



## TÜRKİYE'DEKİ KESİMHANE ATIKLARINDAN VE ÇİFTLİK HAYVANLARI GÜBRELERİNDEN ELDE EDİLEBİLECEK BİYOGAZ POTANSİYELİNİN TESPİTİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

Salih SÖZER<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Akdeniz University, Vocational School of Technical Sciences, Department of Mechanical and Metal Technologies, 07070 Antalya, Türkiye

**Özet:** Organik materyallerin oksijensiz ortamda çürütülmesi sonucu elde edilen biyogaz, yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Günümüzde hem çevre kirliliğini önlemede hem de doğaya zarar vermeden temiz enerji üretiminde tercih edilen biyogaz teknolojisi, popülerliğini artıran ve hızla yaygınlaşan bir yöntemdir. Türkiye'nin nüfusu her geçen gün artmakta ve buna bağlı olarak tarımsal ürün üretimi ve enerji tüketimi de artmaktadır. Enerji konusunda kendi kendine yetemeyen ülkemizin mevcut kaynaklarını en iyi şekilde değerlendirmesi bir gerekliliktir. Türkiye'de artan nüfusun et ihtiyacının karşılanabilmesi için mevcut çiftlik hayvanı sayısı da buna bağlı olarak yükselmektedir. Buna paralel olarak çiftliklerde oluşan taze gübre miktarı, kesimhanelerde oluşan kan ve işkembe içerikleri de artmaktadır. Bu çalışmada 2022 yılı verileri kullanılarak kesilen çiftlik hayvanlarının kan ve işkembe içeriklerinden elde edilebilecek biyogaz miktarları ile mevcut çiftlik hayvanlarının taze gübre miktarından elde edilebilecek biyogaz miktarları hesaplanmıştır. Çalışma sonucuna göre kesimhane atıkları ve çiftlik hayvanlarının gübrelerinden elde edilebilecek biyogaz miktarı yıllık olarak 24,495 milyar m<sup>3</sup> ve bu miktardaki biyogazdan elde edilebilecek elektrik enerjisi miktarı 4,41×10<sup>10</sup> kWh'dir.

**Anahtar kelimeler:** Biyogaz, Kesimhane atıkları, Çiftlik hayvanları gübresi, Biyogaz potansiyeli


### A Research on the Determination of Biogas Potential from Slaughterhouse Wastes and Livestock Manure in Türkiye

**Abstract:** Biogas, which is obtained as a result of the decomposition of organic materials in an oxygen-free environment, is one of the renewable energy sources. Today, biogas technology, which is preferred both in preventing environmental pollution and in producing clean energy without harming nature, is a method that is increasing its popularity and rapidly spreading. Türkiye's population is increasing day by day and accordingly, agricultural product production and energy consumption are also increasing. It is a necessity for our country, which is not self-sufficient in energy, to make the best use of its existing resources. In order to meet the meat needs of the increasing population in Türkiye, the number of livestock available is increasing accordingly. In parallel with this, the amount of fresh manure generated in farms, blood and rumen contents in slaughterhouses are also increasing. In this study, the amount of biogas that can be obtained from the blood and rumen contents of slaughtered livestock and the amount of biogas that can be obtained from the fresh manure amount of existing livestock were calculated using the data for 2022. According to the results of the study, the amount of biogas that can be obtained from slaughterhouse waste and farm animal manure is 24.495 billion m<sup>3</sup> annually and the amount of electrical energy that can be obtained from this amount of biogas is 4.41×10<sup>10</sup> kWh.

**Keywords:** Biogas, Slaughterhouse waste, Livestock manure, Biogas potential

\*Sorumlu yazar (Corresponding author): Akdeniz University, Vocational School of Technical Sciences, Department of Mechanical and Metal Technologies, 07070 Antalya, Türkiye

E mail: sozer@akdeniz.edu.tr (S. SÖZER)

Salih SÖZER  <https://orcid.org/0000-0003-3083-9416>

**Gönderi:** 02 Nisan 2024

**Kabul:** 21 Mayıs 2024

**Yayınlanma:** 15 Temmuz 2024

**Received:** April 02, 2024

**Accepted:** May 21, 2024

**Published:** July 15, 2024

**Cite as:** Sözer S. 2024. A research on the determination of biogas potential from slaughterhouse wastes and livestock manure in Türkiye. BSJ Eng Sci, 7(4): 627-634.

### 1. Giriş

Günümüzde dünyanın en önemli sorunlarından bir tanesi küresel ısınmadır. Küresel ısınmaya bağlı olarak oluşan iklim değişiklikleri ve bozulan doğal denge, tüm insanlığın ve dünyamızdaki tüm canlıların geleceğini tehdit etmektedir. Küresel ısınmayı hızlandıran başlıca etmenlerin başında fosil kökenli yakıtların kullanılması gelmektedir. Sera gazları olarak bilinen ve fosil yakıtların yakılması sonucu büyük miktarlarda oluşan karbondioksit (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>) ve azot oksit (N<sub>2</sub>O) gazları küresel ısınmada büyük paya sahiptir. Sera

gazlarının dünya yüzeyinden yansıyan ısıyı çevreleyerek küresel ısınmada belirleyici bir faktör olduğu, CO<sub>2</sub>'nin en yüksek katkısı (%60) ve CH<sub>4</sub>'ün daha az etkisi olduğu iyi bilinmektedir (Williams ve ark., 2012; Hosseini ve ark., 2013; Hosseini ve Wahid, 2014; Rahimnejad ve ark., 2015; Abdeshahian ve ark., 2016). Normal koşullarda CH<sub>4</sub>'ün etkisi CO<sub>2</sub>'nin etkisinin 25 katıdır. Fakat fosil kökenli enerji kaynaklarının yoğun kullanımından dolayı CO<sub>2</sub> salınımı çok fazladır. Bu sebeple tüm dünyada küresel mücadele için CO<sub>2</sub> salınımının azaltılması üzerine plan ve programlar yapıp hedefler belirlenmektedir.



Fosil kökenli yakıtların rezervlerinin sınırlı oluşu ve çevresel etkileri, bilim insanlarını yenilenebilir enerji kaynaklarının daha verimli ve yaygın kullanımı ile diğer alternatif enerji kaynaklarının kullanımı konularında arayışlara itmektedir. Biyogaz organik maddelerin oksijensiz bir ortamda mikroorganizmalar tarafından parçalanması sırasında üretilir; buna genel olarak anaerobik fermentasyon adı verilir (Mata-Alvarez ve ark., 2000; Christy ve ark., 2014; Li ve ark., 2014; Cremiato ve ark., 2018). Anaerobik fermentasyon, belediye katı atıkları, gıda atıkları, endüstriyel atıklar, kanalizasyon çamuru, hayvan gübresi ve tarımsal kalıntılar gibi çeşitli organik atıkların arıtılması yoluyla atık malzemelerin enerji kaynaklarına dönüştürülmesine yönelik biyolojik bir süreç olarak bulunmuştur (Gebrezgabher ve ark., 2010; Çelik ve Demirer, 2015; Huang ve ark., 2015; Nitsos ve ark., 2015; Shen ve ark., 2015; Yong ve ark., 2015). Biyogaz, çoğunluğu metan (%60) ve karbondioksitten (%35-40) oluşan, çevresel açıdan avantajlı bir enerji kaynağıdır. Ayrıca biyogaz, amonyak (NH<sub>3</sub>), hidrojen sülfür (H<sub>2</sub>S), hidrojen (H<sub>2</sub>), oksijen (O<sub>2</sub>), azot (N<sub>2</sub>) ve karbon monoksit (CO) gibi diğer gazları da düşük miktarda içerir (Chasnyk ve ark., 2015; Sun ve ark., 2015). Biyogazın enerji olarak değerlendirilmesi yanında fermentasyon sonucunda geri kalan organik atık maddelerin koku problemi ve içerdikleri zararlı patojen problemleri de ortadan kaldırılmış olur. Ayrıca tarımsal atıkların fermentasyonu sonucunda, içeriği daha zengin, zararlı patojen içermeyen bir organik gübre elde edilir ve tarımsal üretimde rahatlıkla kullanılabilir.

Türkiye toplam 783.561 km<sup>2</sup> alana sahip bir ülkedir. Ülkemizin nüfusu 2023 yılı verilerine göre 85.372.377 kişidir (TÜİK, 2024a). Ülkemizin 2023 istatistiklerine göre; 38.559.000 hektar alanında tarımsal faaliyetler yürütülmektedir. (TÜİK, 2024b). Yıllar içinde artan nüfusun bitkisel ve hayvansal gıda ihtiyacının giderilebilmesi için tarımsal faaliyetlerde artmaktadır. Buna bağlı olarak tarımsal faaliyetlerden dolayı açığa çıkan organik atık miktarı da artmaktadır. Temel gıda maddelerinden olan kırmızı ve beyaz et ihtiyacının karşılanabilmesi için çiftlik hayvanları sayısında ve kesilen hayvan sayısında doğal bir artış gözlemlenmektedir. Kesilen hayvan sayılarında ve yetiştirilen hayvan sayılarındaki artışla birlikte açığa çıkan kesimhane atıkları ile taze gübre miktarları da yıldan yıla artmaktadır. Hayvansal atıkların (kesimhane ve taze gübre) düzenli bir şekilde kontrol edilememesi ve bu atıkların bilinçsizce tarım alanlarına, meralara ve akarsulara bırakılması, atmosferin, toprak ve su kaynaklarının kirlenmesine neden olmaktadır.

Ülkemiz hem enerji konusunda hem de gübre hammaddesi konusunda dışa bağımlı bir ülkedir. Bu sebeple mevcut kaynakların en verimli şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada ülkemizde oluşan kesimhane atıkları ve gübre atıkları miktarı 2022 verilerine göre belirlenerek elde edilebilecek biyogaz miktarı, bu gazın yakılması sonucu elde edilebilecek ısı değer ve biyogazın elektriğe

çevrilmesi sonucu elde edilebilecek elektrik enerjisi miktarı hesaplanmıştır.

## 2. Materyal ve Yöntem

Biyogaz potansiyelinin tespiti için öncelikle mevcut çiftlik hayvanları sayıları ele alınmıştır. Çiftlik hayvanlarından et ihtiyacı için kesilen çeşitlerin verisi kullanılarak yıllık olarak elde edilebilecek kesimhane atıkları miktarı bulunmuştur. Tüm çiftlik hayvanlarının sayısı temel alınarak yıllık üretilen taze gübre ve bundan elde edilecek miktar hesaplanmıştır. Bu veriler ışığında diğer çalışmalarda temel alınan veriler kullanılarak üretilebilecek biyogaz, ısı değer ve elektrik miktarı bulunmuştur.

### 2.1. Türkiye'nin Hayvan Varlığı

Ülkemizdeki tarımsal işletmelerin yapısına baktığımız zaman işletmelerin çoğunun hem hayvansal hem bitkisel üretimi birlikte yaptığını görmekteyiz. Yapılan istatistiklere göre ülkemizdeki tarımsal işletmelerin %37,2'si sadece bitkisel üretim, %0,2'si sadece hayvansal üretim ve %62,3'ü hem hayvansal hem bitkisel üretim yapmaktadır (TÜİK, 2008). Kısaca tarımsal işletmelerin büyük çoğunluğunda hayvancılık faaliyeti yürütülmektedir. Ülkemizdeki çiftlik hayvanları sayısı 2022 yılı verilerine göre 438.131.400'dür (TÜİK, 2024c). Çiftlik hayvanlarının cinsine ve sayılarına ait ayrıntılar Tablo 1'de görülmektedir.

**Tablo 1.** Türkiye'nin 2022 yılı çiftlik hayvanları sayısı (TÜİK, 2024c)

Hayvan türü	Hayvan sayısı (adet)
Sığır	17.023.791
Domuz	1.648
Koyun	44.687.888
Keçi	11.577.862
Hindi	3.669.726
At	74.359
Et tavuğu	251.289.799
Yumurta tavuğu	109.806.327
Genel Toplam	438.131.400

### 2.2. Kesimhane Atık Miktarlarının Belirlenmesi

Kesimhane atıkları olarak kan ve işkembe atıkları hesaplanmış ve hesaplamalarda söz konusu oluşan bu atıkların tamamının herhangi bir kayba uğramadan elde edileceği varsayılmıştır. Yapılan çalışmalarda kesim sonrası oluşan kan miktarı, hayvanın canlı ağırlığının belirli bir oranı olarak kabul edilmiştir. Bu oran kesilen büyükbaş hayvanlarda canlı ağırlığın %8,4'ü, kesilen küçükbaş hayvanlarda canlı ağırlığın %7'si olarak kabul edilmiştir (Abdeshahian ve ark., 2016; Khalil ve ark., 2019). Kesilen kanatlılarda bu oran canlı ağırlığın %3'ü olarak kabul edilmiştir (Afazeli ve ark., 2014). Burada kesim için getirilen hayvanların canlı ağırlıkları önem kazanmaktadır ve kesim için getirilen hayvanların belli

bir ağırlığa ve iriliğe ulaşmış olması gereklidir. Kesilen hayvanların canlı ağırlıklarının tespitinde kesilen hayvanlardan elde edilen et miktarı, kesilen hayvan sayısına bölünmüştür. Kesilen büyükbaş ve küçükbaş hayvanların canlı ağırlıklarının yaklaşık olarak %55'i karkas et olarak kabul edilmiştir (Akcan ve ark., 1989; Anonim, 2024a). Buna göre kesilen büyükbaş hayvan ağırlığı ortalama olarak 520 kg, koyun ağırlığı 41 kg ve keçi ağırlığı 34 kg olarak kabul edilmiştir. Kanatlılarda kesilen hayvanların canlı ağırlıklarının yaklaşık olarak %71,5'i karkas et olarak kabul edilmiştir (Anonim, 2024b). Buna göre ortalama tavuk ağırlığı 2,5 kg, hindi ağırlığı 13,4 kg olarak kabul edilmiştir. Kesilen hayvanların canlı ağırlıkları ile ilgili hesaplama Tablo 2'de verilmiştir. Kesilen hayvanların canlı ağırlıklarının ortalama değerlerden büyük ya da küçük olması, etin tazeliği ve tüketim alışkanlıklarına bağlanabilir. Özellikle büyükbaş ve keçilerde hayvan yaşlandıkça ağırlığı

artmasına rağmen eti sertleşir ve tercih edilme oranı düşer. Kümes hayvanlarında ise et veriminin yüksek olması istenir. Yapılan hesaplama göre 2022 yılında kesilen çiftlik hayvanlarından elde edilebilecek kan miktarı 421.871,452 tondur. Kesilen çiftlik hayvanlarından elde edilebilecek kan miktarları Tablo 3'te verilmiştir.

Kesilen büyükbaş, küçükbaş işkembe atıkları hesaplanırken büyükbaşlarda canlı ağırlığın %12'si, küçükbaşlarda %25'i kabul edilmiştir (Abdeshahian ve ark., 2016; Khalil ve ark., 2019). Kümes hayvanlarının iç organlarında işkembe diye bir sindirim organı bulunmadığından kümes hayvanlarından elde edilebilecek işkembe içeriği hesaplanmamıştır. Bu veriler ışığında 2022 yılında kesimhanelerde oluşan işkembe atığı miktarı kuru madde bazında 72.262,223 tondur. Kesilen çiftlik hayvanlarından elde edilebilecek işkembe atıkları miktarları Tablo 4'te verilmiştir.

**Tablo 2.** Türkiye'nin 2022 yılında kesilen hayvanların sayısı, karkas et miktarı ve tahmini canlı hayvan ağırlıkları

	Büyükbaş	Koyun	Keçi	Tavuk	Hindi
Kesilen hayvan sayısı (adet)	5.542.774*	21.563.828*	6.112.179*	1.347.727.000**	5.593.000**
Karkas Et (ton)	1.586.333	489.354,4	115.937,8	2.417.995,11	53.645,73
Karkas oranı	55%	55%	55%	71,50%	71,50%
Kesilen hayvan başına hesaplanan ortalama canlı ağırlık (kg)	520,361	41,261	34,488	2,509	13,415
Hesaplamalarda kabul edilen canlı ağırlık (kg)	520	41	34	2,5	13,4

\* TÜİK, 2023, \*\*TÜİK, 2024d

**Tablo 3.** Türkiye'nin 2022 yılında kesimhanelerde oluşan kan miktarları

	Sığır	Koyun	Keçi	Tavuk	Hindi
Kesilen Hayvan Sayısı	5.542.774*	21.563.828*	6.112.179*	1.347.727.000**	5.593.000**
Canlı ağırlık (kg)	520	41	34	2,5	13,4
Kan Yüzdesi	8%	7%	7%	3%	3%
Kan miktarı (t)	242.108,4	61.888,2	14546,9	101.079,6	2.248,4
Toplam			421.871,5		

\* TÜİK, 2023, \*\*TÜİK, 2024d

**Tablo 4.** Türkiye'nin 2022 yılında kesimhanelerde oluşan işkembe atığı miktarları (TÜİK, 2023)

	Sığır	Koyun	Keçi
Kesilen Hayvan Sayısı	5.542.774	21.563.828	6.112.179
Canlı ağırlık (kg)	520	41	34
İşkembe içeriği (%)	12%	25%	25%
İşkembe içerikleri (ton)	345.869,1	221.029,2	51.953,5
Toplam		618.851,9	

### 2.3. Toplam Biyogaz Potansiyelini Hesaplanması

Çiftlik hayvanlarının atıklarından üretilen biyogaz miktarı, besleme rejimi, hayvan türü, vücut ağırlığı, toplam katı madde oranı ve atık bulunabilirliği gibi farklı faktörlerden etkilenir (Avcıoğlu ve Türker, 2012;

Abdeshahian ve ark., 2016). Atığın toplam katı madde oranı, çiftlik hayvanlarının atıklardan biyogaz üretimi için önemli bir faktördür. Farklı çiftlik hayvanı atıklarındaki toplam katı madde oranları ve üretililecek biyogaz miktarları Tablo 5'te

görülmektedir (Omranı, 1996; Deublein ve Steinhauser, 2011; Avcioglu ve Türker, 2012; Afazeli ve ark., 2014; Abdeshahian ve ark., 2016).

Teorik biyogaz potansiyeli hesaplanırken elde edilebilir atık miktarı, bu atığın kabul edilen kuru madde oranı ve birim kuru madde başına üreteceği kabul edilen biyogaz miktarı çarpılarak hesaplanır. Bu hesaplama için Eşitlik 1 kullanılmıştır:

$$TBP = M \times KM \times B_{KM} \quad (1)$$

Bu eşitlikte TBP, teorik olarak elde edilecek biyogaz miktarını (m<sup>3</sup>/yıl), M ele alınan atığın elde edilebilir miktarını (kg/yıl), KM kullanılan atığın kuru madde oranını (% km), B<sub>KM</sub> ele alınan atığın kuru madde başında üretebileceği biyogaz miktarını (m<sup>3</sup>/ kg km) ifade etmektedir.

Bu çalışmada çiftlik hayvanlarının gübrelerinin kuru

madde içerikleri, kuru madde başına üretilebilecek biyogaz miktarları ile kan ve işkembe içeriklerinden üretilebilecek biyogaz miktarları baz alınırken benzer çalışmalardaki değerler kullanılmıştır (Afazeli ve ark., 2014; Abdeshahian ve ark., 2016; Khalil ve ark., 2019). Bu çalışmalarda kabul edilen ve makalelerde sunulan çiftlik hayvanlarının atıklarının biyogaz potansiyelleri ile ilgili bilgiler Tablo 5'te görülmektedir. Kuru madde oranı büyükbaş ve küçükbaş hayvanların taze gübreleri için %25, kümes hayvanları için %29 alınmıştır. Üretilebilecek biyogaz miktarları büyükbaş hayvanlar için 0,6 m<sup>3</sup>/kg km, küçükbaş hayvanlar için 0,4 m<sup>3</sup>/kg km ve kümes hayvanları için 0,8 m<sup>3</sup>/kg km değerleri alınmıştır. Kan ve işkembe içerikleri için üretilebilecek biyogaz miktarı ise her kg taze atık için 0,3 m<sup>3</sup> olarak alınmıştır.

**Tablo 5.** Çiftlik hayvanları atıklarının biyogaz potansiyelleri

Atık çeşidi	Kuru madde (%)	Biyogaz (m <sup>3</sup> /kg kuru madde)
Büyükbaş taze gübresi	25-30	0,6-0,8
Küçükbaş taze gübresi	18-25	0,3-0,4
Kümes hayvanları taze gübresi	10-29	0,3-0,8
Kan	18	0,3-0,6*
İşkembe içeriği	12-16	0,3-0,6*

\*Biyogaz (m<sup>3</sup>/kg madde)

#### 2.4. Metan İçeriğinin ve Üretilebilecek Elektrik Miktarının Saptanması

Yapılan çalışma sonuçlarına göre anaerobik fermentasyon sonucu büyükbaş hayvanların gübresinden elde edilen biyogazın metan içeriği %50-70 arasında değişmektedir (Omar ve ark., 2008; Nasir ve ark., 2012; Ounnar ve ark., 2012; Nasir ve ark., 2013; Abdeshahian ve ark., 2016). Küçükbaş hayvanların gübresinden elde edilen biyogazın metan içeriği %40-50 arasında değişmektedir (Abdeshahian ve ark., 2016). Kümes hayvanların gübresinden elde edilen biyogazın metan içeriği %50-70 arasında değişmektedir (Nasir ve ark., 2012; Noorollahi ve ark., 2015; Abdeshahian ve ark., 2016). Bu çalışmada yapılan metan içeriği hesaplamalarında biyogaz içerikleri büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvanları için sırasıyla %60, %45 ve %60 olarak alınmıştır. Kan ve işkembe atıklarından elde edilen biyogazın metan içeriği de %60 olarak alınmıştır.

Elde edilecek ısı değerinin hesaplamasında elde edilebilecek biyogazın metan içeriği temel alınmıştır. Metanın yanması sonu elde edilebilecek ısı miktarı hesaplanmıştır. Metanın ısı dönüşüm verimi %85 olarak kabul edilerek, 1 m<sup>3</sup> metanın ısı değeri 36 MJ olarak alınmıştır (Abdeshahian ve ark., 2016).

Üretilebilecek elektrik miktarı hesabında öncelikle elde edilen biyogazın enerji içeriği saptanmıştır. Bu içeriğin saptanmasında Eşitlik 2 kullanılmıştır.

$$E_{Biyogaz} = EI_{Biyogaz} \times M_{Biyogaz} \quad (2)$$

Bu eşitlikte E<sub>Biyogaz</sub> biyogazın ham enerji içeriğini (kWh/yıl), EI<sub>Biyogaz</sub> biyogazın ısı değerini (kWh/m<sup>3</sup>),

M<sub>Biyogaz</sub> yıllık üretilen biyogaz miktarını (m<sup>3</sup>/yıl) temsil etmektedir. Eşitlikteki EI<sub>Biyogaz</sub> değeri 6 kWh/m<sup>3</sup> olarak kabul edilmiştir (Hosseini ve Wahid, 2014; Abdeshahian ve ark., 2016).

Biyogazın elektrik enerjisine çevrilmesi için biyogaz jeneratörlerinde yakılması gerekir. Biyogazdan elde edilebilecek elektrik enerjisinin hesaplanmasında Eşitlik 3 kullanılmıştır.

$$EE_{Biyogaz} = E_{Biyogaz} \times \eta \quad (3)$$

Bu eşitlikteki EE<sub>Biyogaz</sub> biyogazdan elde edilebilecek elektrik enerjisini (kWh/yıl), E<sub>Biyogaz</sub> biyogazın ham enerji içeriğini (kWh/yıl) ve η ise jeneratör verimini (%) ifade etmektedir. Biyogazın elektrik enerjisine çevrilmesinde kullanılan jeneratör tipine göre verim değeri %25-%42 arasında değişmektedir (Hosseini ve Wahid, 2014; Abdeshahian ve ark., 2016). Bu çalışmada biyogaz jeneratörü verim değeri %30 olarak kabul edilmiştir.

### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1. Taze Gübre Miktarlarının Saptanması

Gübre potansiyelinin hesaplanması için iki ayrı yöntem kullanılmıştır. Bunlardan birincisi Özcan ve ark. (2011)'nin kullandığı hesaplama yöntemine göre toplam taze gübre potansiyeli bulunmuştur. Bu hesaplama yönteminde sadece hayvan varlığı büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvanları olarak sınıflandırılarak hesaplama yapılmıştır. Çiftlik hayvanlarının yıllık yaş gübre üretimi baz alınmış ardından kullanılabilirlik oranları eklenerek yıllık kullanılabilir taze gübre üretimi 126,8 Mton/yıl

olarak hesaplanmıştır. Hesaplamanın ayrıntıları Tablo 6'da görülmektedir. İkinci yöntemde ise Amerikan ziraat mühendisleri birliğinin ASAE D384.1 numaralı standardından faydalanılarak her çiftlik hayvanına göre ayrı ayrı hesaplanmıştır (ASAE, 2003). Bu standartta 1.000 kg canlı ağırlığın ürettiği gübre baz alınmıştır. Her hayvanın canlı ağırlıkları ayrı ayrı verilmiştir. Amerikan ziraat mühendisleri birliğinin standartlarına göre elde

edilebilecek taze gübre miktarı 186,724 Mton/yıl'dır. Bu yöntem ilk yöntem göre daha ayrıntılı bir yöntemdir. Hesaplamanın ayrıntıları Tablo 7'de görülmektedir. Bu çalışmada her iki yöntemle hesaplanan taze gübre miktarlarının ortalama değerleri temel alınacaktır. Ortalama olarak taze gübre üretim değerleri büyükbaş hayvanlar için, 140,551 Mton/yıl, küçükbaş hayvanlar için 4,865 Mton/yıl ve kümes hayvanları için 11,267 Mton/yıl alınmıştır.

**Tablo 6.** Yıllık elde edilebilir taze gübre potansiyeli (Özcan ve ark., 2011)

	Büyükbaş	Küçükbaş	Kümes
Hayvan sayısı*	17.023.791	56.265.750	361.096.026
Birim yaş gübre miktarı (t/yıl)	9,95	0,82	0,03
Toplam yaş gübre miktarı (Mt/yıl)	169,387	46,138	10,833
Toplam üretilen taze gübre miktarı (Mt/yıl)			226,358
Kullanılabilirlik (%)	65	13	99
Kullanılabilir toplam taze gübre miktarı (Mt/yıl)	110,101	5,998	10,725
Genel Toplam		126,824	

\*2022 TÜİK verileri (TÜİK, 2024c), Mt= milyon ton

**Tablo 7.** Amerikan Ziraat Mühendisleri Birliği standartlarına göre gübre potansiyeli (ASAE, 2003)

Hayvan türü	Hayvan sayısı	Canlı ağırlık (kg)	1.000 kg canlı ağırlık için üretilen gübre (kg/gün)	Yıllık taze gübre üretim miktarı (Mt/yıl)	Ahırda kalma oranları (%)	Elde edilebilir gübre miktarı (Mt/yıl)
Sığır	17.023.791	640	86	342,001	50	171,001
Domuz	1.648	61	84	0,003	80	0,002
Koyun	44.687.888	27	40	17,616	13	2,290
Keçi	11.577.862	64	41	11,089	13	1,442
Hindi	3.669.726	6,8	47	0,428	68	0,291
At	74.359	450	51	0,623	29	0,181
Et tavuğu	251.289.799	0,9	85	7,017	99	6,946
Yumurta tavuğu	109.806.327	1,8	64	4,617	99	4,571
Genel Toplam	438.131.400			383,394		186,724

### 3.2. Biyogaz Potansiyeli ve Isıl Değeri

Türkiye'deki 2022 yılı verilerine göre 5.542.774 adet büyükbaş, 27.676.007 adet küçükbaş, 1.353.320.000 adet kümes hayvanı kesilmiştir. Bu kesimler sonucunda kesimhanelerde oluşan 421.871,452 ton kandan  $126,6 \times 10^6$  m<sup>3</sup> biyogaz üretilir. Oluşan biyogazın yakılmasıyla  $2,32 \times 10^9$  MJ'lük bir ısı elde edilebilir. Büyükbaş ve küçükbaş hayvanların kesimi sonucunda kesimhanelerde oluşan 618.851,856 ton işkembe atıklarından elde edilebilecek biyogaz miktarı toplam olarak  $185,7 \times 10^6$  m<sup>3</sup>tür. Oluşan biyogazın metan içeriğinin yakılmasıyla  $3,41 \times 10^9$  MJ'lük bir ısı elde edilebilir. Ülkemizdeki çiftlik hayvanlarının ürettiği elde edilebilir yıllık taze gübreden elde edilebilecek biyogaz miktarı toplam olarak  $24.182,9 \times 10^6$  m<sup>3</sup>tür. Oluşan biyogazın metan içeriğinin yakılmasıyla  $4,42 \times 10^9$  MJ'lük bir ısı elde edilebilir. Tüm bu atıklardan elde edilebilecek toplam ısı miktarı  $4,47 \times 10^{11}$  MJ'dür. Bu

hesaplamalarla ilgili ayrıntılar Tablo 8'de görülmektedir.

### 3.3. Üretililecek Elektrik Enerjisi

Türkiye'de 2022 yılında kesimhanelerde oluşan 421.871,452 ton kandan  $126,6 \times 10^6$  m<sup>3</sup> biyogaz üretilir ve bu biyogazın %30 verimle çalışan biyogaz jeneratörlerinde yakılmasıyla  $2,28 \times 10^8$  kWh elektrik elde edilebilir. Büyükbaş ve küçükbaş hayvanların kesimi sonucunda kesimhanelerde oluşan 618.851,856 ton işkembe atıklarından elde edilebilecek biyogaz miktarı toplam olarak  $185,7 \times 10^6$  m<sup>3</sup>tür ve bu biyogazın, biyogaz jeneratörlerinde yakılmasıyla  $3,34 \times 10^8$  kWh elektrik elde edilebilir. Ülkemizdeki çiftlik hayvanlarının ürettiği elde edilebilir yıllık taze gübreden elde edilebilecek biyogaz miktarı toplam olarak  $24.182,9 \times 10^6$  m<sup>3</sup>tür ve bu biyogazın, biyogaz jeneratörlerinde yakılmasıyla  $4,35 \times 10^{10}$  kWh elektrik elde edilebilir. Tüm bu atıklardan elde edilebilecek toplam elektrik enerjisi



miktarı  $4,41 \times 10^{10}$  kWh'tir. Bu hesaplamalarla ilgili ayrıntılar Tablo 9'da görülmektedir.

Yapılan diğer çalışmaların yapıldığı baktığımızda her ülkenin nüfusu ve beslenme alışkanlıkları farklılık göstermektedir. Buna bağlı olarak üretilen ve tüketilen et miktarı, yetiştirilen çiftlik hayvanı sayıları da birbirinden çok farklıdır. Elde edilen potansiyeller bu nedenle farklı farklı çıkmıştır. Hesaplamalarda temel alınan kabuller arasında bir birliklilik söz konusudur. Fakat diğer çalışmalar ile bu çalışma arasında bazı farklar görülmektedir. Afazeli ve ark. (2014) ile Abdeshahian ve ark. (2016) büyükbaş hayvan canlı ağırlığı 250 kg, küçükbaş canlı ağırlığını 40 kg ve kümes hayvanı ağırlığını 1,5 kg olarak standart alıp kan üretimi miktarlarını, işkembe atıkları üretimi miktarlarını ve taze gübre üretim miktarını hesaplamışlardır. Abdeshahian ve ark. (2016) ile Khalil ve ark. (2019) yaptıkları çalışmada kan atıklarının hesabında kümes hayvanlarından elde edilebilecek miktarı ihmal edilebilir bir değer olarak kabul ederek hesaplamalarında kullanmamışlardır. Afazeli ve ark. (2014) ise kümes hayvanlarından elde edilebilecek kan atıkları miktarını hesaplayarak veri olarak kullanmıştır. Bu çalışmada da kümes hayvanlarının kan atıkları miktarı hesaplanarak hesaplamalara dahil edilmiştir. Kan atıklarının hesabında Afazeli ve ark. (2014), Abdeshahian ve ark. (2016) ile Khalil ve ark. (2019) büyükbaş canlı hayvan ağırlıklarını ortalama 250 kg kabul ederek hesaplama yapmışlardır. Bu çalışmada kesilen hayvan ağırlıkları hesabında ortalama canlı ağırlık alınmamıştır. Elde edilen karkas et miktarı kesilen hayvan sayısına bölünüp, karkas

oranından canlı ağırlığa ulaşılmıştır. Kan miktarları hesaplanırken tüm çalışmada aynı oranlar kullanılmıştır. Kümes hayvanlarının iç organlarında işkembe diye bir sindirim organı bulunmadığından tüm çalışmada kümes hayvanlarından elde edilebilecek işkembe içeriği hesaplanmamıştır. Taze gübre hesabında Khalil ve ark. (2019) yaptıkları çalışmada kümes hayvanlarını yerli tavuk, yumurta tavuğu, et tavuğu, ördek, misk ördeği, tavşan, bildircin, güvercin olarak sınıflandırarak elde edilebilecek taze gübre miktarını daha ayrıntılı olarak hesaplamıştır. Taze gübre üretimi miktarı hesabında Afazeli ve ark. (2014) ile Abdeshahian ve ark. (2016) çalışmada büyükbaş hayvanlar için günlük 22,5 kg, küçükbaş hayvanlar için 1,6 kg, kümes hayvanları için 0,045 kg taze gübre temel alınarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada ise iki farklı taze gübre hesap yönteminin ortalaması alınmıştır. Noorollahi ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada her hayvan tipini ayrıntılandırmış ve ağırlığını farklı farklı olarak taze gübre hesabını yapmışlardır. Örneğin büyükbaş hayvanları süt sığıri, boğa, buzağı, dive, et sığıri, sığır, etlik buzağı gibi yedi farklı sınıfa bölerek her biri için ayrı ayrı ağırlıklar kabul etmiştir. Noorollahi ve ark. (2015) yaptığı bu çalışmada sadece gübre potansiyelini kullanarak hesaplama yapmışlardır. Bu tip bir ayrıntılaşma elbette daha doğru sonuçlar verecektir. Fakat Türkiye İstatistik Kurumu verilerinde bu tip bir ayrıntılaşma bulunmamaktadır. Sadece yerli sığır, kültür sığıri, melez sığır ve manda olarak sınıflama yapılmıştır. Bu çalışmada tüm büyükbaş hayvanlar tek tip olarak kabul edilerek hesaplamalar yapılmıştır.

**Tablo 8.** Kan, işkembe atıkları ve taze gübreden elde edilebilecek yıllık biyogaz, metan ve ısı değerleri

	Kan			İşkembe atıkları		Taze Gübre		
	Büyükbaş	Küçükbaş	Kümes	Büyükbaş	Küçükbaş	Büyükbaş	Küçükbaş	Kümes
Biyogaz (Mm <sup>3</sup> )	72,633	22,931	30,998	103,761	81,895	21.083,646	486,478	2.613,838
Metan (Mm <sup>3</sup> )	43,580	13,758	18,599	62,256	49,137	12.649,587	218,915	1.568,303
Isıl değer (MJ/yıl)	$1,33 \times 10^9$	$4,21 \times 10^8$	$5,69 \times 10^8$	$1,91 \times 10^9$	$1,50 \times 10^9$	$3,87 \times 10^{11}$	$6,70 \times 10^9$	$4,80 \times 10^{10}$
Toplam		$2,32 \times 10^9$		$3,41 \times 10^9$			$4,42 \times 10^9$	
Genel Toplam				$4,47 \times 10^{11}$				

**Tablo 9.** Kan, işkembe atıkları ve taze gübreden elde edilebilecek elektrik miktarları (kWh/yıl)

	Kan			İşkembe atıkları		Taze Gübre		
	Büyükbaş	Küçükbaş	Kümes	Büyükbaş	Küçükbaş	Büyükbaş	Küçükbaş	Kümes
Biyogaz (Mm <sup>3</sup> )	72,633	22,931	30,998	103,761	81,895	21.083,646	486,478	2.613,838
Elektrik (kWh)	$1,31 \times 10^{10}$	$4,13 \times 10^7$	$5,58 \times 10^7$	$1,87 \times 10^8$	$1,47 \times 10^8$	$3,79 \times 10^{10}$	$8,76 \times 10^8$	$4,70 \times 10^9$
Toplam		$2,28 \times 10^8$		$3,34 \times 10^8$			$4,35 \times 10^{10}$	
Genel Toplam				$4,41 \times 10^{10}$				

#### 4. Sonuç

Yeryüzündeki insan nüfusu arttıkça, üretilecek gıda miktarı, tüketilecek enerji miktarı ve oluşacak atık miktarları doğru orantılı olarak artacaktır. Sürdürülebilir bir gelişme için doğal dengenin korunması, dünyamızın

yeraltı ve yerüstü kaynaklarının kirletilmemesi gerekmektedir. Kalkınmanın ve gelişmenin temel unsurlarından olan enerjinin elde edilirken doğal dengenin korunması ve iklim değişikliklerinin engellenebilmesi için gerekli tedbirlerin alınması

gerekmektedir. Bugüne kadar ihmal edilen küresel ısınma ve buna bağlı olarak iklim değişikliği artık tüm dünyamızı ve üzerinde yaşayan tüm canlı türlerini tehdit etmeye başlamıştır. Bu sebeple atıl olan tüm kaynakların ekonomiye kazandırılması, yenilenebilir enerji kaynaklarının daha yoğun bir şekilde kullanılması, fosil kökenli enerji kaynaklarının hem kullanımının azaltılması hem de daha verimli olarak kullanılabilmesi bir gerekliliktir. Biyogaz teknolojisi hem organik atık bertarafında hem çevreci temiz enerji eldesinde hem de organik gübre üretiminde tercih edilmesi gereken eşsiz bir seçenektir.

Türkiye’de 2022 yılında kesimhanelerde oluşan 421.871,452 ton kandan  $126,6 \times 10^6$  m<sup>3</sup>, 618.851,9 ton işkembe atıklarından  $185,7 \times 10^6$  m<sup>3</sup>, mevcut çiftlik hayvanlarından elde edilebilecek  $156,7 \times 10^6$  ton kuru madde bazındaki gübreden  $24.182,9 \times 10^6$  m<sup>3</sup> biyogaz üretilebilir. Kesimhane atıkları ve çiftlik gübrelereinden oluşan bütün biyogazın %30 verimle çalışan biyogaz jeneratörlerinde yakılmasıyla  $4,41 \times 10^{10}$  kWh elektrik elde edilebilir ve ekonomiye kazandırılabilir.

#### Katkı Oranı Beyanı

Yazar(lar)ın katkı yüzdesi aşağıda verilmiştir. Yazar makaleyi incelemiş ve onaylamıştır.

	S.S.
K	100
T	100
Y	100
VTI	100
VAY	100
KT	100
YZ	100
KI	100
GR	100
PY	100
FA	100

K= kavram, T= tasarım, Y= yönetim, VTI= veri toplama ve/veya işleme, VAY= veri analizi ve/veya yorumlama, KT= kaynak tarama, YZ= Yazım, KI= kritik inceleme, GR= gönderim ve revizyon, PY= proje yönetimi, FA= fon alımı.

#### Çatışma Beyanı

Yazar bu çalışmada hiçbir çıkar ilişkisi olmadığını beyan etmektedirler.

#### Etik Onay Beyanı

Bu çalışmada hayvanlar ve insanlar üzerinde herhangi bir çalışma yapılmadığı için etik kurul onayı alınmamıştır.

#### Kaynaklar

Abdeshahian P, Lim JS, Ho WS, Hashim H, Lee CT. 2016. Potential of biogas production from farm animal waste in Malaysia. *Renew Sustain Energy Rev*, 60: 714-723.

Afazeli H, Jafari A, Rafiee S, Nosrati M. 2014. An investigation of biogas production potential from livestock and slaughterhouse wastes. *Renew Sustain Energy Rev*, 34: 380-386.

Akcan A, Gürdoğan T, Çetin İ. 1989. Farklı ağırlıklarda kesilen Holştayn besi danalarında kesim ve karkas özellikleri. *Lalahan Hayvan Araş Enstit Derg*, 29(1): 21-36.

Anonim. 2024a. <https://avesis.iuc.edu.tr/resume/downloadfile/bekiz?key=518f9569-1ec9-4105-b5ac-019761acef95> (Erişim tarihi: 01 Mayıs 2024).

Anonim. 2024b. [https://www.istib.org.tr/resim/siteici/files/K%C3%9CMES%20HAY\\_%20F%C4%B0RE%20VE%20RANDIMAN%20ORANLARI.pdf](https://www.istib.org.tr/resim/siteici/files/K%C3%9CMES%20HAY_%20F%C4%B0RE%20VE%20RANDIMAN%20ORANLARI.pdf) (Erişim tarihi: 01 Mayıs 2024).

ASAE. 2003. American society of agricultural engineers standards: D384. 1 FEB03 Manure Production and Characteristics. In: ASAE-The Society for engineering in agricultural, food, and biological systems 2950 Niles Rd., St. Joseph MI 49085-9659, US, pp: 145.

Avcıoğlu AO, Türker U. 2012. Status and potential of biogas energy from animal wastes in Turkey. *Renew Sustain Energy Rev*, 16(3): 1557-1561.

Chasnyk O, Sołowski G, Shkarupa O. 2015. Historical, technical and economic aspects of biogas development: Case of Poland and Ukraine. *Renew Sustain Energy Rev*, 52: 227-239.

Christy PM, Gopinath L, Divya D. 2014. A review on anaerobic decomposition and enhancement of biogas production through enzymes and microorganisms. *Renew Sustain Energy Rev*, 34: 167-173.

Cremaio R, Mastellone ML, Tagliaferri C, Zaccariello L, Lettieri P. 2018. Environmental impact of municipal solid waste management using Life Cycle Assessment: The effect of anaerobic digestion, materials recovery and secondary fuels production. *Renew Ener*, 124: 180-188.

Çelik İ, Demirer GN. 2015. Biogas production from pistachio (*Pistacia vera* L.) processing waste. *Biocatalysis Agri Biotech*, 4(4): 767-772.

Deublein D, Steinhauser A. 2011. Biogas from waste and renewable resources: an introduction. John Wiley & Sons. 2nd, Revised and Expanded edition, London, UK, pp: 578.

Gebrezgabher SA, Meuwissen MP, Prins BA, Lansink AGO. 2010. Economic analysis of anaerobic digestion—A case of Green power biogas plant in The Netherlands. *J Life Sci*, 57(2): 109-115.

Hosseini SE, Wahid MA, Aghili N. 2013. The scenario of greenhouse gases reduction in Malaysia. *Renew Sustain Energy Rev*, 28: 400-409.

Hosseini SE, Wahid MA. 2014. Development of biogas combustion in combined heat and power generation. *Renew Sustain Energy Rev*, 40: 868-875.

Huang R, Mei Z, Long Y, Xiong X, Wang J, Guo T, Luo T, Long E. 2015. Impact of optimized flow pattern on pollutant removal and biogas production rate using wastewater anaerobic fermentation. *BioResources*, 10(3): 4826-4842.

Khalil M, Berawi MA, Heryanto R, Rizalie A. 2019. Waste to energy technology: The potential of sustainable biogas production from animal waste in Indonesia. *Renew Sustain Energy Rev*, 105: 323-331.

Li, J, Wei L, Duan Q, Hu G, Zhang G. 2014. Semi-continuous anaerobic co-digestion of dairy manure with three crop residues for biogas production. *Bioresour Technol*, 156: 307-313.

Mata-Alvarez J, Macé S, Llabres P. 2000. Anaerobic digestion of organic solid wastes. An overview of research achievements

- and perspectives. *Bioresource Technol*, 74(1): 3-16.
- Nasir IM, Ghazi TIM, Omar R. 2012. Anaerobic digestion technology in livestock manure treatment for biogas production: a review. *Engin Life Sci*, 12(3): 258-269.
- Nasir IM, Ghazi TIM, Omar R, Idris A. 2013. Anaerobic digestion of cattle manure: Influence of inoculums concentration. *Int J Eng Technol*, 10: 22-26.
- Nitsos C, Matsakas L, Triantafyllidis K, Rova U, Christakopoulos P. 2015. Evaluation of Mediterranean agricultural residues as a potential feedstock for the production of biogas via anaerobic fermentation. *BioMed Res Inter*, 2015: 1-6.
- Noorollahi Y, Kheirrouz M, Asl HF, Yousefi H, Hajinezhad A. 2015. Biogas production potential from livestock manure in Iran. *Renew Sustain Energy Rev*, 50: 748-754.
- Omar R, Harun RM, Ghazi TIM, Wan Azlina WAKG, Idris A, Yunus R. 2008. Anaerobic treatment of cattle manure for biogas production. In *Proceedings Philadelphia, annual meeting of American institute of chemical engineers*, Nov. 16-21, Philadelphia, USA, pp: 1-10.
- Omrani GH. 1996. Basics biogas production from urban and rural waste. University of Tehran Publication, Tehran, Iran, pp: 143.
- Ounnar A, Benhabyles L, Igoud S. 2012. Energetic valorization of biomethane produced from cow-dung. *Procedia Engin*, 33: 330-334.
- Özcan M, Öztürk S, Yıldırım M. 2011. Türkiye'nin farklı kaynak tiplerine göre biyogaz potansiyellerinin belirlenmesi. IV Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, May 12-13, Kocaeli, Türkiye, ss: 243-247.
- Rahimnejad M, Adhami A, Darvari S, Zirepour A, Oh SE. 2015. Microbial fuel cell as new technology for bioelectricity generation: A review. *Alexandria Engin J*, 54(3): 745-756.
- Shen Y, Linville JL, Urgun-Demirtas M, Mintz MM, Snyder SW. 2015. An overview of biogas production and utilization at full-scale wastewater treatment plants (WWTPs) in the United States: challenges and opportunities towards energy-neutral WWTPs. *Renew Sustain Energy Rev*, 50: 346-362.
- Sun Q, Li H, Yan J, Liu L, Yu Z, Yu X. 2015. Selection of appropriate biogas upgrading technology-a review of biogas cleaning, upgrading and utilisation. *Renew Sustain Energy Rev*, 51: 521-532.
- TÜİK. 2008. Tarımsal işletme yapı istatistikleri. URL: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/DownloadIstatistikselTablo?p=OlqjtHcAiEmiY7omrp4YGoBdIqa7T2rAPsv118vwpmm4/2mVRlTg8cmNVE4Ai3XL> (Erişim tarihi: 01 Mart 2024).
- TÜİK. 2023. Hayvancılık istatistikleri. URL: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/DownloadIstatistikselTablo?p=V1mSk31FCPO0W/3BFM8hxeRl/03kDePybsSkmWgPXbFFT wZeJ/RgajWYjzlkR2Yp> (Erişim tarihi: 01 Mart 2024).
- TÜİK. 2024a. Adrese dayalı nüfus kayıt sistemi sonuçları 2023. URL: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuculari-2023-49684>. (Erişim tarihi: 01 Mart 2024).
- TÜİK. 2024b. Tarım İstatistikleri. URL: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/DownloadIstatistikselTablo?p=CVXzOLEo2fd/A5OeYXrKROAKCq9r/Rf7YQsRKqj3CRarD4rz A/RvgsX/JMWIBrcv> (Erişim tarihi: 01 Mart 2024).
- TÜİK. 2024c. Hayvancılık İstatistikleri. URL: <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=Tarim-111> (Erişim tarihi: 01 Mart 2024).
- TÜİK. 2024d. Hayvancılık İstatistikleri. URL: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/DownloadIstatistikselTablo?p=2ceRS4u4nW0GZknQMerJ34zZwjB2sljUoOWlurUemNTunPvdm9GsRe6xxwFXrP3l> (Erişim tarihi: 01 Mart 2024).
- Williams JB, Shobrak M, Wilms TM, Arif IA, Khan HA. 2012. Climate change and animals in Saudi Arabia. *Saudi J Biol Sci*, 19(2): 121-130.
- Yong Z, Dong Y, Zhang X, Tan T. 2015. Anaerobic co-digestion of food waste and straw for biogas production. *Renew Energy*, 78: 527-530.