

# Hayvansal atıkların yönetimi, Bursa-Karacabey örneği

Saadet HACISALİHOĞLU\*

Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye

Geliş Tarihi (Received Date): 19.07.2022

Kabul Tarihi (Accepted Date): 19.01.2023

## Öz

Dünya genelinde yaşanan hızlı nüfus artışı beraberinde besin maddelerine olan gereksinimi de arttırmıştır. Bu artıştan dolayı tarım ve hayvancılık faaliyetleri de ivme kazanmıştır. Özellikle hayvancılık faaliyetlerine dayalı ürünlerin besin içeriklerinin yüksek olması bu sektörden elde edilecek ürünlerde verim ve miktar artışına yön vermiştir. Ancak artan üretim faaliyetleri bu faaliyetlerden kaynaklı atık miktarlarının artmasına ve çeşitli çevre sorunlarına neden olmuştur. Bu çalışmada Bursa'nın Karacabey ilçesinde 2019, 2020 ve 2021 yıllarında mevcut, büyükbaş (BBH), küçükbaş (KBH) ve kümes hayvanı (KH) sayıları esas alınarak, hayvansal kaynaklı atıkların gübre içerikleri belirlenmiştir. Ayrıca, oluşan gübrelerin teorik biyogaz içerikleri hesaplanmıştır. Sonuç olarak, üç yılın sonunda 126.942.000,12 m<sup>3</sup>/yıl yaş gübre oluşma potansiyeli ve 166.707.000,10 m<sup>3</sup>/yıl biyogaz potansiyelinin elde edilebileceği hesaplanmıştır. Oluşan biyogazın 3.917.616,83 GJ/yıl enerji potansiyeline sahip olduğu ve bu enerjinin de Karacabey ilçesinin önemli oranda elektrik enerji ihtiyacını karşılayabileceği tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Atık yönetimi, biyogaz, gübre, hayvansal atık, kirlilik yükü.

## Management of animal waste, Bursa-Karacabey case study

### Abstract

The rapid population growth in the world has also increased the need for nutrients. Due to this increase, agricultural and animal husbandry activities have also gained momentum. Especially the high nutritional content of products based on livestock activities has led to an increase in yield and quantity in the products to be obtained from

\* Saadet HACISALİHOĞLU, saadet.hacisalihoglu@btu.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0001-5969-4180>

*this sector. However, increasing production activities have caused an increase in the amount of waste resulting from these activities and various environmental problems. In this study, the current bovine (BBH), small ruminant (KBH) and poultry (KH) numbers in Bursa's Karacabey district in 2019, 2020 and 2021 were used. Based on these numbers, the fertilizer contents of animal waste origin were determined. In addition, the theoretical biogas contents of the fertilizers formed were calculated. As a result, it has been calculated that 126.942.000.12 m<sup>3</sup>/year wet fertilizer formation potential and 166.707.00.10 m<sup>3</sup>/year biogas potential can be obtained at the end of three years. It has been determined that the generated biogas has an energy potential of 3.917.616,83 GJ/year and this energy can meet the electrical energy needs of Karacabey district to a significant extent.*

**Keywords:** *Waste management, biogas, fertilizer, animal waste, pollution load.*

## 1. Giriş

Küresel ölçekte yaşanan endüstrileşme süreci, tüketim alışkanlıklarının değişmesi ve hızlı nüfus artışı çeşitli çevresel sorunların oluşumuna neden olmaktadır [1]. Bu gelişmeler ile gıda ürünlerine olan ihtiyaç da artış göstermektedir. Temel gıda ihtiyaçlarının karşılanabilmesi için hayvansal üretimde de artış gözlenmektedir [2]. Hayvansal üretim faaliyetleri sonrasında ortaya çıkan hayvansal atıklar önemli bir potansiyele sahip olup, yüksek gübre niteliği taşımaktadır. Bu atıkların etkin yönetimi oluşan gübrenin, zirai faaliyetlerde kullanılması bitkilerde kalite ve verimin artmasını sağlamaktadır [3]. Ayrıca, gübre organik madde içeriği yönünden zengin bir yapıya sahip olduğu için toprak özelliklerinin iyileşmesini de sağlayacak, dolayısıyla ülke ekonomisine de önemli katkıları olacaktır. Bu tür atıkların gübre potansiyeli mevcudiyeti, atık olmaktan ziyade ekonomik bir değer olduklarını göstermektedir [4]. Ancak ülkemiz genelinde hayvansal atıklar ya gelişigüzel biriktirmekte ya da direk araziye atılmaktadır. Bu şekilde atıkların düzensiz yönetimi toprağın fiziksel özelliklerinin ve toprak kalitesinin bozulmasına, civar alanda yer alan su kaynaklarının kirlenmesine, sera gazı salınımına, koku ve görüntü kirliliği problemlerine neden olmaktadır [5].

Gelişmiş ülkelerde, son yıllarda toplam tarımsal üretim içerisinde hayvansal üretim miktarları önemli oranda artış göstermiştir [6]. Hayvansal üretim, bitkisel üretimden sonra önemli bir üretim koludur [7]. Hayvansal üretimin artışı, hayvansal atık miktarlarının da artışına yol açmıştır. Bu artış hem insan hem çevre sağlığını tehdit edebilmektedir. Dolayısıyla, bu atıkların etkin bir şekilde gübre olarak yönetimi olası zararların önüne geçilmesini sağlayacaktır. Hayvansal kaynaklı gübrenin değerlendirilebilmesi için kapalı ortamlarda veya gübre depolarında, uygun fiziksel koşullar sağlandıktan sonra biriktirilmelidir. Gübre depolarının zemin izolasyonu yapılmalı ve sızdırmazlıkları sağlanmalıdır. Ayrıca, su kaynaklarına zarar vermeyecek şekilde, havalandırılmalı sistemler şeklinde tasarlanmalıdır. Bölge iklim koşulları da gözetilerek yerleşim alanlarından uzaklara kurulmalıdır. Oluşan gübrenin bekletilmeden araziye uygulanması bitkilerin zarar görmesine ve çevresel problemler oluşmasına neden olmaktadır. Bu nedenle hayvansal atık kaynaklı gübrelerin altı ay gübre depolarında bekletildikten sonra kullanılması gerekmektedir [8]. Diğer taraftan hayvansal atıkların günümüzde daha etkin kullanımını sağlayacak yönde çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Tarımsal üretimde enerjinin verimli kullanılması olası çevresel problemleri en aza

indirecek, doğal kaynakların aşırı tüketimini azaltacaktır. Çevre dostu olan yenilenebilir enerji kaynakları (rüzgar enerjisi, güneş enerjisi, biokütle enerjisi, vb.) ile üretim faaliyetleri gerçekleştirilebilmektedir. Bu sayede küresel iklim değişikliğine neden olan karbondioksit (CO<sub>2</sub>) salınımının da azaltılmasına katkı sağlanmış olacaktır [9].

Biyogaz, organik içerikli atıkların oksijensiz ortamda fermente olmaları sonucu açığa çıkan gaz karışımıdır. Biyogaz olarak adlandırılan biyokütle enerjisi pek çok farklı kaynaktan temin edilebilmektedir. Bu kaynaklardan biri organik madde içeriği oldukça yüksek olan hayvan gübresidir. Bu nedenle hayvan gübresinden biyogaz enerjisi elde etme potansiyeli oldukça yüksektir [10]. Biyogaz bileşimi %60-70 metan (CH<sub>4</sub>), %25-40 karbondioksit (CO<sub>2</sub>) ve az miktarda da oksijen (O<sub>2</sub>), hidrojen sülfür (H<sub>2</sub>S), hidrojen (H<sub>2</sub>), azot (N<sub>2</sub>), amonyak (NH<sub>3</sub>) ve karbon monoksitten (CO) oluşmaktadır. Biyogaz üretiminin gerçekleştirilebilmesi için, ortamda uygun miktarda organik madde ve organik maddenin parçalanmasını sağlayacak yeterli miktarda bakteri bulunmalıdır. Ayrıca ortamın anaerobik koşullarda olması ve bakteri faaliyetlerinin gerçekleştirileceği uygun ortam ısısı gereklidir. Bu koşullar dikkate alınarak biyogaz tesislerinin işletilmesi sağlanır [11]. Hayvansal atıklardan elde edilen biyogaz sayesinde etkin bir şekilde atık yönetimi sağlanır. Bunun yanı sıra küresel ısınmanın azaltılmasına katkıda bulunulur. Biyogazın, ısı, elektrik ve akaryakıt olarak kullanımı mümkün olduğundan enerjide dışa bağımlılık azalmış olacaktır [1]. Ülkemiz, tarım ve hayvancılık sektörlerinde dünya geneline göre önemli bir konuma sahiptir. Bu nedenle ülkemizdeki biyogaz enerji potansiyelinin değerlendirilmesi, atık ve enerji yönetimi açısından önem arz etmektedir [6].

Bu çalışma kapsamında, Bursa'nın Karacabey ilçesinde hayvancılık faaliyetleri kaynaklı atıkların gübre ve biyogaz potansiyellerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bursa'nın Karacabey ilçesinde 2019, 2020 ve 2021 yıllarına ait BBH, KBH ve KH sayıları baz alınarak, bu hayvanlardan kaynaklı atıkların gübre içerikleri hesaplanmış, oluşan gübrenin de teorik biyogaz içerikleri belirlenmiştir. Ayrıca bu tür atıkların sebep oldukları çevresel kirlilik açısından da değerlendirilmiştir.

## **2. Materyal ve metot**

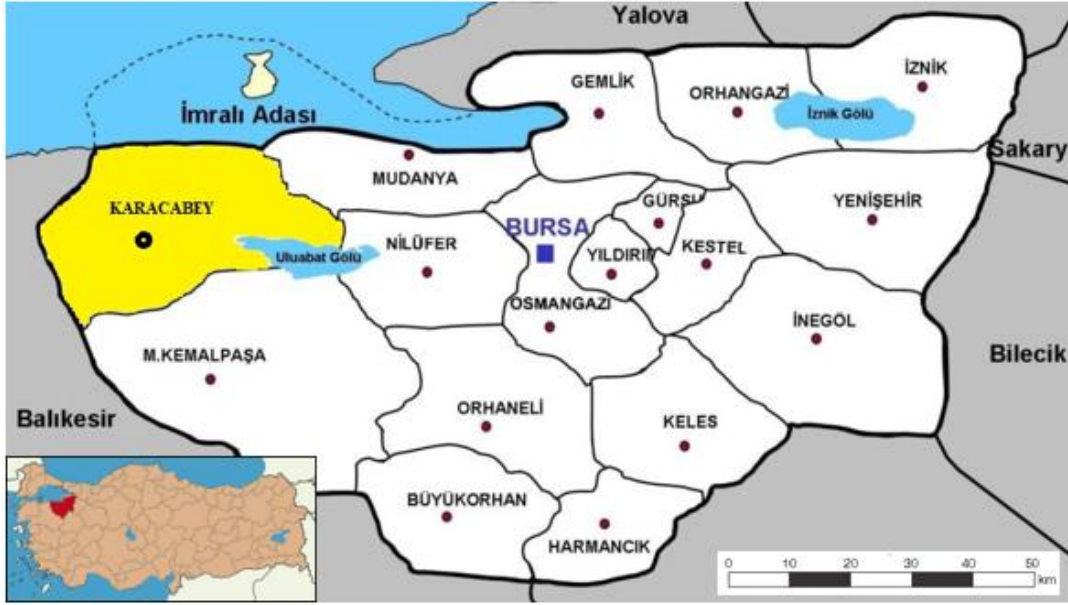
### **2.1. Materyal**

Hayvancılık faaliyetleri sonucu oluşan hayvansal atıkların gübre ve biyogaz değerlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla çalışma Bursa'nın yoğun hayvancılık faaliyetleri yapılan Karacabey ilçesinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada yapılan tüm hesaplamalarda Türkiye İstatistik Kurumu'nun (TÜİK), 2019, 2020 ve 2021 yılları BBH, KBH ve KH sayıları esas alınmıştır [12]. İlçede mevcut olan hayvan türleri, sayıları ve yıllara göre oluşabilecek gübre miktarları belirlenerek, bu gübrelerden elde edilebilecek biyogaz içerikleri hesaplanmıştır.

### **2.2. Çalışma alanı**

Bursa, Marmara Bölgesinin Güney Marmara bölümünde, 40° batı boylam ve 29° kuzey enlem dairelerinde yer almaktadır. Türkiye'nin dördüncü en kalabalık şehri olup, 17 ilçesi bulunmaktadır. Karacabey ilçesi, Bursa'nın 70 km batısında yer alıp, nüfus bakımından Bursa'nın 5. en büyük ilçesidir. İlçe toprakları yüksek verimli özelliğe sahip olup, en çok buğday, domates, arpa, mısır, fasulye, bezelye, şekerpancarı, pamuk, ayçiçeği ve tütün yetiştirilir. Ayrıca ilçede sebzeçilik ve meyvecilik de gelişmiştir. İlçede hayvancılık ileri düzeyde yapılmaktadır. Hayvancılık faaliyetleri halka büyük gelir sağlamakta ve önemli

geçim kaynağını oluşturmaktadır [13]. Çalışma alanına ait görsel harita Şekil 1’de sunulmuştur.



Şekil 1. Bursa, Karacabey ilçesi yer bildiri haritası

### 2.3. Metod

Gübre üretimi hayvanların beslenme ve su içme sıklıklarına, yedikleri besin türlerine göre değişkenlik gösterebilmektedir. Bunun yanı sıra hayvan cinsi, hayvanların ağırlığı, mevsim gibi faktörlerde önem arz etmektedir. Hayvansal atığın gübre niteliği taşıması için daha fazla azot, fosfor, karbon, potasyum, vb. içermesi gerekmektedir. Hayvan atıklarının biyolojik proseslere uygunluğu açısından önemli faktörlerden biri biyolojik olarak çözünürlüktür. Gübrenin içerdiği yüksek miktardaki lignin mikrobiyolojik atağa karşı direnç gösterdiğinden genelde büyükbaş hayvan atıklarının biyolojik çözünürlük oranı düşük olmaktadır. Hayvan türünün yanı sıra beslenme türü (yem, ot, vb.) ve günlük tükettikleri su miktarı, hayvan ağırlıkları da gübre kalitesini etkilemektedir. Bu gibi özellikler esas alınarak literatürde belirli kabuller yapılarak hesaplamalar yürütülmektedir [6, 14, 29-30]. Bu çalışmada Bursa’nın Karacabey ilçesinde 2019, 2020 ve 2021 yıllarında mevcut olan hayvan sayıları değerlendirilmiş ve bu veriler yardımıyla oluşabilecek gübre miktarları hesaplanmıştır. Hayvansal atıklardan oluşacak gübrenin hesaplanmasında hayvan türüne göre birim yükün bireysel olarak ölçülebilirliği söz konusu olmadığından literatürde öngörülen bazı kabullerin kullanılması gereklidir. Buna göre bu kabuller Tablo 1’de, hayvansal atık kaynaklı gübre ve biyogaz potansiyeli hesaplamasında kullanılan eşitlikler ise Tablo 2’de verilmiştir [5-6, 14-21]. Hesaplamalar Tablo 1’de verilen en büyük ve en küçük değer aralıkları baz alınarak yapılmış, bu aralıklar dışına çıkılmamıştır.

Tablo 1. Hayvan türlerine göre literatür katsayı değerleri

Simge	Katsayı / Birim	BBH	KBH	KH
A <sub>CH</sub>	Canlı Hayvan Ağırlığı (kg)	135-800	30-75	1,5-12
T <sub>YGM</sub>	Toplam Yaş Gübre Miktarı (kg/gün)	6-48	1,2-3,75	0,045-0,48
Y <sub>KG</sub>	Kullanılabilir Gübre (%)	65	13	99

$M_B$	Yaş gübreden elde edilen biyogaz oranı ( $m^3/ton$ )	33	58	78
$E_B$	Biyogaz ısı değeri ( $MJ/m^3$ )	20-27	20-27	20-27

Tablo 1 incelendiğinde  $A_{CH}$  (kg) hayvan türüne göre hayvanların ağırlıklarını ifade etmektedir. Hesaplamalarda bu değer BBH için 500 kg, KBH için 45 kg ve KH için ise 2 kg olarak kabul edilmiştir. Benzer şekilde Tablo 1'deki aralık değerleri dikkate alınarak üretilen toplam yaş gübre miktarları ( $T_{YGM}$ ; kg/gün) BBH için 27 kg/gün, KBH için 2,48 kg /gün ve KH için 0,26 kg/gün olarak alınmıştır.  $Y_{KG}$  (%) değeri hayvanların türlerine göre oluşan gübrenin kullanılabilirlik oranını ifade etmektedir. Hayvan türlerinin ahırda veya kümeste kalma süreleri dikkate alınarak, oluşan atığın kullanılabilirliğini ifade eden bu değer, hayvan türüne göre BBH için 0,65, KBH için 0,13 ve KH için de 0,99 olacak şekilde alınmıştır. Hesaplamalarda kullanılan  $N_{CH}$  değeri canlı hayvan sayısını ifade etmektedir.

Biyogazın üretim miktarı hayvan türü ve atık özelliğine göre farklılıklar gösterebilmektedir. 1 ton yaş gübreden elde edilen biyogaz miktarı  $M_B$  ( $m^3/ton$ ) ile ifade edilmekte olup, bu değer hayvan türüne göre BBH için 33  $m^3/ton$ , KBH için 58  $m^3/ton$  ve KH için de 78  $m^3/ton$  olarak alınmıştır [5-6, 22]. Hayvansal atıklardan elde edilen biyogaz enerjisinin ısı değerinin hesaplanabilmesi için, birim biyogazın ısı değerinden ( $E_B$ ;  $MJ/m^3$ ) faydalanılır. Oluşacak biyogazın içerdiği metan miktarına göre biyogaz ısı değeri 20-27  $MJ/m^3$  aralığında değişim göstermektedir [23-24]. Çalışmada bu değer 23,5  $MJ/m^3$  olarak alınmıştır. Biyogazın 23,5  $MJ$ 'lük ısı değerinin elektrik enerjisi eşdeğeri 6,53 kWh e eşdeğerdur yani 1 kWh elektrik enerji değeri 3,6  $MJ$  e eşittir [5-6]. Biyogazdan elektrik enerjisi üretimi için, elektrik ve ısı enerjisinin eş zamanlı kullanıldığı kojenerasyon sistemleri kullanılmaktadır. Kojenerasyon, enerjinin etkin kullanımı için elektrik ve ısı enerjisinin birlikte üretilmesini sağlayan teknolojidir. Bu sistemlerde gaz yakılarak mekanik enerjiye dönüştürülür. Kojenerasyon sistemlerinde kullanılan elektrik üreten gaz türbin ve motorları, kullandığı yakıtın (biyogazın) ancak % 35 ila % 45 kadarını elektriğe çevirebilmektedir [25-26]. Bu nedenle hesaplamalarda sistem performansı % 40 kabul edilerek hesaplamalar yapılmıştır.

Tablo 2. Hayvansal atık kaynaklı gübre ve biyogaz potansiyeli hesaplamada kullanılan eşitlikler

Eşitlik Adı	Birim	Formülasyon
Toplam Kullanılabilir Yaş Gübre Miktarı (1)	ton / gün	$T_{KYGM} = T_{YGM} * Y_{KG}$
Yıllık Toplam Yaş Gübre Potansiyeli (2)	$m^3/yıl$	$T_{YGP} = T_{KYGM} * N_{CH} * 365 / 1000$
Yıllık Biyogaz Miktarı (3)	$m^3/yıl$	$T_{biyogaz} = T_{YGM} * M_B * Y_{KG}$
Biyogazdan Üretililecek Enerji Miktarı (4)	$MJ/yıl$	$E_{ısı} = T_{biyogaz} * E_B$

Tablo 2 incelendiğinde yapılan hesaplamaların yaş gübre potansiyeli üzerinden yapıldığı anlaşılmaktadır. Eşitlik 1, toplam kullanılabilir yaş gübre miktarını ifade etmekte olup, toplam yaş gübre miktarı ile gübrenin kullanılabilir yüzdesinin çarpımı ile hesaplanmıştır. Bulunan toplam kullanılabilir yaş gübre miktarı, hayvan türlerine göre hayvan sayıları ile çarpılarak, Eşitlik 2'de ifade edilen, yıllık toplam yaş gübre potansiyeli belirlenmiştir. Hayvansal atıklardan elde edilebilecek biyogaz miktarı hesaplanırken, Eşitlik 3'ten

faýdalanılmıştır. Toplam yaş gübre miktarı, gübrenin kullanılabilir yüzdesi ve 1 ton yaş gübreden elde edilebilecek biyogaz miktarı ifadeleri ile yıllık biyogaz üretim miktarı belirlenmiştir. Biyogaz enerjisinin miktarı hesaplanırken Eşitlik 4'ten yararlanılmış, yıllık üretilen biyogaz miktarı ve biyogazın ısıl değeri çarpılarak hesaplanmıştır.

### 3. Bulgular ve tartışma

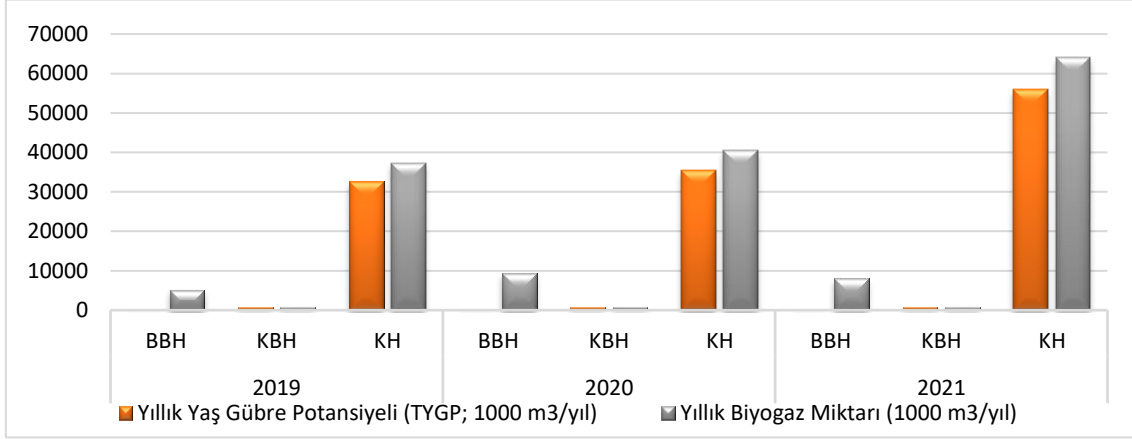
Ülkemizde hayvansal üretim, bitkisel üretimden sonra en yüksek paya sahip üretim sektörüdür. Her geçen gün artan hayvan sayısı ile birlikte hayvancılık kaynaklı atık miktarı da artış göstermektedir. Bu artış, kontrol edilmediği sürece hem çevre hem de insan sağlığı açısından önemli riskler teşkil etmektedir. Bu nedenle bu tür atıkların kontrolü ve yönetimi büyük önem kazanmakta ve bu konuda yapılan araştırmalar artmaktadır [27]. Çalışmada Bursa'nın Karacabey ilçesinde hayvancılık faaliyetlerinden kaynaklanan atıkların gübre ve biyogaz potansiyelleri hesaplanmıştır. Hesaplamalarda, Karacabey'de mevcut 2019, 2020 ve 2021 yılları mevcut olan hayvan sayıları TÜİK'den temin edilmiştir. Hayvan türlerine ve yıllara göre oluşabilecek gübre miktarları belirlenerek, bu gübrelerden elde edilebilecek biyogaz içerikleri hesaplanmıştır. Tablo 3'de Bursa Karacabey ilçesinin yıllara ve türlerine göre hayvan sayıları verilmiştir. Bu veriler yardımı ile hesaplanan yıllık yaş gübre potansiyeli ve yıllık üretilen biyogaz miktarları da Tablo 3'de sunulmuştur.

Tablo 3. Karacabey ilçesi yıllara ve hayvan türlerine göre elde edilen gübre ve biyogaz miktarları

Karacabey İlçesi	Hayvan Türü	Hayvan Sayısı (adet)	Yıllık Yaş Gübre Potansiyeli (TYGP; 1000 m <sup>3</sup> /yıl)	Yıllık Biyogaz Miktarı (1000 m <sup>3</sup> /yıl)
2019	BBH	24.387	156,21	5.155,16
	KBH	118.019	756,00	805,50
	KH	5.086.217	32.581,03	37.272,70
2020	BBH	44.043	282,13	9.310,23
	KBH	110.528	708,01	754,37
	KH	5.537.616	35.472,58	40.580,63
2021	BBH	37.713	241,58	7.972,14
	KBH	118.170	756,96	806,53
	KH	8.740.214	55.987,62	64.049,84
<b>Toplam</b>	BBH+KBH+KH	19.816.907	126.942,12	166.707,10

Tablo 3 incelendiğinde, hayvan türüne göre en fazla sayıya sahip olan tür KH olup, yıl bazında değerlendirildiğinde 2021 yılında en yüksek sayıya (8.740.214 adet) sahip olduğu görülmektedir. En düşük sayıya sahip olan hayvan türü ise BBH olup, yıl bazında en düşük sayıya (24.387 adet) 2019 yılında sahip olduğu görülmektedir. Hayvan türlerine ve yıllara göre elde edilen yıllık yaş gübre potansiyeli incelendiğinde, KH nin kullanılabilir gübre yüzdesi ve hayvan sayısı yüksek olduğundan yıllık en yüksek yaş gübre potansiyeline (55.987.000,62 m<sup>3</sup>/yıl) sahip olduğu görülmektedir. Benzer şekilde KH nin

2021 yılında yıllık biyogaz potansiyelinin en yüksek değerinde (64.049.000, 84 m<sup>3</sup>/yıl) olduğu bulunmuştur. BBH atıklarından elde edilen yıllık yaş gübre potansiyelinin 2019 yılında en düşük değere (156.000,21 m<sup>3</sup>/yıl) sahip olduğu görülmektedir. Hayvansal atıklardan elde edilen yıllık biyogaz üretim miktarının en düşük olduğu yıl 2020 yılı ve KBH kaynaklı olduğu (754.000,37 m<sup>3</sup>/yıl) tespit edilmiştir. Tablo 3’de verilen yıllara ve hayvan türlerine göre elde edilen yıllık yaş gübre ve biyogaz miktarları Şekil 2’de sunulmuştur.



Şekil 2. Karacabey ilçesi yıllara ve hayvan türlerine göre elde edilen gübre ve biyogaz miktarları

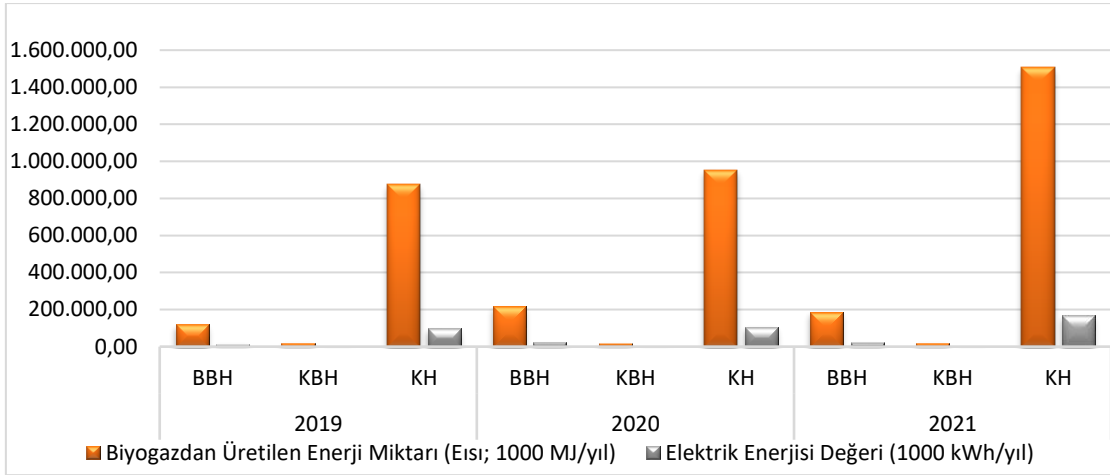
Şekil 2 incelendiğinde yıllar bazında elde edilen yaş gübre ve biyogaz miktarlarının artış eğiliminde oldukları görülmektedir. En yüksek yaş gübre ve biyogaz üretiminin KH kaynaklı, en düşük yaş gübre ve biyogaz üretiminin ise KBH kaynaklı olduğu görülmektedir. Yıllık biyogaz üretim miktarı hesaplandıktan sonra biyogazdan üretilen enerji miktarı ve bu enerjinin elektrik enerjisi eşdeğeri hesaplanmış ve veriler Tablo 4’de sunulmuştur.

Tablo 4. Karacabey ilçesi yıllara ve hayvan türlerine göre elde edilen biyogaz enerjisi

Karacabey İlçesi	Hayvan Türü	Hayvan Sayısı (adet)	Biyogazdan Üretilen Enerji Miktarı (Eısı; 1000 MJ/yıl)	Elektrik Enerjisi Değeri (1000 kWh/yıl)
2019	BBH	24.387	121.146,26	13.460,69
	KBH	118.019	18.929,25	2.103,25
	KH	5.086.217	875.908,45	97.323,16
2020	BBH	44.043	218.790,40	24.310,04
	KBH	110.528	17.727,69	1.969,74
	KH	5.537.616	953.644,80	105.960,53
2021	BBH	37.713	187.345,29	20.816,14
	KBH	118.170	18.953,45	2.105,94
	KH	8.740.214	1.505.171,24	167.241,25
<b>Toplam</b>	<b>BBH+KBH+KH</b>	<b>19.816.907</b>	<b>3.917.616,83</b>	<b>435.290,74</b>

miktarı ve elektrik enerjisi değeri

Tablo 4 incelendiğinde, hayvan türlerine ve yıllara göre biyogazdan üretilen enerji miktarının en yüksek olduğu miktarın (1.505.171,24 GJ/yıl) 2021 yılında KH kaynaklı olduğu, en düşük olduğu miktarın (17.727,69 GJ/yıl) ise 2020 yılında KBH kaynaklı olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen bu veriler hayvan sayıları ve oluşan gübrenin kullanılabilirliği ile ilişkilidir. Biyogaz enerjisinin elektrik enerjisi eşdeğeri de benzer şekilde değişim göstermektedir. En yüksek elektrik enerjisi miktarı (167.241.000,25 kWh/yıl) 2021 yılında KH atıklarından, en düşük elektrik enerjisi miktarı (1.969.000,74 kWh/yıl) ise 2020 yılında KBH atıklarından elde edilmiştir. Tablo 4’de verilen yıllara ve hayvan türlerine göre elde edilen biyogaz enerjisi ve elektrik enerjisi değerleri Şekil 3’de sunulmuştur.



Şekil 3. Karacabey İlçesi yıllara ve hayvan türlerine göre elde edilen biyogaz enerjisi miktarı ve elektrik enerjisi değeri

Şekil 3 incelendiğinde yıllar bazında elde edilen biyogaz enerjisi miktarının ve bu enerjinin elektrik eşdeğerinin artış eğiliminde oldukları görülmektedir. En yüksek enerji üretiminin KH kaynaklı olduğu görülmektedir.

Çalışmada Karacabey ilçesinde 3 yılda üretilen toplam elektrik üretim potansiyeli 435.290.000,74 kWh/yıl olarak belirlenmiştir. 2019, 2020 ve 2021 yılları TÜİK verilerine göre Karacabey ilçe nüfusu sırası ile 83.923, 84.666 ve 84.241 kişidir. Bursa da kişi başına tüketilen toplam elektrik enerjisi miktarı 4155 kWh/yıl’dır [28]. Bu veriler değerlendirildiğinde 2019 yılı Karacabey ilçesi yıllık tüketilen elektrik enerjisi miktarının 348.700.065 kWh/yıl olduğu tespit edilmiştir. Tablo 4’de verilen 2019 yılı elektrik enerjisi değeri (BBH+KBH+KH) 112.886,1 kWh/yıl olduğu görülmektedir. Bu veriler ışığında bu ilçede hayvansal atıkların değerlendirilerek biyogaz tesisinde işlenmesi halinde 2019 yılı verilerine göre ilçenin toplam elektrik enerjisi ihtiyacının % 32’sinin karşılanabileceği belirlenmiştir. 2020 yılı Karacabey ilçesi yıllık tüketilen elektrik enerjisi miktarının 351.787.230 kWh/yıl olduğu tespit edilmiştir. Tablo 4’de verilen 2020 yılı elektrik enerjisi değeri (BBH+KBH+KH) 132.239.001,3 kWh/yıl olduğu görülmektedir. Bu veriler ışığında bu ilçede hayvansal atıkların değerlendirilerek biyogaz tesisinde işlenmesi halinde 2020 yılı verilerine göre ilçenin toplam elektrik enerjisi ihtiyacının % 38’i karşılanabilecektir. 2021 yılı Karacabey ilçesi yıllık tüketilen elektrik enerjisi miktarının 350.021.355 kWh/yıl olduğu tespit edilmiştir. Tablo 4’de verilen 2021 yılı elektrik enerjisi değeri (BBH+KBH+KH) 190.162.001,3 kWh/yıl olduğu görülmektedir.



Bu veriler ışığında bu ilçede hayvansal atıkların değerlendirilerek biyogaz tesisinde işlenmesi halinde 2021 yılı verilerine göre ilçenin toplam elektrik enerjisi ihtiyacının %54'ü bu sayede karşılanabilecektir.

Benzer çalışma Salihoglu ve diğ. [5] tarafından Balıkesir ilinde mevcut hayvan türleri ve sayıları esas alınarak bu atıklardan oluşabilecek biyogaz miktarının belirlenmesi üzerine yapılmıştır. Çalışmada, hayvan sayılarının belirlenmesinde 2017 yılı TÜİK verilerinden faydalanılmıştır. Büyük ve küçükbaş hayvan başına kabul edilen atık miktarlarına göre farklı hesaplama yaklaşımları kullanılarak, Balıkesir ilinde yıllık olarak oluşması beklenen 5.955.318 ton hayvansal atığının 82.815.600 m<sup>3</sup> biyogaz ve 1.879.914.120 MJ'lük enerji potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir. Başka bir çalışmada, Seyhan ve Badem [16], Erzincan ilinin hayvansal atık kaynaklı enerji potansiyelini hesaplamıştır. Erzincan'daki hayvan atıklarından yaklaşık 15.5 milyon m<sup>3</sup>/yıl biyogaz potansiyelinin üretilebileceğini belirlemişlerdir. Bu doğrultuda, Erzincan ve ilçelerinin mesafeleri, atık kapasiteleri ve ekonomik verimliliği göz önüne alındığında, 0.5 MW, 1.2 MW ve 2.4 MW kurulu güce sahip 3 farklı biyogaz santrali senaryosu hazırlanmıştır.

2015 yılında Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı tarafından kabul edilen Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA) kapsamındaki 2030 yılına kadar ulaşılması hedeflenen 17 amaçtan biri "Erişilebilir ve Temiz Enerji" kaynaklarıdır. Temiz enerjiye adil ve eşit erişim, sürdürülebilir kalkınma ve doğa için, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim bir ihtiyaç ve zorunluluktur. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında biyogaz enerjisi önemli ve erişilebilir bir temiz enerji olanağı sunmaktadır [31].

Biyogaz enerjisi oluşma potansiyelini belirlemek amacıyla, Tırnık [6] tarafından bir araştırma yapılmıştır. Araştırmada, 2020 yılında Iğdır ve ilçelerinde oluşan hayvansal atıkların miktarları esas alınmıştır. Bu yıla ait toplam hayvan sayıları 157.426 adet büyükbaş, 1.279.203 adet küçükbaş ve 1.279.203 adet kümes hayvanı bulunduğu belirlenmiştir. Hayvan gübresinden yıllık üretilebilecek biyogaz potansiyeli 43.952.304 m<sup>3</sup>, ısı enerjisi miktarı 1.032.879 GJ ve elektrik enerjisi miktarı 114.716 MWh olarak hesaplanmıştır. Iğdır ili için yıllık en yüksek elektrik üretim potansiyeline sahip olduğu Merkez ilçesinde 55.367 MWh ve en düşük elektrik üretim potansiyeline sahip olduğu Karakoyunlu ilçesinde 15.366 MWh elektrik enerjisi üretilebileceği hesaplanmıştır.

Ay ve Kaya [22], Kahramanmaraş ilinin hayvansal atıklarından üretilebilecek teorik biyogaz potansiyeli ve elektrik enerjisi üretimini belirlemişlerdir. Yapılan hesaplamalar sonucunda, Kahramanmaraş ilinin teorik biyogaz potansiyelinin 37.5 milyon m<sup>3</sup> ile 137 milyon m<sup>3</sup> aralığında olduğu hesaplanmıştır. Biyogaz potansiyel miktarından elde edilebilecek yıllık toplam elektrik enerjisi ise en az 94,8 GWh iken en fazla 264,8 GWh olarak hesaplanmıştır. Bu enerji ile yaklaşık 34.286 ile 95.769 arasında değişen konutun enerji ihtiyacının karşılanabileceği tespit edilmiştir.

Yıldırım ve Nacar Koçer [31], Diyarbakır İli için 2019 ve 2020 yıllarında hayvansal kaynaklı biyokütleden biyogaz üretiminde en yüksek potansiyelin kanatlı hayvanlardan elde edildiğini hesaplamışlardır. 2019 yılında biyogaz üretim potansiyelinin sırasıyla kanatlı hayvan, büyükbaş hayvan ve küçükbaş hayvanlardan kaynaklandığı yapılan hesaplamalarda görülmüş ve bu değerlerin sırasıyla 2.076.785,568 m<sup>3</sup>/yıl, 78.864.548 m<sup>3</sup>/yıl, 76.892.786 m<sup>3</sup>/yıl şeklinde olduğu tespit edilmiştir. Aynı şekilde hayvansal atık potansiyeline karşılık üretilebilecek biyogaz miktarının 2020 yılı için ise kanatlı hayvan, küçükbaş hayvan ve büyükbaş hayvan şeklinde sıralamaya sahip olduğu ve elde edilen

biyogaz miktarlarının 2.242.050 m<sup>3</sup>/yıl, 84.908.566 m<sup>3</sup>/yıl ve 78.098.407 m<sup>3</sup>/yıl şeklinde olduğu hesaplamalarında görülmüştür. Diyarbakır İli için 2019 ve 2020 yıllarında hayvansal kaynaklı biyokütleden biyogaz üretiminde en yüksek potansiyelin kanatlı hayvanlardan elde edileceği hesaplanmıştır. Hayvansal kaynaklı biyoenerji potansiyelinde Diyarbakır İli'nin hayvansal kaynaklı biyoenerji potansiyelinin Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ndeki payının % 25,45 iken Türkiye'deki payının %3,3'lük bir orana sahip olduğu belirtilmiştir.

Aksüt ve diğ. [32] tarafından Tokat ilinde hayvansal atıklarından elde edilebilecek biyogaz potansiyelinin belirlenmesi çalışmaları yürütülmüştür. Çalışma, 2021 yılına ait TÜİK veriler kullanılarak yapılmış, Tokat ili Merkez ve ilçelerinde toplam 303.952 adet büyükbaş, 511.457 adet küçükbaş ve 247.333 adet kanatlı hayvan bulunduğu tespit edilmiştir. Hayvan sayıları üzerinden hesaplanan toplam yaş atık miktarı 3.472.896 ton/yıl ve toplam katı atık miktarı ise 245.988 ton/yıl olarak bulunmuştur. Tokat ili biyogaz potansiyeli, 2021 yılı itibarıyla yaklaşık 49 milyon m<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir. Elde edilen biyogazın enerji eşdeğeri 292.000 MWh/yıl, üretilebilecek elektrik enerjisi 117.000 MWh/yıl olarak bulunmuştur [32].

Türkiye'deki büyükbaş hayvansal atıklardan üretilebilecek biyogaz enerjisi potansiyeli yardımıyla iller bazında elektrik enerjisi miktarı belirlenerek, elde edilebilecek elektrik enerjisinin kullanılan elektrik enerjisini karşılama yüzdelerinin belirlenmesi üzerine çalışan Ertop ve diğ. [33], Türkiye'de büyükbaş hayvansal atıklarından elde edilebilecek potansiyel biyogaz enerjisi miktarının 2361063163 MJ olduğu ve bu biyogaz enerjisinin yaklaşık 656375,63 MWh elektrik enerjisine eşdeğer olduğunu belirlemiştir. Elde edilebilecek elektrik enerjisinin kullanılan elektrik enerjisini karşılama oranı olarak Ardahan ili oranının %9,05 ve bu oranın Erzurum ilinde ise %3,48 olduğu görülmüştür. Türkiye'nin en kalabalık şehri olan İstanbul'da ise bu oranın %0,0093 olduğu belirlenmiştir. Bu değer az olmasındaki neden olarak İstanbul'un hayvan varlığının aksine tüketilen elektrik değerinin diğer şehirlere göre oldukça fazla miktarda olması sebep gösterilmiştir [33].

Biyogaz enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde büyük öneme sahiptir. Ülkemizin 2017 yılı tarım sayımında belirlenen hayvan sayılarına göre biyogaz enerjisi potansiyeli 2.484.193.000 m<sup>3</sup> olarak tespit edilmiş ve 42.674.050,52 MJ'lük enerji hesaplanmıştır [5]. Toplam biyogaz potansiyelinin % 87'sinin büyükbaş hayvan, % 13'ünün küçükbaş hayvanlardan kaynaklandığı tespit edilmiştir.

#### 4. Sonuç

Küresel ölçekte enerjiye olan talep her geçen gün artmaktadır. Küresel ısınma ve iklim değişikliğinin ciddi çevre sorunsalı olarak karşımıza çıktığı bu dönemde yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talep de artmaktadır. 2021 yılında imzalanan Paris İklim Sözleşmesi ile küresel ölçekte sera gazlarının azaltılması gereği kaçınılmaz bir gerçektir. Hayvancılık faaliyetleri sonucunda oluşan ve önemli çevresel problemlere sebep olan bu tür atıklar büyük önem taşımaktadır. Bu türden atıkların gübre ve biyogaz olarak kullanılması söz konusudur. Bu atıkların uygun atık yönetimi teknikleri ile yönetilmesi ve atıktan elde edilecek biyogazın, biyogaz enerji tesislerinde işlenerek çevresel kirlilik yaratmadan bertaraf edilmesi ve küresel ısınmanın azaltılmasına katkı sağlanması gerekmektedir.

Bu çalışmada, Bursa'nın Karacabey ilçesinde 2019, 2020 ve 2021 yıllarında mevcut, büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvan sayıları esas alınarak, hayvansal kaynaklı atıkların gübre içerikleri belirlenmiştir. Ayrıca, oluşan gübrelerin teorik biyogaz içerikleri hesaplanmıştır. Sonuç olarak, üç yılın sonunda 126.942.000,12 m<sup>3</sup>/yıl yaş gübre oluşma potansiyeli ve 166.707.000,10 m<sup>3</sup>/yıl biyogaz potansiyelinin elde edilebileceği belirlenmiştir. Oluşan biyogazın 3.917.616,83 GJ/yıl enerji potansiyeline sahip olduğu ve bu enerjinin de Karacabey ilçesinin önemli oranda elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayabileceği tespit edilmiştir. Bu çalışma kapsamında yapılan hesaplamalar hayvansal atıktan biyogaz eldesinin teorik olarak belirlenmesi esasına dayanmaktadır. Hayvansal atıkların enerji temininde önemli bir potansiyel oldukları bilinmektedir. Ancak böyle bir projenin hayata geçirilmesinde hayvansal atığın katı madde içeriği, bedeli, toplanması, taşınması, uygun biyogaz teknolojisinin seçilmesi, biyogaz enerji tesislerinin ilk yatırım ve işletme maliyetleri, vb. konularında göz önünde tutularak planlama yapılması önerilmektedir.

### Kaynaklar

- [1] Tınmaz Köse, E., Trakya bölgesinde hayvan gübrelerinin biyogaz enerji potansiyelinin belirlenmesi ve sayısal haritaların oluşturulması, **Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi**, 23(6), 762-772, (2017).
- [2] Tırnk, S., Environmental effects and diffuse pollution load calculation of animal wastes in Iğdır province and districts, **Black Sea Journal of Engineering and Science**, 4(2), 43-50, (2021).
- [3] Erkan Can, M., Adana merkez ve ilçeleri için çiftlik hayvanları kaynaklı atık ve kirlilik yükü potansiyeli, **Mediterranean Agricultural Sciences** 34(2), 215-222, (2021).
- [4] Centner, T.J., Wetzstein, M.E. ve Mullen, J.D., Small livestock producers with diffuse water pollutants: adopting a disincentive for unacceptable manure application practices, **Desalination** 226, 66-71, (2008).
- [5] Salihoğlu, N.K., Teksoy, A., ve Altan, K., Büyükbaş ve küçükbaş hayvan atıklarından biyogaz üretim potansiyelinin belirlenmesi: Balıkesir İli Örneği, **Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi**, 8(1), 31-47, (2019).
- [6] Tırnk, S., Calculation of biogas production potential of animal wastes: example of Iğdır province, **Journal of the Institute of Science and Technology**, 12(1), 152-163, (2022).
- [7] Hayvancılık Raporu, [https://www.zmo.org.tr/genel/bizden\\_detay.php?kod=29946&tipi=17](https://www.zmo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=29946&tipi=17), (2018).
- [8] Özocak, M., Hayvansal üretim yapılarında gübre atık sistemlerinin yönetimi ve vermikültür, **Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi**, 2(2), 316-324, (2019).
- [9] Kaya, A., ve Ay, Ö.F., Kahramanmaraş İlinin biyogaz potansiyelinin farklı modeller kullanılarak belirlenmesi, **Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi**, 4(2), 351-364, (2020).
- [10] Doruk, İ., ve Bozdeveci, A., Denizli ilinin kırsal kesimlerinde hayvansal kaynaklı atıklardan biyogaz potansiyelinin belirlenmesi, **Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, 7(3), 181-186, (2017).

- [11] Yelmen, B., Dağtekin, M., ve Çakır, M.T., Mersin ilinin organik atık potansiyelinin biyogaz enerji üretimine etkisi, **Politeknik Dergisi** 23(2), 587-595, (2020).
- [12] Hayvan türüne göre sayı tespiti, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Indexp=Hayvansal-Uretim-Istatistikleri-Haziran-2020-33874>. Erişim Tarihi: 08.04.2022, (2022).
- [13] Bursa, <https://tr.wikipedia.org/wiki/Bursa>. Erişim Tarihi: 08.04.2022, (2022).
- [14] Kocabey, S., Balıkesir ili için hayvansal atık kaynaklı biyogaz potansiyelinin belirlenmesi, **Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi**, 17, 234-243, (2019).
- [15] Gürsoy Haksevenler, B.H., ve Ayaz, S., Noktasal ve yayılı kirletici kaynaklarının yüzeysel su kalitesi üzerinde etkisi, Alaşehir Çayı alt havzası örneği, **Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi**, 11(4), 1258-1268, (2021).
- [16] Seyhan, A.K., Badem, A., Erzincan ili hayvansal atık kaynaklı biyogaz potansiyelinin değerlendirilmesine yönelik biyogaz tesisi senaryoları. **Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, 11(1), 245-256, (2021).
- [17] Görgülü, S., Burdur ilinin hayvansal ve bazı tarımsal atık kaynaklı biyogaz potansiyelinin belirlenmesi, **El-Cezeri Journal of Science and Engineering**, 6(3), 543-557, (2019).
- [18] Bulut, A.P., ve Canbaz, G.T., Hayvan atıklarından Sivas ili biyogaz potansiyelinin araştırılması, **Karaelmas Science and Engineering Journal**, 9(1), 1-10, (2019).
- [19] Baran, M.F., Lüle, F., ve Gökdoğan, O., Adıyaman ilinin hayvansal atıklardan edilebilecek enerji potansiyeli, **Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi** 4(3), 245–249, (2017).
- [20] Tanık, A., Yontar, B., ve Şeker, D.Z., Determination and control of diffuse pollutants arising from watersheds – a case study from Turkey, **Fresenius Environmental Bulletin** 19, 2324-2333, (2010).
- [21] Omer, A.M., ve Fadalla, Y., Biogas energy technology in Sudan, **Renewable Energy**, 28, 499-507, (2003).
- [22] Ay, Ö.F., ve Kaya, A., Kahramanmaraş ilinin hayvansal atık kaynaklı biyogaz potansiyeli. **Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi** 10(4), 2822-2830, (2020).
- [23] Hosseini, S.E., ve Wahid, M.A., Development of biogas combustion in combined heat and power generation, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 40, 868-875, (2014).
- [24] Garcia, A.P., Techno-economic feasibility study of a small-scale biogas plant for treating market waste in the city of El Alto, KTH School of Industrial Engineering and Management, Division of Energy and Climate, Master of Science Thesis EGI, 28-35, (2014).
- [25] Kojenerasyon sistemleri, <https://www.enerjisa.com.tr/tr/isimin-enerjisi/enerjicozumlerimiz/kojenerasyon>, (2022).
- [26] Kojenerasyon sistemleri, <https://kojenturk.org/tr/kojenerasyon-nedir-15>, (2022).
- [27] Alagöz, T., Kumova, Y., Atılğan, A., ve Akyüz, A., Hayvancılık tesislerinde ortaya çıkan zararlı atıklar ve yarattığı çevre kirliliği üzerine bir araştırma, doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımı, Mersin Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, **Tarım-Çevre İlişkileri Sempozyumu**, Mersin, Türkiye, 441-448, (1996).
- [28] Elektrik tüketim miktarları, [https://www.tedas.gov.tr/sx.web.docs/tedas/docs/Stratejikplan/2020\\_Yili\\_Turkiye\\_e\\_Elektrik\\_Dagitimi\\_Sektor\\_Raporu.pdf](https://www.tedas.gov.tr/sx.web.docs/tedas/docs/Stratejikplan/2020_Yili_Turkiye_e_Elektrik_Dagitimi_Sektor_Raporu.pdf), (2022).

- [29] Çataltaş, A. Hayvansal Atıkların Kompostlanması. Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi. Bursa, (2013).
- [30] Dede, Ö.H., Dede, G., Dede, C., Özdemir, S. Hayvansal Atıklardan Biyogaz Üretimi İçin Küçük Ölçekli Reaktör Modeli Geliştirilmesi. **Karaelmas Fen ve Müh. Derg.** 8(1):138-146, (2018).
- [31] Yıldırım, A.M., Nacar Koçer, N. Diyarbakır İli Biyokütle Potansiyeli ve Enerji Üretimi. **KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi**, 25(1): 27-40, (2022).
- [32] Aksüt, B., Dursun, S.K., Ergüneş, G. Determination of Biogas Potential from Animal Waste in Tokat Province. **Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology**, 10(5): 958-963, (2022).
- [33] Ertop, H., Atılğan, A., Saltuk, B., Aksoy, E. Büyükbaş Hayvansal Atıklardan Elde Edilebilir Biyogaz ve Elektrik Üretim Potansiyelinin Belirlenerek Sayısal Haritaların Oluşturulması. **Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi**, 35, 530-540, (2022).