



## Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/yyufbed>



Araştırma Makalesi

### Türkiye’de Hayvansal Gübre Kaynaklı Biyogazdan Üretilebilecek Elektrik Enerjisinin Bölgesel Analizi

Sinan ÜNVAR\*

Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi, MYO, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, 04100, Ağrı, Türkiye  
Sinan ÜNVAR, [ORCID No: 0000-0002-9144-7638](https://orcid.org/0000-0002-9144-7638)

\*Sorumlu yazar e-posta: [sunvar@agri.edu.tr](mailto:sunvar@agri.edu.tr)

#### Makale Bilgileri

Geliş: 30.05.2022  
Kabul: 11.10.2022  
Online Nisan 2023

DOI:[10.53433/yyufbed.1123110](https://doi.org/10.53433/yyufbed.1123110)

#### Anahtar Kelimeler

Biyogaz,  
Elektrik,  
Enerji,  
TÜİK,  
Türkiye

**Öz:** Yapılan bu çalışmada Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2021 verilerinden faydalanılarak Türkiye’nin hayvansal gübre kaynaklı (büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı) biyogaz ve elektrik üretim miktarları belirlenmeye çalışılmış ve ülkemizin ihtiyaç duyduğu elektrik enerjisinin 2021 yılı için ne kadarlık kısmını karşılayabileceği saptanmıştır. Türkiye’nin sahip olduğu toplam hayvan sayısından yola çıkılarak biyogaz ve elektrik enerjisi üretim miktarları hesaplanmıştır. Bu bağlamda, ülkemizin 2021 yılı için hayvansal atık kaynaklı biyogaz üretimi  $15.894 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/yıl ve elektrik enerjisi üretimi  $28.609 \times 10^6$  kWh/yıl olarak belirlenmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda yıllık biyogaz miktarlarının en fazla olduğu ilk üç bölgenin Ege Bölgesi ( $3.889 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/yıl), İç Anadolu Bölgesi ( $2.701 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/yıl) ve Akdeniz Bölgesi ( $2.533 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/yıl) olduğu belirlenmiştir. Yıllık elektrik üretim miktarlarının en fazla olduğu ilk üç bölgenin ise Ege Bölgesi ( $7.000 \times 10^6$  kWh/yıl), İç Anadolu Bölgesi ( $4.862 \times 10^6$  kWh/yıl) ve Akdeniz Bölgesi ( $4.559 \times 10^6$  kWh/yıl) olduğu tespit edilmiştir. 2021 yılında ülkemizin toplam elektrik tüketiminin  $329.634 \times 10^6$  kWh olduğu göz önüne alındığında her ilde biyogaz tesisinin bulunması durumunda yıllık enerji ihtiyacının %8,67’sinin biyogaz enerjisi kullanılarak karşılanabileceği tespit edilmiştir.

### Regional Analysis of Electricity Energy Produced from Animal Manure Sourced Biogas in Turkey

#### Article Info

Received: 30.05.2022  
Accepted: 11.10.2022  
Online April 2023

DOI:[10.53433/yyufbed.1123110](https://doi.org/10.53433/yyufbed.1123110)

#### Keywords

Biogas,  
Electricity,  
Energy  
TURKSTAT,  
Türkiye

**Abstract:** In this study, it was tried to determine the biogas and electricity production amounts of Turkey's animal manure (bovine, ovine and poultry) by using the 2021 data of the Turkish Statistical Institute (TSI) and it was determined how much of the electrical energy our country could meet for 2021. Biogas and electrical energy production amounts were calculated based on the total number of animals in Turkey. In this context, our country's biogas production from animal waste for 2021 has been determined as  $15,894 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/year and electrical energy production as  $28,609 \times 10^6$  kWh/year. As a result of the calculations, it has been determined that the first three regions with the highest annual biogas amounts are the Aegean Region ( $3,889 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/year), the Central Anatolia Region ( $2,701 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/year) and the Mediterranean Region ( $2,533 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/year). It has been determined that the first three regions with the highest annual electricity production amounts are Aegean Region ( $7,000 \times 10^6$  kWh/year), Central Anatolia Region ( $4,862 \times 10^6$  kWh/year) and Mediterranean Region ( $4,559 \times 10^6$  kWh/year). Considering that the total electricity consumption of our country in 2021 is  $329,634 \times 10^6$  kWh, it has been determined that 8.67% of the annual energy need can be met by using biogas energy if there are biogas facilities in each province.

## 1. Giriş

Yenilenebilir enerji kaynakları ekonomik büyümeye, istihdam yaratılmasına ve enerji güvenliğinin artırılmasına katkıda bulunurken, Avrupa Birliği'nin iklim değişikliğiyle mücadelesinin de ayrılmaz bir parçasını oluşturmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında biyokütle, güneş, hidroelektrik, rüzgar enerjisi ve jeotermal enerji yer almaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları, Avrupa'nın iklim değişikliklerine karşı verdiği mücadelenin bir parçası olmakla birlikte, ekonomik büyümeye katkıda bulunarak, istihdam edilen insan sayısını artırarak enerji güvenliği sağlamaktadır. Bu nedenle, enerji talebinin yenilenebilir kaynaklardan karşılanmasına yönelik sürdürülebilir enerji tedarik sistemlerinin geliştirilmesi esastır (Vindiş ve ark., 2010).

Biyokütle enerjisi içerisinde yer alan biyogaz, başka yerde değerlendirilemeyen organik atıklardan geldiği için yenilenebilir enerji olarak kabul edilir. Biyogaz üretimi bu nedenle döngüsel ekonominin bir parçasıdır. Elektrik, ısı veya her ikisini aynı anda üretmek için yerel olarak üretilmektedir. Biyogazın endüstrilerde enerji kaynağı olarak fosil yakıtların yerine kullanılması, çok daha çevreci, karbonsuz ve sürdürülebilir bir ortamın oluşmasını sağlamaktadır (Wall ve ark., 2018). Endüstriler ve haneler, ısıtma ve sıcak su üretimi için biyogaz enerjisinden yararlanmaktadırlar. Çok temiz yakıt ihtiyacı olan gıda endüstrileri de yandığı zaman koku ve partikül oluşturmayan biyogaz enerjisinden yararlanmaya başlamışlardır. Afrika ve Asya'nın birçok düşük ve orta gelirli ülkesinde, çeşitli yollarla üretilen biyogaz, kırsal alanlarda ısıtma, yemek pişirme veya aydınlatma için kullanılmaktadır (Lohri ve ark., 2017). Biyogazın yanmasından elde edilen ısının kullanılması, yenilenebilir olması (Hengeveld ve ark., 2016) ve çeşitli amaçlara uygun olması nedeniyle çok önemli ekonomik ve çevresel faydalar sağlamaktadır. Tüm bu özellikleri göz önüne alındığında biyogaz çalışmaları gerek dünyada gerek ülkemizde önemli bir konuma gelmiştir.

Ülkemizde özellikle hayvansal kaynaklı biyogaz üretimi ve buna bağlı olarak enerji elde edilmesi çalışmaları hız kazanmıştır. Bu bölümde özellikle en yakın zamanlı çalışmalar hakkında genel bilgiler verilerek konunun önemi anlatılmaya çalışılmıştır. Ay & Kaya (2020) yapmış oldukları çalışmada Kahramanmaraş ilinde hayvan atıklarından elde edilebilecek biyogaz potansiyellerinin tespiti, üretilen elektrik enerjisinin belirlenmesi ve ilçeler kapsamında potansiyel dağılımının saptanmasına yönelik çalışma yapmışlardır. Kahramanmaraş'ta biyogaz üretiminde kullanılabilecek yaklaşık  $1.691 \times 10^6$  ton/yıl gübre üretilbileceği belirlenmiştir. Bu gübrenin tamamen biyogaz enerjisi üretiminde kullanılması halinde yıllık biyogaz miktarının yaklaşık olarak  $70 \times 10^6$  m<sup>3</sup> olacağı hesaplanmış ve bu biyogazdan da yaklaşık olarak  $326 \times 10^6$  kWh elektrik enerjisi elde edilebileceği tespit edilmiştir (Ay & Kaya, 2020). Atılğan ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada Antalya ilinin 2019 yılına ait hayvan sayılarını belirleyerek gübre ve biyogaz enerjisi değerlerini hesaplamışlardır. Ayrıca, bu elde edilebilecek enerjiden üretilebilecek doğal gaz ve elektrik enerjisi miktarları da değerlendirilmiştir. Çalışma neticesinde, Antalya ilindeki mevcut atıkların tamamının kullanılması halinde oluşacak gübrenin  $3.821 \times 10^6$  kg ve tahmini biyogaz enerjisinin ise  $45,57 \times 10^6$  MJ olabileceği tespit edilmiştir. Elde edilebilecek biyogazın ise yaklaşık olarak  $253,23 \times 10^6$  kWh elektrik enerjisine ve  $43,90 \times 10^6$  m<sup>3</sup> doğalgaz enerjisine eşdeğer olduğu hesaplanmıştır (Atılğan ve ark., 2021). Atılğan & Yılmaz (2021) yapmış oldukları çalışmada Mardin ilinin biyogaz potansiyelini belirlemeyi amaçlamışlardır. Mardin ili genelinde bulunan hayvanların sayıları ölçüt alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Oluşabilecek  $1.163.972,798$  ton gübreden  $56.778.608,24$  m<sup>3</sup> oranında biyogaz enerjisi kazanılacağı ve biyogazdan da yıllık  $266.859 \times 10^6$  kWh elektrik enerjisi oluşabileceği belirlenmiştir (Atılğan & Yılmaz, 2021). Caliskan & Tumen Ozdil (2021) 2007-2019 yılları arasında Türkiye'nin çeşitli bölgelerine ait verilerini kullanarak hayvan gübresinden üretilen biyogaz potansiyelini hesaplamışlardır. Ayrıca hayvan gübresi kaynaklarından elde edilen biyogaz kullanılarak sağlanabilecek elektrik potansiyelinin üretimini incelemiştirler. Doğu Anadolu ve İç Anadolu Bölgeleri'nin, hayvanlardan elde edilen gübre miktarı nedeniyle diğer bölgelere göre %19 ile en yüksek biyogaz potansiyeline sahip olduğunu belirlemiştirler. Söz konusu yıllar için biyogazdan  $76.448 \times 10^6$  m<sup>3</sup> potansiyel metan içeriği elde edilebileceğini ve bu metan değerinden  $2.339.296 \times 10^6$  kWh ısı değer elde edilebileceğini tespit etmişlerdir. Türkiye'de 2007-2019 yılları arasında hayvan gübresi atıklarından sağlanabilecek elektrik enerjisi potansiyelinin  $231.009 \times 10^6$  olduğunu, 2007-2019 yılları arasında toplam elektrik tüketiminin ise  $2.898 \times 10^6$  kWh olduğunu saptamışlardır. Sonuçlar, hayvan gübresinden sağlanabilecek potansiyel elektriğin aynı yıllarda tüketilen elektriğin %7,99'unu karşılayabileceğini göstermiştir (Caliskan & Tumen Ozdil, 2021). Seyitoğlu & Avcıoğlu (2021) yapmış oldukları çalışmada

Çorum ili ve ilçelerine ait hayvansal atıklardan elde edilebilecek biyogaz potansiyelini incelemişlerdir. Üretilebilecek biyogaz miktarına bağlı olarak toplam üretilebilecek elektrik miktarı büyükbaş hayvanlar için yıllık  $80.748 \times 10^3$  kWh, küçükbaş hayvan için yıllık  $3.506 \times 10^3$  kWh ve kanatlı hayvanlar için yıllık  $16.064 \times 10^3$  kWh olarak bulunmuştur. Toplamda Çorum ili için üretilebilecek elektrik miktarı yıllık  $100.319 \times 10^3$  kWh olarak tespit edilmiştir. Üretilebilecek olan biyogaz miktarından elektrik üretilmesi durumunda 2.608,06 ton CO<sub>2</sub> emisyonu ortaya çıkacağı tespit edilmiştir (Seyitoğlu & Avcıoğlu, 2021). Şenol ve ark. (2021) Türkiye'nin büyükbaş hayvan gübresine dayalı biyometan potansiyelini belirlemek için uygun deneysel analizler yaparak, 2030 yılına kadar olan tahmin de dahil olmak üzere biyometan potansiyelinin yıllara ve illere göre mekansal dağılımının bir değerlendirmesini yapmışlardır. Bu kapsamda, kişi başına düşen toplam kurulu güç potansiyeli ve biyometan potansiyeli için 2002-2019 yılları arasındaki her yıl için büyükbaş hayvan gübresi bazlı biyometan potansiyeli belirlenmiştir. Türkiye'de her bir ilin son yedi yıldaki (2013-2019) büyükbaş hayvan gübresi bazlı biyometan potansiyelleri coğrafi bilgi sistemi yazılımı kullanılarak gösterilmiştir. 2019 itibarıyla,  $17.870 \times 10^3$  büyükbaş hayvan gübresinin biyometan bazlı kurulu güç potansiyelinin  $1.389 \times 10^3$  kWh olduğu, bunun da toplam kurulu gücün yaklaşık %1,53'üne tekabül ettiği belirlenmiştir. Ek olarak, 2030 yılına kadar büyükbaş hayvan gübresi bazlı biyometan potansiyelini tahmin etmek için kişi başına gayri safi yurtiçi hasıla (GSYİH), GSYİH tarımsal faaliyetler, insan ve büyükbaş hayvan popülasyonu gibi bir dizi bağımsız değişkene sahip bir yapay sinir ağı (YSA) modeli geliştirilmiştir. 2030 yılında YSA tarafından öngörülen biyometan potansiyelinin 2019 yılındaki biyometan potansiyelinden yaklaşık %50 daha fazla artacağı belirlenmiştir (Şenol ve ark., 2021). Aksay & Tabak (2022) Türkiye'deki hayvan gübresi ve tarımsal atıkların biyogaz potansiyelini değerlendirmek için çalışma yapmışlardır. Çalışmada 12 bölge ve 81 il için hayvan gübresi ve tarımsal atık miktarı, biyogaz potansiyeli, biyogazdan elektrik üretimi gibi sonuçlar haritalanmıştır. Sonuçlara göre, Türkiye'nin toplam toplanabilir gübre, tarımsal atık ve biyogaz potansiyelinin sırasıyla yılda  $176 \times 10^6$  ton,  $17 \times 10^6$  ton ve  $17 \times 10^9$  m<sup>3</sup> olduğu belirlenmiştir (Aksay & Tabak, 2022). Tırnık (2022), Iğdır ili ve ilçelerindeki hayvan işletmelerinden kaynaklanan atık miktarlarından biyogaz enerji potansiyellerinin belirlenmesi amacıyla yerel ölçüde sürdürülebilir çözümlerin geliştirilmesi amacıyla çalışma yapmıştır. Hayvan gübresinden yıllık üretilebilecek biyogaz potansiyeli  $43.952 \times 10^6$  m<sup>3</sup>, ısı enerjisi miktarı 1.032.879 GJ ve elektrik enerjisi miktarı  $114 \times 10^6$  kWh olarak hesaplanmıştır. Iğdır ili için yıllık en yüksek elektrik üretim potansiyeline sahip olduğu Merkez ilçesinde yaklaşık  $55 \times 10^6$  kWh ve en düşük elektrik üretim potansiyeline sahip olduğu Karakoyunlu ilçesinde yaklaşık  $15 \times 10^6$  kWh elektrik enerjisi üretilbileceği hesaplanmıştır (Tırnık, 2022).

Yukarıda yapılan çalışmalar incelendiğinde biyogaz ve elektrik enerjisi üretimi konusunda ülkemizin tamamının sahip olduğu potansiyelin değerlendirilmesinin eksik olduğu görülmektedir. Çalışmalar bölge, il ve ilçe bazlı yapılmış ancak Türkiye'nin her ilinde biyogaz tesisinin bulunması durumunda oluşabilecek enerji potansiyeli konusu eksik kalmıştır. Yapılan bu çalışma bu eksikliği kapatma amacını taşımaktadır ve ülkemizin biyogaz enerjisi konusunda sahip olduğu toplam potansiyeli gözler önüne sermeyi hedeflemektedir.

## 2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada biyogaz potansiyeli ve buna bağlı olarak üretilebilecek elektrik enerjisinin miktarının belirlenmesi amacıyla Türkiye'nin 7 bölgesinde mevcut olan büyükbaş (sığır, manda), küçükbaş (koyun, keçi) ve kanatlı (tavuk, hindi, kaz, ördek) hayvan sayıları 2021 yılına ait Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerinden elde edilmiştir ve yapılan hesaplamalar sonucunda değerlendirmelerde bulunulmuştur (TÜİK, 2021).

Bu çalışmada hayvan gübresinden üretilen biyogaz miktarı, hayvanın ağırlığına bağlı olarak tahmin edilen değer ile hesaplanmıştır. Diğer parametreler, hayvan gübresinin toplam katı oranı, üretilen yaklaşık biyogaz miktarı ve toplanabilirlik katsayısıdır. Bu değerlere uygun olarak biyogaz miktarı üretilebilecek elektrik enerjisinin hesaplamasında kullanılmıştır.

### 2.1. Hayvan sayısı verileri

Türkiye sahip olduğu hayvan sayısı bakımından oldukça avantajlı bir ülkedir. Buna bağlı olarak da hayvanların üretilbileceği gübre miktarları da aynı oranda yüksek olacaktır. TÜİK verilerine göre ülkemiz toplamda 18.036.117 adet büyükbaş (sığır, manda), 57.519.204 adet küçükbaş (koyun, keçi) ve

398.115.160 adet kanatlı (tavuk (et ve yumurta), hindi, kaz ve ördek) hayvana sahiptir (TÜİK, 2021). Türkiye'nin 7 bölgesine ait büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvanların toplam sayıları Çizelge 1'de gösterilmektedir (TÜİK, 2021).

Çizelge 1. Türkiye'deki büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvan sayılarının bölgesel dağılımları

Bölgeler	Büyükbaş Hayvan Sayısı	Küçükbaş Hayvan Sayısı	Kanatlı Hayvan Sayısı	Toplam
Akdeniz	1.394.155	7.371.283	37.088.650	45.854.088
Doğu Anadolu	3.607.342	13.754.103	18.030.365	35.391.810
Ege	2.886.770	5.952.814	112.797.991	121.637.575
Güneydoğu Anadolu	1.608.028	10.595.569	11.605.247	23.808.844
İç Anadolu	3.972.947	12.145.693	42.890.032	59.008.672
Karadeniz	2.579.035	2.747.927	65.528.317	70.855.279
Marmara	1.987.840	4.951.615	110.172.528	117.111.983

Çizelge 1 verileri incelendiğinde toplam hayvan sayısında Ege Bölgesi'nin 1. sırada ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin en son sırada yer aldığı görülmektedir.

## 2.2. Gübre miktarının hesaplanması

Hayvansal atıklardan elde edilen biyogaz potansiyeli; toplam katı madde oranı, beslenme rejimi, vücut ağırlığı, hayvan türü ve atık mevcudiyeti gibi çeşitli faktörlerden etkilenmektedir (Caliskan & Tumen Ozdil, 2021).

Bu çalışmada biyogaz üretiminin hesaplanması için gerekli olan hayvan gübresi miktarında bazı varsayımlar yapılarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Canlı ağırlıkları büyükbaş hayvanlar için 250 kg, küçükbaş hayvanlar için 40 kg ve kanatlı hayvanlar için 1,5 kg olarak kabul edilmiştir. Büyükbaş hayvanların, küçükbaş hayvanların ve kanatlı hayvanlarının gübre miktarı sırasıyla 0,09; 0,04 ve 0,03 alınarak vücut ağırlıklarıyla orantılı olarak hesaplanmıştır (Caliskan & Tumen Ozdil, 2021).

Hayvanlardan elde edilecek gübre miktarlarının hesaplanmasında vücut ağırlıkları, vücut ağırlıklarına göre üretilebilecek gübre miktarları, hayvan cinsine göre toplam sayı ve 1 yıl içerisindeki gün sayısı (365 gün) çarpılarak hesaplamalar yapılmıştır (Caliskan & Tumen Ozdil, 2021).

$$GM = VA \times \ddot{U}G \times HS \times GS \text{ (ton/yıl)} \quad (1)$$

Burada; GM: Gübre Miktarı (ton/yıl), VA: Vücut Ağırlığı (kg),  $\ddot{U}G$ : Üretilebilecek Gübre (kg), HS: Hayvan Sayısı (bin) olarak kullanılmıştır.

## 2.3. Gübrede üretilen biyogaz potansiyelinin hesaplanması

Elde edilen gübre miktarlarından oluşabilecek biyogaz potansiyelinin hesaplanması için gübre miktarı, gübredeki toplam katı miktarı, toplanabilirlik katsayısı ve üretilen tahmini biyogaz miktarı kullanılarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Katı miktarı, büyükbaş ve küçükbaş hayvanlar için %25, kanatlı hayvanlar için %29 olarak kabul edilmiştir (Avcioğlu & Turker, 2012; Afzeli ve ark., 2014; Caliskan & Tumen Ozdil, 2021). Tahmini biyogaz miktarı büyükbaş hayvanlar için 0,6; küçükbaş hayvanlar için 0,4 ve kanatlı hayvanlar için 0,8 olarak kabul edilmiştir. Toplanabilirlik katsayısı büyükbaş hayvanlar için %50, küçükbaş hayvanlar için %13 ve kanatlı hayvanlar için %99 olarak kabul edilmiştir (Caliskan & Tumen Ozdil, 2021).

$$TBP = GM \times KM \times TK \times TBM \text{ (m}^3\text{/yıl)} \quad (2)$$

Burada; TBP: Teorik Biyogaz Potansiyeli (m<sup>3</sup>/yıl), GM: Gübre Miktarı (ton/yıl), KM: Katı Miktarı TK: Toplanabilirlik Katsayısı, TBM: Tahmini Biyogaz Miktarı (m<sup>3</sup>/kg) olarak kullanılmıştır.

## 2.4. Biyogaz potansiyelinden üretilebilecek elektrik enerjisinin hesaplanması

Biyogazın enerji içeriği  $1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$  biyogaz kalorifik değeri dikkate alınarak  $6 \text{ kWh/m}^3$  kabul edilmiştir. Biyogaz dönüşümünün genel verimliliği de hesaba katılarak elektrik enerjisi hesabı yapılmıştır. Genel verimlilik %30 olarak kabul edilmiştir (Caliskan & Tumen Ozdil, 2021).

$$EE = TBP \times KD \times \eta \text{ (kWh/yıl)} \quad (3)$$

Burada; EE: Elektrik Enerjisi (kWh/yıl), TBP: Biyogaz Potansiyeli ( $\text{m}^3/\text{yıl}$ ), KD: Kalorifik Değer ( $\text{kWh/m}^3$ ) ve  $\eta$ : Genel verimlilik (%) olarak kullanılmıştır.

## 3. Bulgular ve Tartışma

Denklem (1) kullanılarak Türkiye’nin 2021 yılı içerisinde büyükbaş hayvan kaynaklı gübre miktarı  $147.846 \times 10^6$  ton/yıl, küçükbaş hayvan kaynaklı gübre miktarı  $33.591 \times 10^6$  ton/yıl ve kanatlı hayvan kaynaklı gübre miktarı ise  $6.539 \times 10^6$  ton/yıl olarak hesaplanmıştır (Çizelge 2).

Çizelge 2. Türkiye’nin hayvansal kaynaklı gübre miktarlarının bölgesel dağılımları (ton/yıl)

Bölge	Büyükbaş Hayvan Gübresi	Küçükbaş Hayvan Gübresi	Kanatlı Hayvan Gübresi	Toplam Hayvan Gübresi
Akdeniz	$11.449 \times 10^6$	$4.305 \times 10^6$	$609 \times 10^6$	$16.363 \times 10^6$
Doğu Anadolu	$29.625 \times 10^6$	$8.032 \times 10^6$	$296 \times 10^6$	$37.953 \times 10^6$
Ege	$23.708 \times 10^6$	$3.476 \times 10^6$	$1.853 \times 10^6$	$29.037 \times 10^6$
Güneydoğu Anadolu	$12.931 \times 10^6$	$6.188 \times 10^6$	$191 \times 10^6$	$19.310 \times 10^6$
İç Anadolu	$32.628 \times 10^6$	$7.093 \times 10^6$	$704 \times 10^6$	$40.425 \times 10^6$
Karadeniz	$21.180 \times 10^6$	$1.605 \times 10^6$	$1.076 \times 10^6$	$23.861 \times 10^6$
Marmara	$16.325 \times 10^6$	$2.892 \times 10^6$	$1.810 \times 10^6$	$21.027 \times 10^6$
Toplam	$147.846 \times 10^6$	$33.591 \times 10^6$	$6.539 \times 10^6$	$187.976 \times 10^6$

Diğer hayvanlarla karşılaştırıldığında, hayvan sayısı ve hayvan ağırlığından dolayı en fazla gübre miktarı %79 ile büyükbaş hayvanda görülürken, bunu %18 ile küçükbaş hayvan ve son olarak %3 ile kümes hayvanları takip etmektedir. Büyükbaş hayvan gübresi miktarının İç Anadolu Bölgesi’nde en fazla görülmesinin nedeni bölgenin besi hayvancılığı konusunda öncü olması ve hayvan sayısı bakımından diğer bölgelere göre avantajlı olmasıdır.

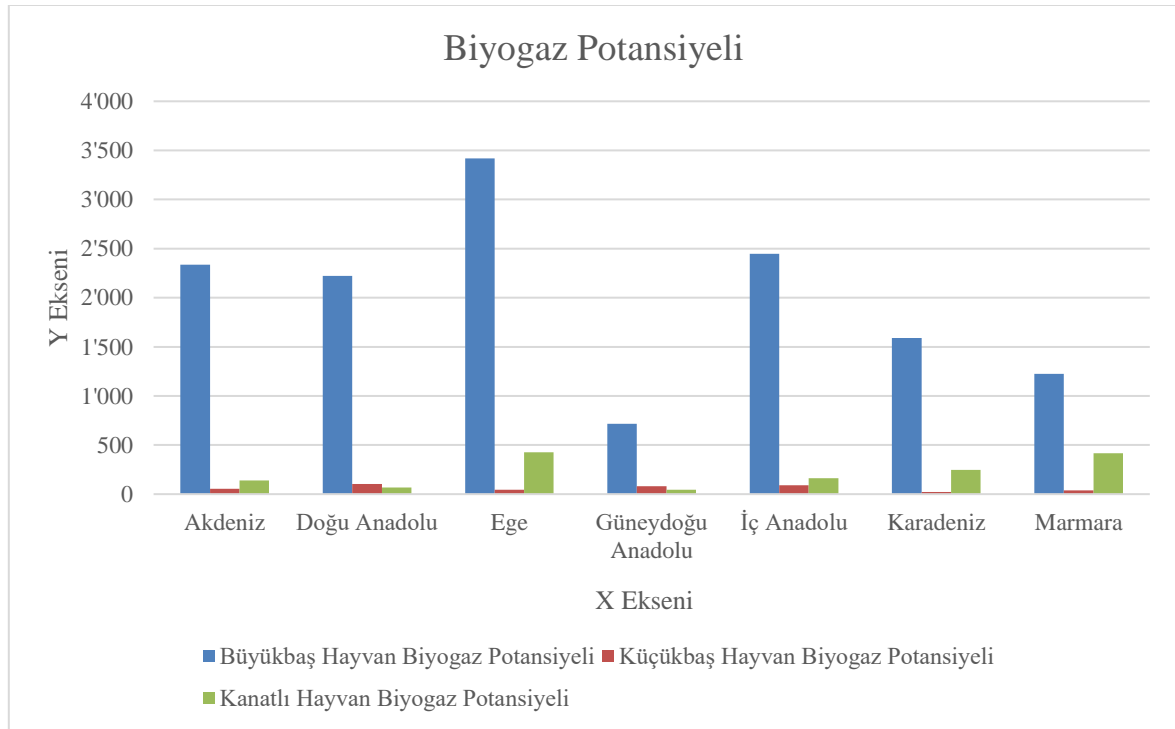
Bununla birlikte küçükbaş hayvan sayılarına bakıldığında en fazla hayvan gübresi  $8.032 \times 10^6$  ton/yıl ile Doğu Anadolu Bölgesi’nden elde edilmiştir. Bölgenin karasal ve iklimsel özelliklerinden dolayı mera ve çayır alanlar daha fazla yer kaplamaktadır. Bu nedenle Doğu Anadolu Bölgesi için hayvan sayısı ve bu hayvanlardan üretilen gübre miktarı daha fazladır. Ege Bölgesi’nde son yıllarda kanatlı hayvan yetiştiriciliği daha fazla ön plana çıkmıştır ve bu nedenle 2021 yılı için diğer bölgelere göre kanatlı hayvan sayıları daha fazladır. Bu bağlamda, Ege Bölgesi’nden elde edilen kanatlı hayvan gübre miktarı  $1.853 \times 10^6$  ton/yıl olarak tespit edilmiştir.

Denklem (2) kullanılarak Türkiye’nin 2021 yılı içerisinde biyogaz potansiyeli değerleri büyükbaş hayvanlar için  $13.955 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ , küçükbaş hayvanlar için  $436 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$  ve kanatlı hayvanlar için  $1.503 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$  olarak hesaplanmıştır (Çizelge 3).

Çizelge 3. Türkiye'nin hayvansal kaynaklı biyogaz potansiyellerinin bölgesel dağılımları (m<sup>3</sup>/yıl)

Bölge	Büyükbaş Hayvan Biyogaz Potansiyeli	Küçükbaş Hayvan Biyogaz Potansiyeli	Kanatlı Hayvan Biyogaz Potansiyeli	Toplam Biyogaz Potansiyeli
Akdeniz	2.337×10 <sup>6</sup>	56×10 <sup>6</sup>	140×10 <sup>6</sup>	2.533×10 <sup>6</sup>
Doğu Anadolu	2.222×10 <sup>6</sup>	104×10 <sup>6</sup>	68×10 <sup>6</sup>	2.394×10 <sup>6</sup>
Ege	3.418×10 <sup>6</sup>	45×10 <sup>6</sup>	426×10 <sup>6</sup>	3.889×10 <sup>6</sup>
Güneydoğu Anadolu	718×10 <sup>6</sup>	80×10 <sup>6</sup>	44×10 <sup>6</sup>	842×10 <sup>6</sup>
İç Anadolu	2.447×10 <sup>6</sup>	92×10 <sup>6</sup>	162×10 <sup>6</sup>	2.701×10 <sup>6</sup>
Karadeniz	1.589×10 <sup>6</sup>	21×10 <sup>6</sup>	247×10 <sup>6</sup>	1.857×10 <sup>6</sup>
Marmara	1.224×10 <sup>6</sup>	38×10 <sup>6</sup>	416×10 <sup>6</sup>	1.678×10 <sup>6</sup>
Toplam	13.955×10 <sup>6</sup>	436×10 <sup>6</sup>	1.503×10 <sup>6</sup>	15.894×10 <sup>6</sup>

Küçükbaş hayvanlardan elde edilen gübre miktarları kanatlı hayvanlardan elde edilen gübre miktarlarından daha fazla olmasına rağmen biyogaz potansiyeli açısından kanatlı hayvanlardan daha fazla biyogaz elde edilmektedir. Bunun nedeni ise kanatlı hayvanların KM, TK ve TBM değerlerinin diğer hayvan türlerine göre yüksek olmasıdır. Gübre miktarı kadar bu değerlerin de önemli faktörler olduğu saptanmıştır.



Şekil 1. Bölgeler bazında hayvansal gübrelerden elde edilen biyogaz potansiyelleri (m<sup>3</sup>/yıl).

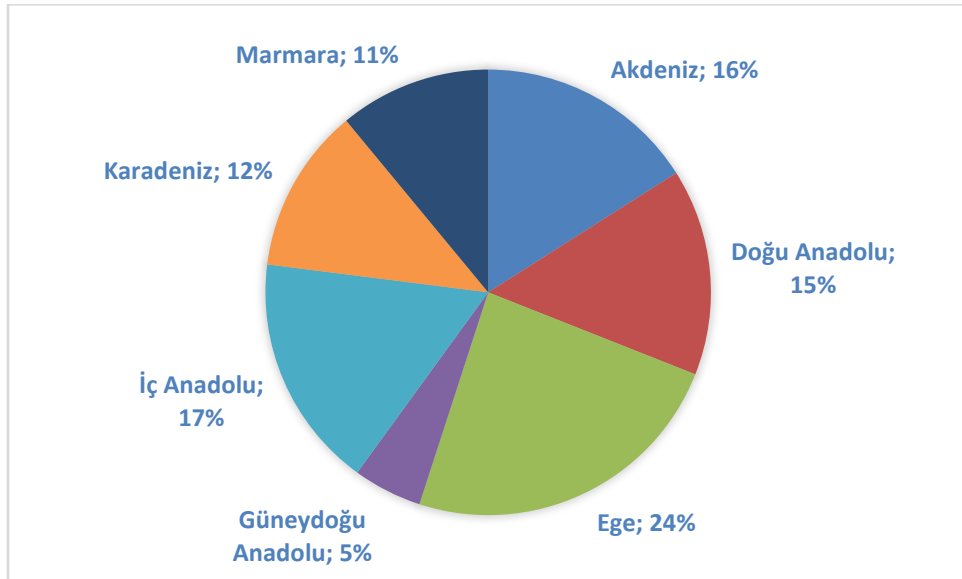
Çizelge 4'te biyogazdan elde edilen elektrik üretim potansiyelinin (kWh/yıl) 2021 yılı için Türkiye'nin bölgesel dağılımı sunulmaktadır. Hayvan gübresinden üretilen elektrik potansiyeli 2021 yılı için toplam 28.609×10<sup>6</sup> kWh/yıl'dır. Hesaplamalar Denklem 3 kullanılarak yapılmıştır.

Çizelge 4'ün hesaplamaları yapılırken biyogazın kalorifik değeri 6 kWh/m<sup>3</sup> ve dönüşüm verimliliği (%) 0,3 olarak alınmıştır.

Çizelge 4. Hayvan gübresinden elde edilen biyogazdan elektrik üretim potansiyeli

Bölge	Toplam Biyogaz Potansiyeli (m <sup>3</sup> /yıl)	Üretilen Elektrik (kWh/yıl)
Akdeniz	2.533×10 <sup>6</sup>	4.559×10 <sup>6</sup>
Doğu Anadolu	2.394×10 <sup>6</sup>	4.309×10 <sup>6</sup>
Ege	3.889×10 <sup>6</sup>	7.000×10 <sup>6</sup>
Güneydoğu Anadolu	842×10 <sup>6</sup>	1.516×10 <sup>6</sup>
İç Anadolu	2.701×10 <sup>6</sup>	4.862×10 <sup>6</sup>
Karadeniz	1.857×10 <sup>6</sup>	3.343×10 <sup>6</sup>
Marmara	1.678×10 <sup>6</sup>	3.020×10 <sup>6</sup>
Toplam	15.894×10 <sup>6</sup>	28.609×10 <sup>6</sup>

Biyogaz miktarıyla doğru orantılı olması nedeniyle en yüksek elektrik potansiyeli 7.000×10<sup>6</sup> kWh değeri ile Ege Bölgesi'nde belirlenmiştir. Ege Bölgesi ve İç Anadolu Bölgesi'nin coğrafi ve iklim koşulları ve halkın geçim kaynakları nedeniyle toplam büyükbaş ve küçükbaş hayvan sayısı ve özellikle kanatlı hayvan sayısı bakımında avantajlı olmaları elektrik üretim potansiyelinin diğer bölgelere göre daha yüksek olmasını sağlamıştır. Öte yandan Şekil 2, 2021 yılı için büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvanlarının gübresinden elde edilen elektrik üretiminin potansiyelinin yüzdelik dağılımını göstermektedir.



Şekil 2. Bölgelere göre üretilen elektrik miktarının (kWh/yıl) yüzdelik dağılımları.

Elektrik üretim potansiyelinin bölgesel bazda yüzdelik olarak değerlendirilmesinde Ege Bölgesinin %24 ile en yüksek değere sahip olduğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin ise %5 ile en az değere sahip olduğu görülmektedir. Bölgelerin sahip olduğu hayvan sayıları, üretilen gübre miktarları ve biyogaz potansiyelleri elektrik üretim miktarlarını da aynı oranda etkilemiştir.

Türkiye elektrik enerjisi tüketimi 2021 yılında bir önceki yıla göre %7,7 artarak 329.634×10<sup>6</sup> kWh olmuştur. Aşağıdaki çizelgede elektrik tüketiminin sektörlere göre dağılımları verilmektedir (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022).

Çizelge 5. Elektrik tüketiminin (kWh) sektörlere göre dağılımları

Sektör	Elektrik Tüketimi (kWh)	Oran (%)
Sanayi	$111.573 \times 10^6$	33,9
Kayıp-Kaçak	$76.600 \times 10^6$	23,2
Ticarethane	$61.361 \times 10^6$	18,6
Konut	$61.338 \times 10^6$	18,6
Tarımsal Sulama	$13.359 \times 10^6$	4,1
Aydınlatma	$5.403 \times 10^6$	1,6
Toplam	$329.634 \times 10^6$	100

Yapılan bu çalışmada biyogazdan elde edilebilecek elektrik enerjisi potansiyeli  $28.609 \times 10^6$  olarak tespit edilmiştir. Türkiye'nin 2021 yılında tüketmiş olduğu elektrik enerjisi miktarının  $329.634 \times 10^6$  olduğu göz önüne alındığında biyogazdan elde edilecek elektriğin toplam tüketimin %8,67'sini karşılayabileceği belirlenmiştir. Bu sonuç biyogaz enerjisinin ne derece önemli olduğunu gözler önüne sermektedir.

#### 4. Sonuç

Enerjide dışa bağımlılığın azaltılmasının en önemli yollarından biri doğru kaynağı bulmak ve bu kaynaktan en etkili şekilde yararlanmaktır. Fosil yakıtlara kıyasla hem temiz hem de sürekli olması nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi her geçen gün artmaktadır. Bu bağlamda biyogaz enerjisi umut vaat eden bir enerji kaynağını oluşturmaktadır. Ülkemiz gerek hayvansal kaynaklar gerekse bitkisel ürünler bakımından oldukça zengin bir potansiyele sahiptir. Biyogaz eldesi için de bu iki önemli kaynak kullanılmaktadır. Yapılan bu çalışmayla ülkemizin 7 bölgesinde mevcut hayvan sayıları (büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı) baz alınarak üretilebilecek gübre, biyogaz ve elektrik miktarları hesaplanmıştır. Ege ve İç Anadolu bölgeleri diğer bölgelere kıyasla biyogaz ve elektrik miktarı bakımından en yüksek değerleri gösteren bölgeler olmuştur. Güneydoğu ve Marmara bölgeleri ise biyogaz ve elektrik miktarı bakımından en düşük üretim miktarlarına sahip olan bölgeler olarak belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında yapılan hesaplamalar sonucunda hayvansal atıklardan elde edilen biyogaz miktarından yaklaşık olarak  $28.609 \times 10^6$  kWh elektrik enerjisi elde edilebileceği tespit edilmiştir. Ülkemizin her ilinde biyogaz tesisinin bulunması halinde elektrik ihtiyacının %8,67'sinin biyogaz kullanılarak karşılanacağı belirlenmiştir. Biyogazdan elektrik enerjisi elde edilmesinin aşağıdaki gibi sıralanan çok çeşitli yararları da mevcuttur.

A. Elektrik enerjisinin pahalı bir kaynak olması maddi açıdan problemler yaratmaktadır. 2021 yılı içerisinde kullanılan elektrik miktarının yaklaşık olarak 330 milyar kWh olduğu göz önüne alındığında ve 2021 yılı için 1 kWh elektrik enerjisinin 1 TL olduğu düşünüldüğünde toplamda 330 milyarlık bir maddi kaynağa ihtiyacın olduğu açıktır. Yapılan bu çalışmada biyogazdan elde edilen enerjinin yaklaşık %9'luk kısmı karşılayacağı hesaplanmıştır. Bu da ülke ekonomisi için 9 milyarlık bir kazanç demektir.

B. Günümüzün en önemli sorunlarından biri olan çevre kirliliğinin önüne geçilmesi konusunda her geçen gün yeni adımlar atılmaktadır. Hayvansal kaynaklı gübrelerin ortadan kaldırılarak enerji elde edilmesi için kullanılması gerek insan sağlığı açısından gerekse çevresel temizlik açısından (görüntü, kötü koku vb.) ciddi önem arz etmektedir.

C. Ayrıca bu konu istihdam kaynağı olarak da değerlendirilebilir. Kurulacak biyogaz tesislerinde çalıştırılacak elemanlar hem biyogaz konusunda bilgi ve tecrübe elde edebilecek hem de işsizliğin önüne geçilebilecektir.

Hayvan ve bitki sayısı bakımından birçok ülkeye göre oldukça avantajlı bir konumda olan ülkemizde biyogaz enerjisinden en etkili şekilde faydalanılabilmesi için biyogaz tesisi olmayan şehirlerimize bu tesisler kurulmalı, biyogaz konusunda detaylı araştırmalar yapılmalı ve kamuoyu biyogaz enerjisi konusunda bilinçlendirilmelidir.



## Kaynakça

- Afzeli, H., Jafari, A., Rafiee, S., & Nosrati, M. (2014). An investigation of biogas production potential from livestock and slaughterhouse wastes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 34, 380–386. doi:10.1016/j.rser.2014.03.016
- Aksay, M. V., & Tabak, A. (2022). Mapping of biogas potential of animal and agricultural wastes in Turkey. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 12, 5345-5362. doi:10.1007/s13399-022-02538-6
- Atılğan, A., Saltuk, B., Ertop, H., & Aksoy, E. (2021). Determination of the potential biogas energy value of animal wastes: Case of Antalya. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Ejosat 2021 Ocak, 263-272. doi:10.31590/ejosat.844631
- Atılğan, S., & Yılmaz, A. (2021). Mardin ilinin hayvansal gübre kaynaklı biyogaz potansiyelinin belirlenmesi. *Mühendis ve Makina*, 62(704), 429-445. doi:10.46399/muhendismakina.874857
- Avcioğlu, A. O., & Türker, U. (2012). Status and potential of biogas energy from animal wastes in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 1557–1531. doi:10.1016/j.rser.2011.11.006
- Ay, Ö. F., & Kaya, A. (2020). Kahramanmaraş ilinin biyogaz potansiyelinin farklı modeller kullanılarak belirlenmesi. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 34(2), 351-364.
- Caliskan, M., & Tumen Ozdil, N. F. (2021). Potential of biogas and electricity production from animal waste in Turkey. *Bioenergy Research*, 14, 860–869. doi:10.1007/s12155-020-10193-w
- Hengeveld, E. J., Bekkering, J., Van Gemert, W. J. T., & Broekhuis, A. A. (2016). Biogas infrastructures from farm to regional scale, prospects of biogas transport grids. *Biomass and Bioenergy*, 86, 43–52. doi:10.1016/j.biombioe.2016.01.005
- Lohri, C. R., Diener, S., Zabaleta, I., Mertenat, A., & Zurbrügg, C. (2017). Treatment technologies for urban solid biowaste to create value products: A review with focus on low- and middle- income settings. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 16, 81–130. doi:10.1007/s11157-017-9422-5
- Seyitoglu, S. S., & Avcioğlu, E. (2021). An investigation for the potential of biogas to be produced from animal waste in Corum. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 9(2), 246-261. doi:10.29109/gujsc.889846
- Şenol, H., Dereli, A. M., & Özbilgin, F. (2021). Investigation of the distribution of bovine manure-based biomethane potential using an artificial neural network in Turkey to 2030. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 149, 111338. doi:10.1016/j.rser.2021.111338
- T. C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2022). Elektrik. <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik> Erişim Tarihi: 23.05.2022.
- Tırnık, S. (2022). Hayvansal atıkların biyogaz üretim potansiyelinin hesaplanması: Iğdır ili örneği. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 12(1), 152-163. doi:10.21597/jist.1026987
- TÜİK. (2021). Türkiye'nin iller bazında mevcut hayvan sayıları, Türkiye İstatistik Kurumu. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Hayvansal-Uretim-Istatistikleri-Aralik-2021-45593> Erişim Tarihi: 24.04.2022
- Vindiš, P., Muršec, B., Rozman, Č., & Čuš, F. A. (2010). A multi-criteria assessment of energy crops for biogas production. *Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering*. 56(1), 63-70.
- Wall, D., Dumont, M., & Murphy, J. D. (2018). Green gas: Facilitating a future green gas grid through the production of renewable gas. [https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2018/04/green\\_gas\\_web\\_end.pdf](https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2018/04/green_gas_web_end.pdf) Erişim Tarihi : 06.04.2023