elsevier Science*, 2016). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804296-0.00006-3>
- International Energy Agency, (2020), Energy Supply of the World at:<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=TESbySource>. May 15,2023.
- Karaca, C. (2023). The biogas potential of animal manure and its GHG reduction effect in Konya province, Turkey. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 31(4), 232-239. 10.3846/jeelm.2023.20052
- Karaosmanoğlu, F. (2006), "Biyoyakıt Teknolojisi ve İTÜ Araştırmaları", ENKÜS 2006-İTÜ Enerji Çalıştayı ve Sergisi, Bildiri Kitabı, Sayfa: 110-146, 22-23 Haziran 2006, İstanbul. https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/41/103/41103129.pdf
- Koç, E., Kaya, K. (2015). "Enerji Kaynakları-Yenilenebilir Enerji Durumu," *Mühendis ve Makine*, cilt 56, sayı 668, s. 36-47. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1099827>
- Kumaş, K., & Akyüz, A. Ö. (2023). Biogas Potential of Afyonkarahisar, Turkey-based on Animal Manure: Energy Equivalents and its Contribution to Economy and Carbon Emissions. *El-Cezeri*, 10(2), 356-370. <https://doi.org/10.31202/ecjse.1219728>
- Mao C, Feng Y, Wang X, Ren G. (2015), "Review on Research Achievements of Biogas from Anaerobic Digestion". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 540-555. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.02.032>
- Matsumura, Y., Minowa, T. and Yamamoto, H. (2005), "Amount, availability, and potential use of rice straw (agricultural residue) biomass as an energy resource in Japan", *Biomass and Bioenergy* 29, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2004.06.015>
- Nehra, M., & Jain, S. (2023). Estimation of renewable biogas energy potential from livestock manure: a case study of india. *Bioresource Technology Reports*, 22, 101432. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2023.101432>
- Nilüfer Nacar Koçer, Cengiz Öner, İlker Sugözü (2006). Türkiye'de Hayvancılık Potansiyeli ve Biyogaz Üretimi, *Doğu Anadolu Bölge Araştırmaları*. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/fudad/issue/47077/592012>
- Noorollahi, Y., Kheirrouz, M., Asl, H.F., Yousefi, H., Hajinezhad, A. (2015), Biogas Production Potential from Livestock Manure in Iran. *Renewable and*

Sustainable Energy Reviews, 50, 748-754. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.190>

Özpinar S.(2018), An Assessment of Biogas Production Potential from Animal Manures in Çanakkale, *ÇOMU Zir. Fak. Derg. (COMUJ. Agric. Fac.)*, 2018.115-122. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/606578>

Singh, D., Tembhare, M., Machhirake, N., & Kumar, S. (2023). Biogas generation potential of discarded food waste residue from ultra-processing activities at food manufacturing and packaging industry. *Energy*, 263, 126138. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.126138>

Taleghani, G., & Kia, A. S. (2005). Technical–economical analysis of the Sa-veh biogas power plant. *Renewable energy*, 30(3), 441-446.<https://doi.org/10.1016/j.renene.2004.06.004>

T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü (2010), Biyogaz kullanım kılavuzu. <https://webdosya.csb.gov.tr/db/cygm/editordosya/biyogaz%20kilavuzu%20pdf.pdf>

TÜİK (2022), Population of Animals:<https://data.tuik.gov.tr/Search/Search?text=hayvan%20say%C4%B1s%C4%B1>

TÜİK (2022), Population:<https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=Nufus-ve-Demografi-109>

Weiland, P. (2010). Biogas Production: Current State and Perspectives. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85(4), 849-86. <https://doi.org/10.1007/s00253-009-2246-7>

Yağlı H., Koç Y. (2019), *Çukurova University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture*, 34(3), pp. 35-48, September 2019, Hatay, https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/yayin_dosyalar/704_agustos_eylul_tamami.pdf

Yılmaz O. (2021), Biyokütle Ve Enerji Üretim Yöntemleri, Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sinop Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı Yüksek Lisans Programı, Konya.