



**TEKİRDAĞ İLİNDE TİCARİ OLARAK  
KULLANILABİLİR BİYOGAZ ÜRETİM  
KAPASİTESİNİN VE METAN TUTUMUNA  
ETKİLERİNİN SAPTANMASI**

**Simge GÖNCÜ**

**Yüksek Lisans TEZİ  
BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**Danışman: Prof. Dr. Birol KAYIŞOĞLU**

**2020**

**T.C**

**TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**TEKİRDAĞ İLİNDE TİCARİ OLARAK KULLANILABİLİR BİYOGAZ  
ÜRETİM KAPASİTESİNİN VE METAN TUTUMUNA ETKİLERİNİN  
SAPTANMASI**

**Simge GÖNCÜ**

**BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Danışman: Prof. Dr. BİROL KAYIŞOĞLU**

**TEKİRDAĞ-2020**

**Her Hakkı Saklıdır**



Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde eksiksiz biçimde kaynak göstererek belirttiğimi beyan ederim.

Ad SOYAD

İMZA

Prof. Dr. Birol KAYIŞOĞLU danıŐmanlıĐında Simge GÖNCÜ tarafından hazırlanan “Tekirdağ ilinde ticari olarak kullanılabilir biyogaz üretim kapasitesinin ve metan tutumuna etkilerinin saptanması” isimli bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Jüri BaŐkanı : Prof. Dr. Birol KAYIŞOĞLU

*İmza:*

Üye : Prof. Dr. Türkan AKTAŐ

*İmza:*

Üye : Prof. Dr. Habib KOCABIYIK

*İmza:*

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu adına

Doç. Dr. Bahar UYMAZ

**Enstitü Müdürü**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### TEKİRDAĞ İLİNDE TİCARİ OLARAK KULLANILABİLİR BİYOGAZ ÜRETİM KAPASİTESİNİN VE METAN TUTUMUNA ETKİLERİNİN SAPTANMASI

**Simge GÖNCÜ**

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Birol KAYIŞOĞLU

Bu araştırma, 2019 yılında Tekirdağ ilinde ticari anlamda biyogaz üretimi kapasitesine sahip 100 ve daha fazla büyükbaş hayvan bulunan işletmelerde yürütülmüştür. Bu büyüklüğe sahip işletmeler Tarım ve Orman il, ilçe müdürlüklerinden alınan verilerle saptanmıştır. İl genelinde bu özelliklere sahip 77 adet işletme bulunmaktadır. Bu işletmelerin büyükbaş hayvan varlıkları 23 435 adettir. Toplam metan üretim potansiyeli ve enerji değeri sırasıyla 22 466 Nm<sup>3</sup>/gün ve 81 756,4 MWh/yıl olarak hesaplanmıştır. Aneorobik fermantasyon ile üretilen metandan 42 512,48 MWh/yıl yararlı ısı enerjisi, CHP ünitesinde 28 614,17 MWh/yıl elektrik enerjisi ve 19 784,65 MWh/yıl ek ısı enerjisi elde edilebileceği saptanmıştır. Gübrenin açıkta depolanması halinde 19 067,56 ton CO<sub>2e</sub>/yıl metan salınımı olacağı belirlenmiştir. Fermantasyon artıklarında bulunan azotun kimyasal gübre olarak kullanılması durumunda metan emisyonununun 1 087,13 ton CO<sub>2e</sub>/yıl azaltılabileceği tespit edilmiştir. Metanın ısı amaçlı kullanılmasında toplam metan tutumu 31 590,55 ton CO<sub>2e</sub>/yıl olacaktır. Metan emisyonu, ısı amaçlı kullanımda gübrenin açıkta depolandığı koşullara göre 12 522,99 ton CO<sub>2e</sub>/yıl azalacaktır. Metanın CHP ünitesinde elektrik ve ısı enerjisi sağlamak için kullanılması durumunda, toplam metan tutumu 38 467,6 ton CO<sub>2e</sub>/yıl, metan salınımindaki azalma 19 400 ton CO<sub>2e</sub>/yıl olarak hesaplanmıştır. Ülkemizin biyogaz potansiyelinin tam olarak değerlendirilmesi durumunda, hem enerji kazanımı hem de önemli miktarda metan tutumu sağlanarak çevresel katkı sağlanmış olacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Biyogaz, anaerobik fermantasyon, metan salınım, metan tutumu, emisyon faktörü

2020, 33 sayfa

## ABSTRACT

MSc. Thesis

### DETERMINATION OF COMMERCIALLY AVAILABLE BIOGAS PRODUCTION CAPACITY AND ITS EFFECTS ON METHANE CAPTURE IN TEKİRDAĞ PROVINCE

**Simge GÖNCÜ**

Tekirdağ Namik Kemal University  
Graduate School Of Natural and Applied Science  
Department of Biosystem Engineering

Supervisor: Prof.Dr.Birol KAYIŞOĞLU

This research was carried out in farms which have 100 and more cows with commercial biogas production capacity, in 2019 in Tekirdağ. The enterprises with this size were determined by the data obtained from provincial and district directorates of Agriculture and Forestry. There are 77 enterprises with these characteristics throughout the province. The cattle assets of these enterprises are 23 435 units. Total methane production potential and energy value were calculated as 22 466 Nm<sup>3</sup>/ day and 81 756.4 MWh / year, respectively. It was determined that 42 512,48 MWh/year useful heat energy and in CHP unit 28 614.17 MWh/year electricity energy and 19 784.65 MWh/year additional heat energy could be obtained from methane produced by anaerobic fermentation. It is determined that 19 067,56 tons CO<sub>2e</sub>/year of methane will be released if the manure is stored outdoors. It was determined that methane emission could be reduced by 1 087.13 tons CO<sub>2e</sub>/year if the nitrogen was used in fermentation residues instead of the chemical fertilizer. Total methane retention in the use of methane for heat purposes will be 31 590,55 tons CO<sub>2e</sub>/year. Methane emissions will be reduced by 12 522.99 tons CO<sub>2e</sub>/year when used for heat purposes, than the conditions in which the manure is stored outdoors. When methane is used in the CHP unit to provide electricity and heat energy, total methane retention is calculated as 38 467.6 tons CO<sub>2e</sub>/year, and the decrease in methane emission is calculated as 19 400 tons CO<sub>2e</sub>/year. In the event that the biogas potential of our country is fully utilized, both energy recovery and a significant amount of methane emission will be reduced and environmental contribution will be provided.

**Keywords:** Biogas, anaerobic fermentation, methane emission, methane capture, emission factor

2020, 33 pages

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>ÇİZELGE DİZİNİ</b> .....	<b>iv</b>
<b>ŞEKİL DİZİNİ</b> .....	<b>v</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	<b>vi</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>vii</b>
<b>1.GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1. Biyogaz Üretim Aşamaları .....	2
1.2. Biyogaz Üretim Süreci ve Kullanımı .....	4
1.3. Biyogaz Üretim Sürecinde Metan Emisyonu .....	8
<b>2. KAYNAK ÖZETLERİ</b> .....	<b>9</b>
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....	<b>14</b>
3.1. Materyal.....	14
3.1.1. Araştırmanın yürütüldüğü il .....	14
3.2. Yöntem .....	14
3.2.1. İşletme sayılarının tespit edilmesi .....	14
3.2.2. Metan üretim potansiyeli ve enerji değerinin saptanması.....	15
3.2.2. Metanın ısı amaçlı kullanımında enerji potansiyelinin hesaplanması.....	15
3.2.3. Metanın CHP ünitesinde kullanım potansiyelinin hesaplanması.....	15
3.2.4. Uzun süreli depolamada metan salınımı ve CO <sub>2</sub> eşdeğerinin hesaplanması.....	16
3.2.5. Metanın Fueloil yerine kullanılması durumunda metan tutumunun hesaplanması	17
3.2.6. Fermentasyon artıklarının azotlu mineral gübre yerine kullanılmasında metan tutumunun hesaplanması .....	18
3.2.7. Isı enerjisi kullanımı ve CHP ünitesinde Toplam metan tutumunun saptanması ...	18
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI</b> .....	<b>19</b>
4.1. Tekirdağ ilinde hayvansal üretim yapan işletmelerin mevcut durumu.....	19
4.2. Metan üretim potansiyeli ve enerji değeri .....	20
4.3. Metanın ısı amaçlı kullanımında yararlı enerji potansiyeli .....	22
4.4. Metanın CHP ünitesinde kullanımında yararlı enerji potansiyeli .....	23
4.5. Gübrenin uzun süreli depolanmasında metan salınımı ve CO <sub>2</sub> eşdeğerleri.....	23
4.6. Fermentasyon artıklarının gübre olarak değerlendirilmesi durumunda metan tutumu .....	24
4.7. Metanın ısı amaçlı kullanılmasında toplam metan tutumu.....	25
4.8. Metanın CHP ünitesinde kullanılmasında toplam metan tutumu .....	26
<b>5. TARTIŞMA VE SONUÇ</b> .....	<b>27</b>
<b>6. KAYNAKLAR</b> .....	<b>29</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	<b>33</b>

## ÇİZELGE DİZİNİ

Çizelge 1. 1. Biyogaz üretiminin en fazla yapıldığı ülkeler (Anonim, 2017). .....	2
Çizelge 1. 2. Biyogazın bileşenleri (Seadi ve ark., 2008). .....	4
Çizelge 3. 1. Metan üretim potansiyelinin hesaplanmasında kullanılan katsayılar (Lukahurst ve Bywater, 2015). .....	15
Çizelge 3. 2. Uzun süreli depolamada metan salınım (Lukahurst ve Bywater, 2015). .....	16
Çizelge 3. 3. Emisyon azalma faktörleri (DECC, 2013) .....	17
Çizelge 3. 4. Fermentasyon atıklarının azotlu gübre yerine kullanılmasında metan tutumu ...	18
Çizelge 4. 1. Tekirdağ ilinde 100 hayvan sayısından fazla olan işletmelerin ilçelere göre dağılımları.....	19
Çizelge 4. 2. Hayvan sayılarının ilçelere göre dağılımı .....	20
Çizelge 4. 3. Tekirdağ ilinde işletmelerin metan üretim potansiyeli ve enerji değeri.....	21
Çizelge 4. 4. Isı amaçlı kullanımda yararlı enerji potansiyeli .....	22
Çizelge 4. 5. CHP ünitesinde kullanımda yararlı enerji potansiyeli .....	23
Çizelge 4. 6. Gübrenin uzun süreli depolanmasında metan salınımı ve CO2 eşdeğerleri .....	24
Çizelge 4. 7. Fermentasyon atıklarının gübre olarak değerlendirilmesinde metan tutumu.....	25
Çizelge 4. 8. Isı amaçlı kullanımda toplam metan tutumu .....	25
Çizelge 4. 9. Metanın CHP ünitesinde kullanımında metan tutumu .....	26



## ŞEKİL DİZİNİ

Şekil 1. 1. Biyogazın oluşum aşamalarının şematik diyagramı (Akunna, 2019).....	3
Şekil 1. 2. Biyogaz üretiminde genel uygulama süreci (Anonim, 2010). ....	5
Şekil 1. 3. Biyogazın kullanım alanları (Seadi ve ark., 2008).....	6
Şekil 1. 4. Biyogaz yakarak buhar elde edilen boyler sistemi (Anonim, 2019d).....	7
Şekil 1. 5. CHP ünitesi (Anonim, 2019e).....	7
Şekil 4. 1. İl genelinde işletme büyüklüklerinin dağılımı .....	20
Şekil 4. 2. Tekirdağ ilinde ilçelere göre yıllık sıvı gübre ve organik katı madde üretimi.....	22



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

CHP	: Cogeneration-combined Heat and Power
SGU	: Sıvı Gübre Üretimi (kg/gün)
OKM	: Gübredeki organik katı madde miktarı (kg/gün)
MU	: Metan üretim potansiyeli (Nm <sup>3</sup> /gün)
ED	: Metanın enerji değeri (KWh/gün)
EP <sub>ısı</sub>	: Yararlı ısı enerjisi potansiyeli (KWh/gün)
EP <sub>elk</sub>	: Yararlı elektrik enerjisi potansiyeli (KWh/gün)
EP <sub>CHP,ısı</sub>	: CHP ünitesinde elde edilen yararlı ısı enerjisi potansiyeli (kWh/gün)
UDMS <sub>V</sub>	: Uzun süreli depolamada metan salınım (Nm <sup>3</sup> /gün)
UDMS <sub>m</sub>	: Uzun süreli depolamada metan salınım (kg/gün)
UDCO <sub>2e</sub>	: Uzun süreli depolamada metan salınımının CO <sub>2</sub> eşdeğeri (kg CO <sub>2e</sub> /gün)
EF	: Emisyon azaltma faktörü (kg CO <sub>2e</sub> /KWh)
MT <sub>ısı</sub>	: Metanın ısı amaçlı kullanımında toplam metan tutumu (kg CO <sub>2e</sub> /gün)
MT <sub>elk</sub>	: Metandan elektrik enerjisi elde edilmesinde toplam metan tutumu (kg CO <sub>2e</sub> /gün)
MT <sub>CHP,ısı</sub>	: Metandan CHP ünitesinde ek ısı enerjisi elde edilmesinde toplam metan tutumu (kg CO <sub>2e</sub> /gün)
BAM	: Bulamaçtaki azot miktarı (kg/gün)
KAM	: Kullanılabilir azot miktarı (kg/gün)
FAM	: Fermantasyon atıklarındaki gübre olarak kullanılabilir azot miktarı (kg/gün)
MT <sub>güb</sub>	: Azotlu gübre yerine kullanımda metan tutumu (kg CO <sub>2e</sub> /gün)
∑MT <sub>ısı</sub>	: Isı amaçlı kullanımda toplam metan tutumu (kg CO <sub>2e</sub> /gün)
∑MT <sub>elk</sub>	: CHP ünitesinde metan kullanımda toplam metan tutumu (kg CO <sub>2e</sub> /gün)

## ÖNSÖZ

Tekirdağ ilinde ticari anlamda biyogaz üretim potansiyelinin ve metan tutumuna etkilerinin saptandığı bu araştırmada elde edilen sonuçların, bu konuda yapılacak bundan sonraki çalışmalara ışık tutacağını umuyorum. Araştırma sonucunda ilde bulunan işletmelerde biyogaz potansiyelinin yeterince değerlendirilmediği sonucuna varılmıştır. Üreticilerin biyogaz üretimi konusunda desteklenmesi hem ekonomik kazanç sağlayacak hem de çevresel olumlu etkiler yaratacaktır.

Bu çalışmanın ortaya konulmasında şahsıma yardımcı olan, ufkumun genişletilmesini sağlayan her türlü bilgi ve tecrübesinden yararlandığım değerli hocam Prof. Dr. Birol KAYIŞOĞLU'na, ayrıca yardımlarını esirgemeyen Biyosistem Mühendisliği Bölümü öğretim elemanlarına teşekkürlerimi bir borç bilir, saygılarımı sunarım. Her zaman yanımda olan, desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme ve bana her zaman destek olup, yanımda olan eşime en içten sevgilerimi sunarım.

Şubat, 2020

Simge GÖNCÜ

## 1.GİRİŞ

Uygarlık geliştikçe toplumların enerji tüketimi ve enerjiye olan talepleri de artmaktadır. Günümüzde Dünyada birincil enerji kaynaklarının yaklaşık %86'sını fosil kökenli yakıtlar oluşturmaktadır. Geleneksel enerji kaynakları olarak da adlandırılan bu kaynaklar özellikle enerjide dışa bağımlı olan ülkelerde ekonomik anlamda büyük bir yük oluşturmaktadırlar. Ayrıca, yoğun kullanımları CO<sub>2</sub>, CO vb. gazların salınımı nedeniyle olumsuz çevre koşullarının artmasına neden olmaktadır. Bu yakıtların yaklaşık 50 yıl içinde tükenen olması da diğer bir olumsuz faktördür. Bütün bu nedenlerden dolayı son yıllarda fosil kökenli yakıtlara alternatif olabilecek yeni enerji kaynaklarına olan gereksinim artmıştır. Bu konudaki arayışlar ve araştırmalar yoğun bir şekilde devam etmektedir. Alternatif enerji kaynakları olarak da adlandırılan bu kaynaklar nükleer, hidrojen, güneş, rüzgâr, jeotermal ve biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynaklarıdır.

Biyokütle yenilenebilir enerji kaynağı olarak önemli bir potansiyele sahiptir. Doğrudan yakılarak, termokimyasal ve biyokimyasal dönüştürme yöntemleriyle farklı enerji türlerine dönüştürülebilmektedir. Biyogaz ise biyokimyasal dönüştürme yöntemlerinden olan anaerobik çürütme yoluyla elde edilen, %60 dolayında metan (CH<sub>4</sub>) ve %40 dolayında CO<sub>2</sub> içeren yanıcı bir gazdır. Enerji değeri oluşan gazın içeriğinde bulunan CH<sub>4</sub> oranına bağlı 5-7,5 kWh/Nm<sup>3</sup> arasında değişmektedir ve yoğunluğu 1,22 kg/Nm<sup>3</sup> dolayındadır (Rutz, 2015).

Dünyada 2014 yılında üretilen biyogazın enerji değeri 352 780 GWh dolayındadır. Biyogaz üretiminin en fazla yapıldığı belli başlı ülkeler Çizelge 1.1'de verilmiştir. Dünyada en fazla biyogaz üretimi Çin'de gerçekleşmektedir. Bu ülkeyi Almanya, Amerika ve Rusya izlemektedir. Ülkemizde biyogaz üretiminin enerji değeri 2014 yılında 2706 GWh/yıl dolaylarındadır. Dünyadaki üretim dikkate alındığında ülkemizdeki biyogaz üretiminin oldukça düşük olduğu görülmektedir. 2015 yılı itibariyle ülkemizin teknik biyogaz üretim potansiyeli 23250 GWh/yıl dolayındadır (Anonim, 2019a). Görüldüğü gibi bu potansiyelin ancak %10'luk kısmı değerlendirilmektedir.

**Çizelge 1. 1.** Biyogaz üretiminin en fazla yapıldığı ülkeler (Anonim, 2017).

Ülke	Biyogaz üretimi (GWh/yıl)
Çin	91 490
Almanya	86 460
Amerika	73 830
Rusya	32 240
İngiltere	24 730
İtalya	22 800
Tayland	7 865
Çek Cumhuriyeti	7 070

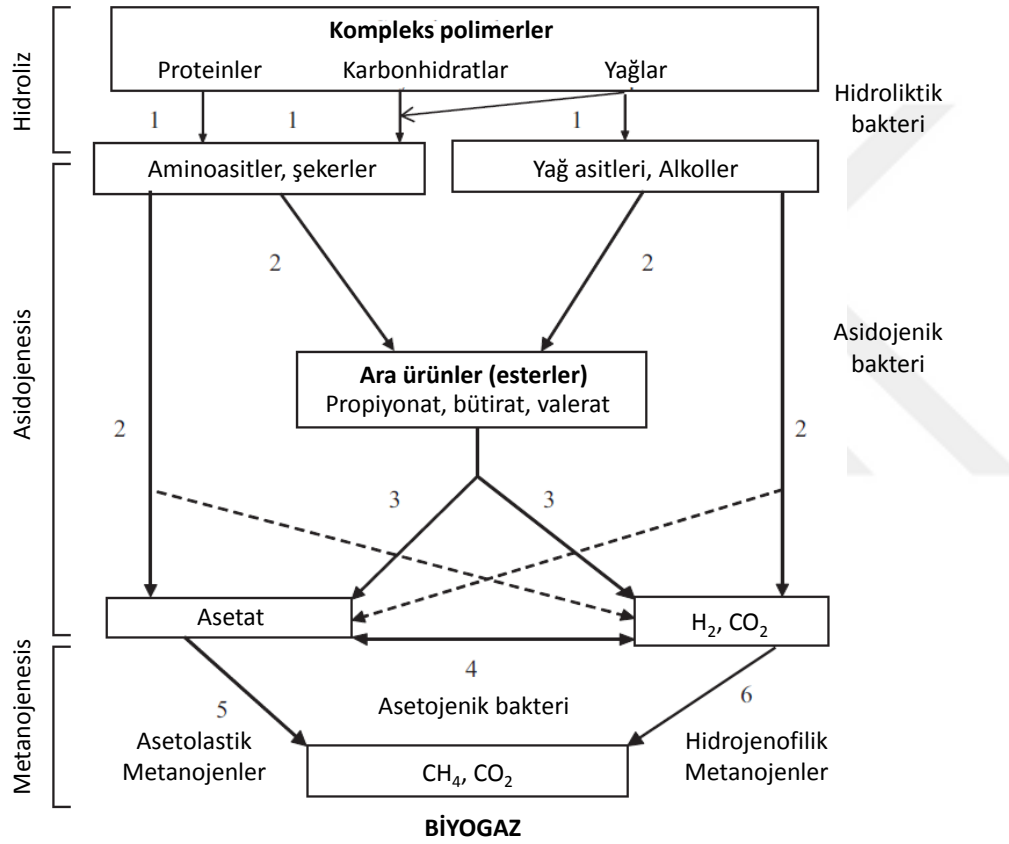
Ülkemizde hâlihazırda ticari anlamda üretim yapan 100 adet biyogaz enerji santrali bulunmaktadır. Bu santrallerin kurulu gücü 646 MW, yıllık elektrik enerjisi üretimi 2277 GWh dolayındadır. Bu değerın ülkemizdeki toplam elektrik santrallerinin ürettiği elektrik enerjisine oranı %0,73'tür. Biyogaz teknik potansiyelinin tamamının değerlendirilmesi durumunda ülkemizdeki elektrik enerjisi üretiminin yaklaşık %7.3'ünü karşılaması mümkündür (Anonim, 2019b).

Biyogazın enerji değerinin yanı sıra tarımsal ve kentsel atıklardan kaynaklanan metan emisyonunun azaltılmasında önemli bir rol oynadığını söylemek mümkündür. Özellikle hayvansal üretim sonucunda ortaya çıkan gübrenin açıkta depolanması sonucunda oluşan metan salınımı sera gazının artmasında önemli faktördür. Bu atıkların biyogaz üretiminde kullanılması sera gazı salınımını azaltacak, ortaya çıkan yan ürünlerin organik gübre olarak değerlendirilmesi çevresel kirliliği azaltacağı gibi ek kazanç sağlayacaktır.

### 1.1. Biyogaz üretim aşamaları

Organik kökenli kompleks polimerlerin anaerobik koşullarda çürütülmesi sonucu meydana gelen biyogazın oluşum aşamaları Şekil 1.1.'de verilmiştir. Hidroliz (1) aşamasında şeker, karbonhidrat ve yağ gibi kompleks polimerler hücre dışı enzimler tarafından hidroliz edilerek daha basit yapıda olan amino asit, şeker, yağ asitleri ve alkollere indirgenmektedir. Bu aşamada hidrolitik bakteriler çalışmaktadır. Asidojenesis (2) aşamasında, fermentatif

veya asidojenik bakteriler, daha basit bileşikleri kısa zincirli yağ asitlerine, alkollere, amonyağa, hidrojen, sülfütlere ve karbondioksite dönüştürmektedir. Asetojenesis (3,4) aşamasında, kısa zincirli yağ asitleri asetojenik bakteriler tarafından metanojenik bakteriler için substrat görevi gören asetat, hidrojen ve karbondioksite parçalanmaktadır. Metanojenesis (5) substrat olarak asetatı kullanan asetolastik metanojenler metanın yaklaşık %70'ini üretmektedirler. Metanojenesis (6) H<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub> kullanan hidrojenofilik metanojenler tarafından metanın yaklaşık %30'u üretilmektedir.



Şekil 1. 1. Biyogazın oluşum aşamalarının şematik diyagramı (Akunna, 2019).

Elde edilen biyogazın içerdiği bileşenler Çizelge 1.2'de verilmiştir.

**Çizelge 1. 2.** Biyogazın bileşenleri (Seadi vd. 2008).

<b>Bileşen</b>	<b>Kimyasal sembol</b>	<b>İçerik (% Hacim)</b>
Metan	CH <sub>4</sub>	50-75
Karbondioksit	CO <sub>2</sub>	25-45
Su buharı	H <sub>2</sub> O	2 (20 °C)-7 (40 °C)
Oksijen	O <sub>2</sub>	<2
Nitrojen	N <sub>2</sub>	<2
Amonyak	NH <sub>3</sub>	<1
Hidrojen	H <sub>2</sub>	<1
Hidrojen sülfid	H <sub>2</sub> S	<1

## **1.2. Biyogaz üretim süreci ve kullanımı**

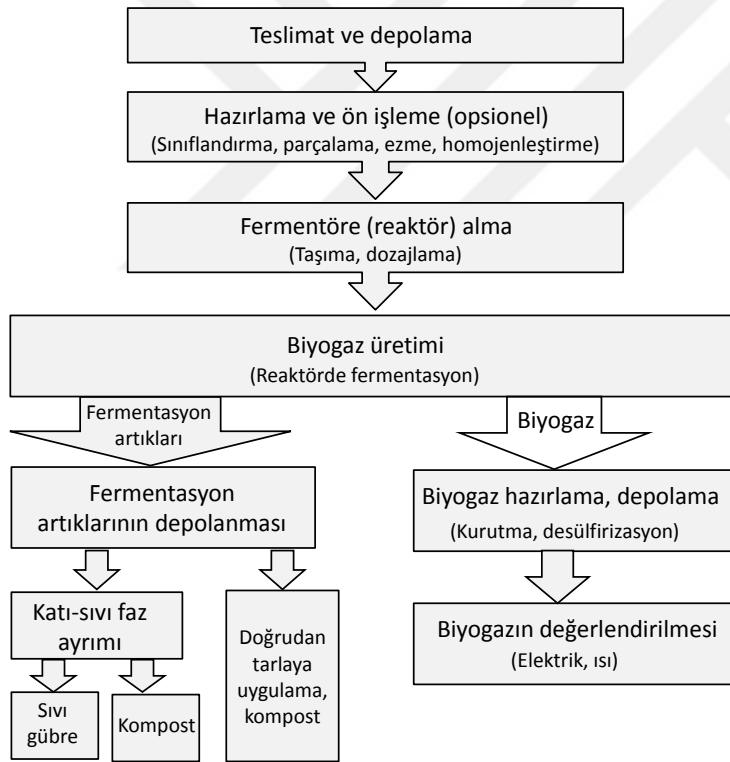
Biyogaz üretim tesislerinin tasarımı ve teknolojisi, iklim koşulları ve ulusal enerji politikalarına bağlı olarak ülkeden ülkeye farklılık gösterebilmektedir. Ayrıca, aşağıda belirtilen kıstaslar da biyogaz üretim tesislerinin sınıflandırılmasında önemli rol oynamaktadır;

- Sürekli, yarı sürekli ve kesikli üretim,
- Biyogaz reaktörünün tipi ve yerleşim şekli (yatay, dikey),
- Yükleme oranı,
- Hidrolik bekleme süresi,
- Reaktör yapımında kullanılan malzeme,
- Hammaddenin çeşidi.

Boyutlarına, fonksiyonlarına ve yerleşim bölgelerine bağlı olarak tarımsal biyogaz üretim tesisleri 3 ana grup altında toplanmaktadır (Seadi vd. 2008);

1. Aile ölçeğinde biyogaz tesisleri,
2. Çiftlik ölçeğinde biyogaz tesisleri,
3. Merkezi/ortak ölçekte biyogaz tesisleri.

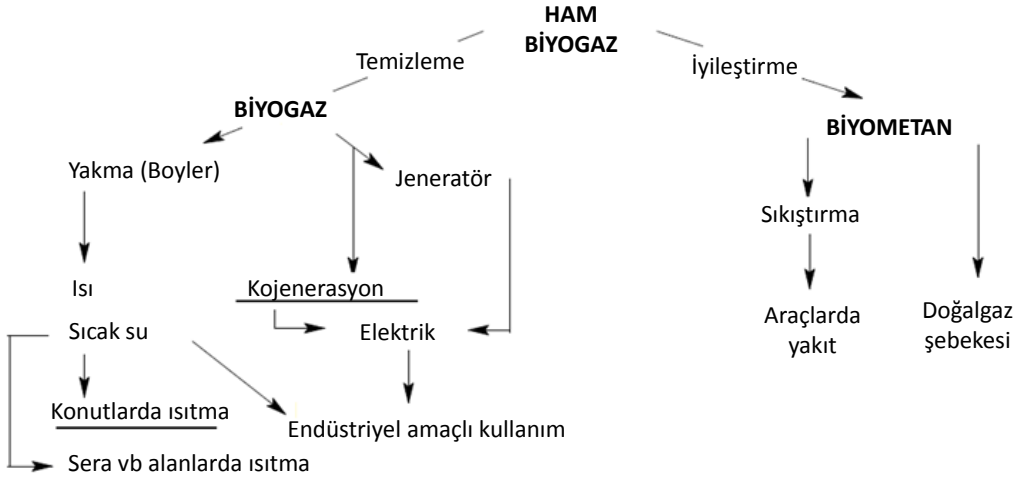
Biyogaz üretiminde genel uygulama süreci Şekil 1.2’de verilmiştir. Biyogaz hammaddesi gerekiyorsa sınıflandırma, parçalama ve ezme gibi ön işlemlere tabii tutulduktan sonra %7-12 arasında katı madde konsantrasyonuyla reaktöre beslenmektedir. Belirli bir hidrolik bekleme süresinden sonra fermentasyon atıkları ya ön depolama yapılmakta ya da son fermentasyona tabii tutulmaktadır. Daha sonra tercihe bağlı olarak gübre separatörlerinde katı-sıvı faz ayrımı yapılmaktadır. Elde edilen sıvı gübre doğrudan tarımsal üretimde kullanılabilir gibi, büyük tesislerde paketlenerek ticari amaçla pazarlanmaktadır. Katı kısmı da organik mineral gübre ya da kompost olarak değerlendirilmektedir. Katı-sıvı faz ayrımı yapılmıyorsa fermentasyon atıkları doğrudan tarlaya gübre amacıyla uygulanmaktadır. Elde edilen biyogaz ise ya doğrudan ısı amaçlı ya da elektrik enerjisi elde etmek için gaz motorlarında yakılmaktadır. Ayrıca, biyogazın içindeki CO<sub>2</sub> uzaklaştırılarak daha yüksek enerji değerine sahip biyometan elde edilmektedir.



Şekil 1. 2. Biyogaz üretiminde genel uygulama süreci (Anonim, 2010).

Anaerobik fermentasyon sonucunda elde edilen biyogazın kullanım alanları Şekil 1.3’de verilmiştir.

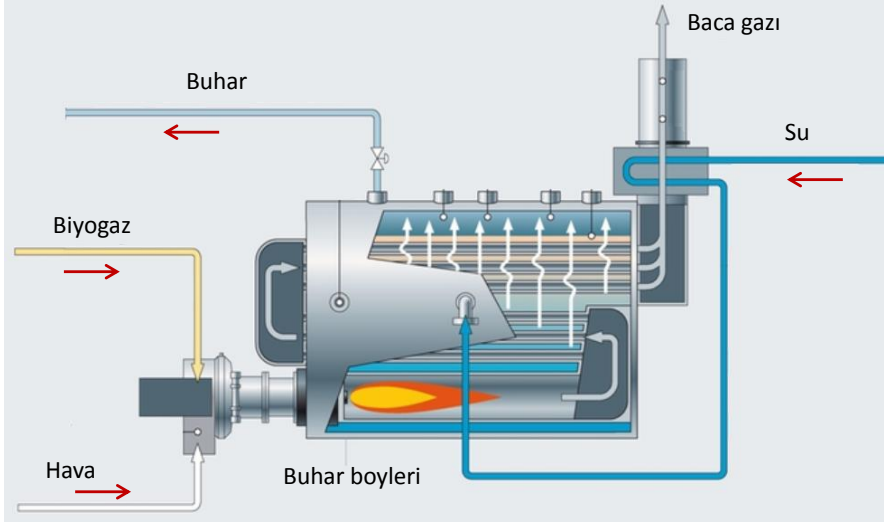




**Şekil 1. 3.** Biyogazın kullanım alanları (Seadi vd. 2008).

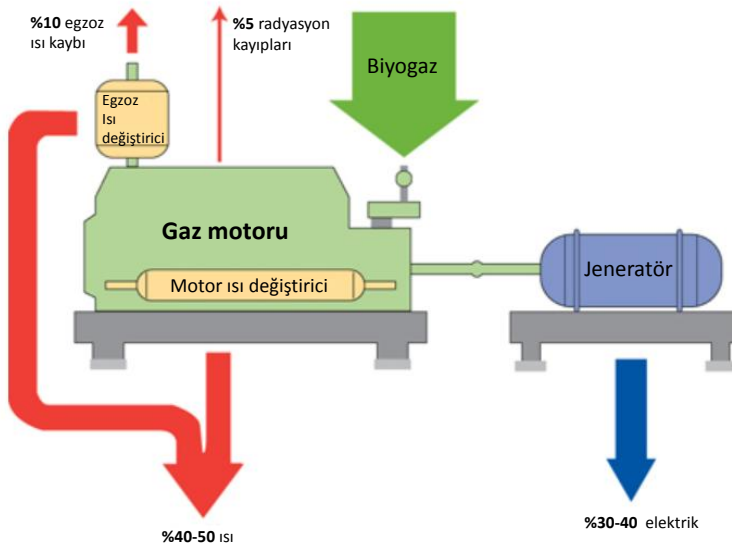
Biyogaz uygun tekniklerle yakılarak doğrudan ısı enerjisi elde edilip konut, sera, kümes vb alanların ısıtılmasında kullanılabildiği gibi, elektrik enerjisi elde etmek amacıyla gaz motorlarında da kullanılabilmektedir.

Boyer sistemlerinde yakarak biyogazdan ısı enerjisi elde etmek en basit ve yaygın kullanılan yöntemdir. Biyogaz yakma işleminin verimi %75-85 arasında değişmektedir. Doğal gaz için kullanılan boyler sistemleri yakıt hava karışım oranları değiştirilerek biyogaz yakma işleminde de kullanılabilmektedir. Ancak, biyogaz daha düşük enerji içeriğine sahip olduğundan, daha yüksek akış hızı gereklidir. Bu nedenle yakma ünitesinin de modifiye edilmesi gerekir. Boyler sistemlerinde genellikle düşük kaliteli biyogaz yakıldığından, yoğunlaşmayı önlemek için çalışma sıcaklıkları çığır noktasının üzerinde olmalıdır (Krick ve ark., 2005). Biyogaz yakılarak ortaya çıkan ısıyla buhar üreten boyler sisteminin şematik resmi Şekil 1.4’de verilmiştir. Bu sistemde hava ve biyogaz bir karıştırma ünitesinde karıştırılarak boylere gönderilmektedir. Burada elde edilen ısı enerjisiyle su ısıtılarak buhar elde edilmektedir.



Şekil 1. 4. Biyogaz yakarak buhar elde edilen boiler sistemi (Anonim, 2019).

Biyogaz enerjisiyle elektrik ve ek ısı elde etmek için CHP (Cogeneration-combined Heat and Power) sistemleri kullanılmaktadır. Bu sistemlerde kullanılan gaz motorlarına bağlı jeneratörle elektrik enerjisi elde edilirken, motorda ve egzoz çıkışında bulunan ısı değişticiler yardımıyla bir akışkana ve ya havaya ısı enerjisi aktarılarak farklı amaçlarla kullanılmaktadır. Modern CHP ünitelerinde ısı kayıpları %10-15, elektrik enerjisi verimi %30-40, ısı enerjisi verimi %40-50 dolayındadır (Dueblein ve Stainhauser, 2011). Sistemin genel verimi %80 ve daha üzerinde olabilmektedir (Şekil 1.5).



Şekil 1. 5. CHP ünitesi (Anonim, 2019).

Son yıllarda biyogazdan CO<sub>2</sub>'nin uzaklaştırılarak biyometan elde edilmesi yaygınlaşmıştır. Bu iyileştirme işleminde ürünün enerji değeri arttırılmakta, taşınması ve depolanması kolaylaşmaktadır. Ayrıca, herhangi bir değişiklik yapmadan doğrudan ya da doğal gaz ile birlikte gaz motorlarında ya da araçlarda kullanılması mümkün olmaktadır. İyileştirilmiş biyometan kimya sektöründe hammadde olarak da kullanılmaktadır. Biyogazın iyileştirilmesi işleminde farklı teknikler kullanılmakla birlikte, bu teknikleri 4 ana grup altında toplamak mümkündür. Bunlar; adsorbsiyon, absorpsiyon, infiltrasyon ve krayojenik tekniklerdir (Beil ve Beyrich, 2013).

### **1.3. Biyogaz üretim sürecinde metan emisyonu**

Biyogaz yenilenebilir bir enerji kaynağıdır ve sürdürülebilir enerji sağlanması açısından giderek önem kazanmaktadır. Sera gazı olarak metan CO<sub>2</sub>'den 25 kat daha güçlüdür. Bu nedenle biyogaz üretim sürecinde elde edilen biyogazın enerji değerinin yanı sıra, çevresel etkiler açısından metan tutumu da önem kazanmaktadır. Gübrenin uzun süreli depolanması sonucunda, toplam metan potansiyelinin %20-45 arasındaki kısmı sera gazı emisyonu olarak atmosfere karışmaktadır. Biyogaz üretim sürecinde, hammaddenin depolanması aşamasında %0,2-0,5; fermentasyon aşamasında %0,02-0,07; fermentasyon atıklarının depolanması sürecinde %0,5-11, gaz motorlarında yakılarak elektrik üretiminde %0,5-6; gazın iyileştirilmesi aşamasında maksimum %1,5 metan emisyonu gerçekleşmektedir. Toplam üretim süreci boyunca gerçekleşen emisyon, uygulanan teknolojinin türüne, göre %1,22-18,62 arasında değişmektedir (Dumont vd. 2013). Gübreden anaerobik fermentasyon sonucunda biyogaz elde edilip elektrik enerjisine dönüştürülmesi ile metan emisyonunda %70 dolayında azalma sağlanmaktadır.

Bu araştırmada, Tekirdağ ilinde ticari anlamda biyogaz üretim potansiyelinin ve metan tutumuna etkilerinin saptanması amaçlanmıştır. Araştırma, Giriş, Kaynak Özetleri, Materyal ve Yöntem, Araştırma Bulguları, Tartışma ve Sonuç, Kaynaklar olmak üzere 6 temel başlıktan oluşmaktadır.

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Biyogaz farklı organik kökenli materyallerden anaerobik fermantasyon sonucu üretilen çok yönlü yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Çok çeşitli biyokütle kaynağı sayesinde biyogaz üretimiyle önemli miktarda enerji sağlamak mümkündür. Avrupa Birliği ülkeleri ve eski Doğu Bloku ülkelerinin 2020 yılında toplam 250 milyar metreküp biyometan üretiminin anaerobik fermantasyon ile karşılanacağı tahmin edilmektedir (Thran vd. 2007).

Birçok ülkenin önemli sektörü olan hayvansal üretim Dünyadaki sera gazı emisyonunun %18'ine neden olmaktadır. Bu emisyonun kaynağı olan hayvansal gübre ve idrar üretimi yıllık 13 milyar ton civarındadır (Harkin, 1997).

Biyogaz hammaddesi ile üretim tesisi arasındaki mesafe mümkün olduğunca kısa olmalıdır. Uzun nakliye mesafeleri ve buna bağlı nakliye maliyetlerinin biyogaz tesislerinin ekonomisi üzerinde olumsuz etkileri vardır. Araştırmalar hayvansal gübrenin taşıma mesafesinin 5 km'den fazla, enerji bitkilerinin 15 km'den fazla olması durumunda tesisin ekonomi ve enerji açısından sürdürülebilirliğinin mümkün olmadığını göstermektedir (Epp vd. 2008).

Biyogaz tesisi için gerekli alan yeterince büyük olmalıdır. 500 kW elektrik üretim kapasitesine sahip bir biyogaz ünitesinin reaktör, gaz depolama, elektrik jeneratörü ve diğer yardımcı üniteleri için yaklaşık 4000 m<sup>2</sup> alana gereksinim duyulmaktadır. Biyogaz tesisi enerji bitkileriyle çalışıyorsa bu alan 5400 m<sup>2</sup> dolayında olmaktadır. Tesiste fermentasyon artıklarının depolanması için de alana gereksinim bulunmaktadır. Bu nedenle 500 KW kapasiteye sahip bir tesis için toplam alan 1 ha dolayında olmalıdır (Seadi vd. 2013).

Zwart ve ark. (2006) gübrenin reaktöre yüklenmesi esnasında olabildiğince hızlı olunması gerektiğini, böylece yükleme esnasında oluşacak sera gazı emisyonunun %95 oranında azaltılabileceğini belirtmişlerdir.

Biyogaz üretim sistemde CHP ünitesinde gaz motorlarından kaynaklanan emisyon üretim için kullanılan metanın %0.44-2,43'ü arasında değişmektedir (Liebetrau ve ark., 2011).

Yaldız ve Sözer (2005), biyogaz teknolojisinin, günümüzde organik atıklardan enerji üretimi ve atık arıtımı konularında en yaygın yöntem olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca fermantasyon artıkları kompost yapılarak bitki besin maddesi ve toprak düzenleyici olarak da kullanılabilir. Bu özellik biyogaz tesislerinin daha ekonomik işletilebilmesine olanak sağlamaktadır. Araştırmacılar yaptıkları çalışmada 4 farklı materyal için (sığır, tavuk, koyun ve hindi gübresi) 20 günlük bekleme süresinde, mezofil sıcaklık koşullarında, tesis maliyetleri,

işletme giderleri, enerji üretim miktarları hesaplanmış, bu veriler kullanılarak Türkiye koşullarında yukarıda adı geçen materyaller için ekonomik işletme büyüklükleri saptanmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre sığır için 100, tavuk için 150000, koyun için 2000 ve hindi için 5000 hayvan varlığının biyogaz tesisleri için ekonomik büyüklük olduğu anlaşılmıştır.

Isınma ve sıcak su gereksinimi için personel başına 7373 KWh/yıl enerji gereksinimi olduğu, 500 KW kapasiteye sahip bir biyogaz tesisine yaklaşık 543 kişinin ihtiyacının karşılanabileceği belirtilmiştir (Peager, 2012).

Biyogazı yakıt olarak kullanan gaz motorların da elde edilen enerjinin yaklaşık %90'lık kısmını yararlı enerji olarak değerlendirmek mümkündür. Bu enerjinin %35'i elektrik enerjisine, geri kalan %55'lik kısmı ise ısı enerjisine dönüşmektedir. Isı enerjisine dönüşen kısmının efektif olarak kullanılması durumunda, biyogaz motorlarından yüksek verim elde edilebilir (Rutz, 2015).

Yoğun hayvansal üretim yapan Danimarka, Almanya, Fransa ve İtalya gibi ülkelerde kurulan biyogaz tesislerinde, fermentasyon atıklarının bertaraf edilmesinin maliyeti, birim alana uygulanan besin elementleri miktarının sınırlandırılması gibi, yasal kısıtlamalardan dolayı artmaktadır. Bu kısıtlamalar atıkların daha yoğun tarımsal üretim alanlarına taşınması zorunluluğunu getirmektedir. Bu nedenle taşıma maliyetlerini azaltmak için fermentasyon atıklarının katı-sıvı faz ayrımı, kompostlaştırma gibi ek işlemlere tabii tutulması gerekmektedir (Seadi vd. 2013).

Mısır silajının üretiminden biyogaz elde edilip enerji kaynağı olarak kullanılması aşamasına kadar olan CO<sub>2</sub> emisyonu ortalama 0,44 CO<sub>2</sub> eq/KWh olarak hesaplanmıştır. Bu emisyon değerinin, aynı enerji miktarı için fosil yakıt kullanılması durumunda oluşan CO<sub>2</sub> emisyonunun yarısı olduğu belirtilmiştir (Torguati vd. 2014).

Güney Afrika'da yapılan bir araştırmada yetişkin büyükbaş hayvanların metan emisyon faktörünün oldukça yüksek olduğu belirtilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre sığırların 40,98 kg CH<sub>4</sub>/yıl-hayvan, domuzların 25,23 kg CH<sub>4</sub>/yıl-hayvan metan emisyon faktörü olduğu belirtilmiştir (Moelesti ve Tongwane, 2015).

Gübrenin depolanması sırasında enterik fermentasyona benzer bir reaksiyonla CH<sub>4</sub> üretilmektedir. Gübrenin içindeki selüloz mikroplar tarafından parçalanarak, metanojenlerin hammaddesini oluşturmaktadır. Sıcaklık ve depolama süresi CH<sub>4</sub> üretimini etkileyen en önemli faktörlerdir. Gübrenin depolanması esnasında ortalama 4,5 kg CH<sub>4</sub>/m<sup>3</sup>-gübre emisyonu meydana gelmektedir (Monteny vd. 2001).

Çin'in Hubei bölgesinde yapılan bir araştırmada, büyükbaş hayvan yetiştiriciliğinde metan ve nitrik oksit emisyonları ölçülmüştür. Araştırma sonucunda metan emisyon faktörü 0,408 kg CH<sub>4</sub>/yıl-hayvan, nitrik oksit emisyon faktörü 1,307 CH<sub>4</sub>/yıl-hayvan olarak bulunmuştur (Wei vd. 2018).

Sıcaklığın ve karıştırmanın biyogaz üretimine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, sıcaklık ve karıştırma ile biyogaz üretimi arasında önemli bir ilişki olduğu belirtilmiştir. En yüksek biyogaz veriminin 40 °C sıcaklıkta ve karıştırma ile elde edildiği belirtilmiştir (Hajji vd. 2016).

Küçük ölçekli biyogaz işletmelerinin ekonomik analizinin yapıldığı bir araştırmada, her bir büyük baş hayvan için 1 m<sup>3</sup> reaktör hacmine gereksinim olduğu, bir hayvanın yılda 120 m<sup>3</sup> biyogaz üretebileceği belirtilmiştir. Araştırmacılar, bu üretim miktarının 4,4 adet LPG tüpüne (12 kg) eşdeğer olduğunu bildirmişlerdir (Tufaner ve Avşar, 2019).

Yohaness (2010), hayvanların farklı yemlerle beslenmesinin gübredeki metan üretim potansiyeline önemli bir etkisinin olmadığını belirtmiştir.

Küçük ölçekli işletmelerde kurulacak 2 KW kurulu güç geliştirebilecek bir biyogaz tesisinin, fermentasyon atıklarının da değerlendirilmesi koşuluyla, kendisini 3,5-5 yıl arasında amorti edebileceği belirtilmiştir. Araştırmacılar amortisman sürecini kısaltmak için tamir ve bakım işlerinin bizzat çiftçiler tarafından yapılmasını önermişlerdir (Wresta ve ark., 2014).

Yapılan bir araştırmada, 100 ton/gün hayvan gübresinin kullanılacağı bir biyogaz tesisinde 2780 m<sup>3</sup>/gün biyogaz üretilebileceği ve bunun enerji değerinin 18070 KWh/gün olduğu belirtilmiştir. Bu biyogaz üretimiyle %38,5 verimle çalışan gaz motorlarında 6957 KWh/gün elektrik enerjisi elde edilebileceği bildirilmiştir (Tolay vd. 2008).

Biyogaz üretim potansiyelini etkileyen ana faktörler hidrolik bekleme süresi, materyalin çeşidi, pH düzeyi, sıcaklık, organik yükleme oranı, karıştırma, oksijen oranı, uçucu yağ asitleri ve amonyak miktarıdır (Sawyer vd. 2019).

Bitkisel kökenli artıklardan biyogaz elde edilmesinde ön işlem uygulaması biyogaz verimini önemli ölçüde arttırmaktadır. Fiziksel ön işlemler (mekanik, termal, ultrasonik, elektrokinetik), kimyasal ön işlemler (alkali uygulamaları), biyolojik ön işlemler (mikrobiyal ön işlem, enzim ekleme) ve kombine ön işlemler (buhar uygulamaları, ekstraksiyon vb) önemli ön işlem uygulamalarıdır. Buhar ön işlem uygulamasıyla kesimhane atıklarının biyogaz verimi 450 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/t-materyal değerinden 500 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/t-materyal değerine, mısır silajının 200 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/t-materyal değerinden 250 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/t-materyal değerine, samanın 2800 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/t-materyal değerinden 4000 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/t-materyal değerine, sazlık bitkilerinin 210 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/t-

materyal değerinden 250 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/t-materyal değerine yükseldiği bildirilmiştir (Bochmann ve Lucy, 2013).

Recebli vd. (2015) yaptıkları araştırmada, biyogazın ısı amaçlı kullanılması durumunda, doğal gaza göre 0,35 \$/m<sup>3</sup> kazanç sağlanabileceğini belirtmişlerdir.

Kougias ve Angelidaki (2018) çeşitli materyallerin biyogaz potansiyelleri ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Araştırmacılar, sığır gübresinden 242-399 mL CH<sub>4</sub>/g VS, tavuk gübresinden 107-438 CH<sub>4</sub>/g VS, domuz gübresinden 313-322 CH<sub>4</sub>/g VS, mısır silajından 270-298 CH<sub>4</sub>/g VS, çeltik sapından 279-280 CH<sub>4</sub>/g VS, mutfak atıklarından 541-683 CH<sub>4</sub>/g VS biyogaz üretimi gerçekleşebileceğini bildirmişlerdir.

Ülkemizin Akdeniz Bölgesinde (Antalya, Burdur, Isparta, Mersin, Adana, Hatay, Osmaniye ve Kahramanmaraş illerini kapsayan) yapılan bir araştırmada, 183 Mm<sup>3</sup> biyogaz üretim potansiyeli olduğu belirtilmiştir. Bu potansiyel 0,08 MTOE/yıl enerji üretim kapasitesine karşılık gelmektedir. Araştırmacı bu bölgede biyogaz üretimi ile CO<sub>2</sub> emisyonunda yılda 1,7 milyon ton azalma sağlanabileceğini bildirmiştir (Akyürek, 2018).

Ülkemizde 8,9 milyon sığır, 98 milyon kümes hayvanı bulunmaktadır ve bunların yıllık gübre üretim miktarı toplam 92,1 milyon ton civarındadır. Yıllık biyogaz üretim potansiyeli 1,6 milyar m<sup>3</sup>, enerji değeri 36,7 PJ dolayındadır. Bu gübrelere biyogaz üretilmesi durumunda CO<sub>2</sub> emisyonunda 17,2-25,3 milyon ton/yıl azalma olacağı tahmin edilmektedir (Karaca, 2018).

Metan salınımı açasından en büyük kaynak olan sığır gübresinin biyogaz üretiminde kullanılması, metan tutumu açasından da önemlidir. 100 hayvana sahip bir işletmede gübrenin açaıkta depolanması durumunda günde 222 kg CO<sub>2e</sub> metan salınımı gerçekleşmektedir. Bu hayvanların gübresinin biyogaz tesisinde değerlendirilmesi durumunda, ısı amaçlı kullanımda toplam 133 kg CO<sub>2e</sub>/gün, elektrik enerjisi elde etme durumunda toplam 186 kg CO<sub>2e</sub>/gün emisyon azalması gerçekleşecektir (Lukahurst ve Bywater, 2015).

Fueloil yerine biyometan kullanılması durumunda ısı enerjisi elde edilmesinde 0,269 kg CO<sub>2e</sub>/KWh, elektrik enerjisi elde edilmesinde 0,454 kg CO<sub>2e</sub>/kWh metan tutumu sağlanmaktadır. Ayrıca, fermentasyon atıklarındaki azotun kimyasal azotlu gübre yerine kullanılması durumunda 6,172 kg CO<sub>2e</sub>/kg metan tutumu sağlanabilir (DEEC, 2013; Frost ve Gilkinson, 2010).

Büyükbaş hayvan çiftliklerinde sıvı gübre üretimi 55-64 kg/gün arasında değişmektedir (Defra, 2010).

İspanya’da yapılan bir araştırmada 88 arıtma tesisinde kurulacak biyogaz tesisleriyle 1,8 Mt CO<sub>2e</sub>/yıl metan tutumu sağlanabileceği belirtilmiştir (Picardo vd. 2019).

600 kWe kurulu güce sahip mikro-gaz türbini bulunan bir biyogaz işletmesinde yapılan araştırmada, termal verimin %77’lere ulaştığı ve sistemin kendisini 6 yıl içerisinde amorti edebileceği belirtilmiştir (Baccioli vd. 2019).

İsveç’te yapılan bir araştırmada biyogaz temelli CHP nitelerinde 39 GWh/yıl elektrik enerjisi üretilebileceği, bunun kömür santrallerinde üretilen elektrik ile ikame edildiğinde CO<sub>2</sub> emisyonlarında 32 000 ton/yıl azalma sağlayacağını ve bu değerin emisyon oranlarında %50 azalma anlamına geldiği belirtilmiştir (Amiri vd. 2013).

İspanya’nın Cantabria bölgesinde yapılan bir araştırmada, 1 m<sup>3</sup> sıvı gübreden 0,66-1,47 Nm<sup>3</sup>/gün biyogaz elde edilebileceği belirtilmiştir. Araştırmacılar, bölgedeki gübre potansiyelinin tam olarak değerlendirilmesi durumunda, bölgenin elektrik enerjisi ihtiyacının %2’den fazla kısmının biyogazdan sağlanabileceğini bildirmişlerdir (Rico vd. 2011).

Ardahan ilinde yapılan bir araştırmada, ilin biyogaz potansiyeli belirlenmiştir. İldeki hayvan varlığının ve biyokütle potansiyelinin tamamı dikkate alınarak yapılan araştırmada, bu varlıkların tamamının biyogaz olarak değerlendirilmesi durumunda 323 GWh/yıl elektrik enerjisi sağlanabileceği ve kömür yerine ikame edildiğinde 2 000 000 ton CO<sub>2e</sub>/yıl emisyon azalması sağlanabileceği belirtilmiştir (zer, 2017).



### **3. MATERYAL VE YÖNTEM**

#### **3.1. Materyal**

##### **3.1.1. Araştırmanın yürütüldüğü il**

Araştırma Tekirdağ ilinde 100 adet ve daha fazla hayvan sayısına sahip işletmeler tespit edilerek yürütülmüştür.

Tekirdağ tamamı Trakya Bölgesinde Marmara denizinin kuzeyinde olan bir ilimizdir. 6313 km<sup>2</sup> yüzölçümüne sahiptir. Denizden yüksekliği 0-200 m arasında değişmektedir. 2018 yılı itibarıyla 1005463 nüfusa sahiptir. İklim özellikleri bakımından yarı nemli grubuna girmektedir. Yağış rejimi olarak Akdeniz iklim kategorisine girmektedir. Sahil şeridinde yazları sıcak ve ılık, iç kesimlerde daha çok karasal iklim hâkimdir. En az yağış Ağustos ayında, en fazla yağış Aralık ayında gerçekleşmektedir.

Tekirdağ ilinin gayri safi üretim değerinin %25'i hayvansal üretimden kaynaklanmaktadır. Meraya dayalı hayvancılıkta gerileme görülmekle beraber, büyükbaş hayvan sayısında artış olmaktadır (Anonim, 2019).

Tekirdağ ilinin 11 adet ilçesi bulunmaktadır. Bu ilçeler, Süleymanpaşa, Çorlu, Çerkezköy, Muratlı, Malkara, Şarköy, Saray, Marmaraereğlisi, Hayrabolu, Ergene ve Kapaklı'dır. Tarımsal üretimin yoğun olarak yapıldığı ilçeler Hayrabolu, Muratlı, Malkara ve Şarköy'dür.

#### **3.2. Yöntem**

##### **3.2.1. İşletme sayılarının tespit edilmesi**

Hayvansal üretim yapan işletmelerde biyogaz üretimi hayvan sayısı 100 ve daha fazla olduğunda ticari anlamda ekonomik olmaktadır (Yaldız ve Sözer, 2005). Bu nedenle araştırma 100 ve daha fazla büyükbaş hayvan sayısına sahip işletmelerde yürütülmüştür.

Tekirdağ ilinde bulunan 100 adet ve daha fazla hayvan sayısına sahip işletmeler Tarım ve Orman il, ilçe müdürlüklerinden yardım alınarak tespit edilmiştir.

### 3.2.2. Metan üretim potansiyeli ve enerji değerinin saptanması

Metan üretim potansiyelinin saptanması amacıyla kullanılan katsayılar Çizelge 3.1’de verilmiştir.

**Çizelge 3. 1.** Metan üretim potansiyelinin hesaplanmasında kullanılan katsayılar (Lukahurst ve Bywater, 2015).

	Değer	Birim
Sıvı Gübre Üretimi (SGU)	$55 \frac{\text{kg}}{\text{Gün-hayvan}} * n$	kg/gün
Katı Madde Miktarı (KM)	% 13,9 SGU	kg/gün
Organik Katı Madde (OKM)	% 11,62 SGU ya da % 83 KM	kg/gün
Metan Üretimi (MU)	$0,15 \frac{\text{Nm}^3}{\text{kg-OKM}} * \text{OKM}$	Nm <sup>3</sup> /gün
Metanın özgül enerji değeri	9,97	kWh/Nm <sup>3</sup>

n: Hayvan sayısı

### 3.2.2. Metanın ısı amaçlı kullanımında enerji potansiyelinin hesaplanması

Üretilen metanın %48’lik kısmının reaktör ısıtılması amacıyla kullanıldığı, geri kalan %52’lik kısmının yararlı enerji olarak kullanıldığı kabul edilmektedir (Lukahurst ve Bywater, 2015). Isı amaçlı yararlı kullanım potansiyeli aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanmıştır;

$$EP_{\text{ISI}} = 0,52 * ED \quad (3.1)$$

Burada;  $EP_{\text{ISI}}$  (kWh/gün) yararlı ısı enerji potansiyelidir.

### 3.2.3. Metanın CHP ünitesinde kullanım potansiyelinin hesaplanması

CHP ünitesinde metandan elde edilen enerjinin %90’lık kısmı yararlı enerjiye dönüşmektedir. Bu yararlı enerjinin %35’lik kısmının elektrik enerjisinin, %55’lik kısmının ısı

enerjisi olarak kullanıldığı kabul edilmektedir (Rutz, 2015). CHP ünitesinde üretilen ısı enerjisinin %56'lık kısmının reaktör ısıtılmasında kullanıldığı kabul edilmiştir (Lukahurst ve Bywater, 2015).

Elektrik enerjisi potansiyeli aşağıdaki bağıntıyla hesaplanmıştır;

$$EP_{elk} = 0,35 * ED \quad (3.2)$$

Burada;  $EP_{elk}$  (kWh/gün) yararlı elektrik enerjisi potansiyelidir.

CHP ünitesinde ortaya çıkan ısı enerjisinin yararlı kısmı aşağıdaki bağıntı yardımıyla bulunmuştur;

$$EP_{CHP,ısı} = 0,44 * (0,55 * ED) \quad (3.3)$$

Burada;  $EP_{CHP,ısı}$  (KWh/gün) CHP ünitesinde elde edilen yararlı ısı enerjisi potansiyelidir.

### 3.2.4. Uzun süreli depolamada metan salınımı ve CO<sub>2</sub> eşdeğerinin hesaplanması

Gübrenin uzun süreli depolanmasında ortaya çıkan metan salınımı ve CO<sub>2</sub> eşdeğeri Çizelge 3.2'de verilen değerler dikkate alınarak hesaplanmıştır.

**Çizelge 3. 2.** Uzun süreli depolamada metan salınım (Lukahurst ve Bywater, 2015).

	Değer	Birim
Uzun süreli depolamada hacimsel metan salınımı (UDMS <sub>V</sub> )	%13 MU	Nm <sup>3</sup> /gün
Uzun süreli depolamada kütleli metan salınımı (UDMS <sub>M</sub> )	0,715474 kg/Nm <sup>3</sup> * UDMS <sub>V</sub>	kg/gün
Uzun süreli depolamada metan salınımının CO <sub>2</sub> eşdeğeri (UDCO <sub>2e</sub> )	25* UDMS <sub>M</sub>	kg CO <sub>2e</sub> /gün

### 3.2.5. Metanın Fueloil yerine kullanılması durumunda metan tutumunun hesaplanması

Metanın ısı amaçlı kullanımı ve elektrik enerjisine dönüştürülmesi ile metan tutumu CO<sub>2</sub> eşdeğeri emisyon faktörleri Çizelge 3.3’de verilmiştir.

**Çizelge 3. 3.** Emisyon azalma faktörleri (DECC, 2013)

<b>Kullanım</b>	<b>EF</b>	<b>Birim</b>
Isı enerjisi	0,269	kg CO <sub>2e</sub> /KWh
Elektrik enerjisi	0,454	kg CO <sub>2e</sub> /KWh

Isı amaçlı kullanımda toplam metan tutumunun CO<sub>2</sub> eşdeğeri aşağıdaki bağıntıyla bulunmuştur;

$$MT_{1S1} = EF_{1S1} * EP_{1S1} \quad (3.4)$$

Burada;  $MT_{1S1}$  (kg CO<sub>2e</sub>/gün) metanın ısı amaçlı kullanımında toplam metan tutumu,  $EF_{1S1}$  (kg CO<sub>2e</sub>/kWh) ısı amaçlı metan tutumu emisyon faktörüdür.

CHP ünitesinde elektrik enerjisi elde edilmesinde toplam metan tutumunun CO<sub>2</sub> eşdeğeri aşağıdaki bağıntılarla bulunmuştur;

$$MT_{elk} = EF_{elk} * EP_{elk} \quad (3.5)$$

$$MT_{CHP,1S1} = EF_{1S1} * EP_{CHP,1S1} \quad (3.6)$$

Burada;  $MT_{elk}$  ve  $MT_{CHP,1S1}$  (kg CO<sub>2e</sub>/gün) metandan elektrik ve ısı enerjisi elde edilmesinde toplam metan tutumu,  $EF_{elk}$  (kg CO<sub>2e</sub>/kWh) elektrik amaçlı metan tutumu emisyon faktörüdür.

### 3.2.6. Fermentasyon atıklarının azotlu mineral gübre yerine kullanılmasında metan tutumunun hesaplanması

Fermentasyon atıklarının azotlu mineral gübre yerine kullanılmasında metan tutumu Çizelge 3.4’de verilen değerlerden yararlanarak hesaplanmıştır (Frost ve Gilkinson, 2010).

**Çizelge 3. 4.** Fermentasyon atıklarının azotlu gübre yerine kullanılmasında metan tutumu

	Değer	Birim
Bulamaçtaki azot miktarı (BAM)	$0,286 \frac{\text{kg}}{\text{Gün} - \text{hayvan}} * n$	kg/gün
Kullanılabilir azot miktarı (KAM)	0,36 BAM	kg/gün
Fermentasyon atıklarındaki gübre olarak kullanılabilir azot miktarı (FAM)	0,20 KAM	kg/gün
Azotlu gübre yerine kullanımda metan tutumunun CO <sub>2</sub> eşdeğeri (MT <sub>güb</sub> )	$6,172 \frac{\text{kg CO}_{2e}}{\text{kg}} * \text{FAM}$	kg CO <sub>2e</sub> /gün

n: Hayvan sayısı

### 3.2.7. Isı enerjisi kullanımı ve CHP ünitesinde Toplam metan tutumunun saptanması

Isı ve elektrik amaçlı kullanımda toplam metan tutumunu hesaplariken uzun süreli depolamadaki metan salınımı ve gübre olarak kullanımdaki metan tutumu da eklenmelidir.

Isı amaçlı kullanımda toplam metan tutumu;

$$\sum MT_{\text{ısı}} = MT_{\text{ısı}} + MT_{\text{güb}} + UDCO_{2e} \quad (3.7)$$

CHP ünitesinde metan kullanımında toplam metan tutumu;

$$\sum MT_{\text{elk}} = MT_{\text{elk}} + MT_{\text{CHP,ısı}} + MT_{\text{güb}} + UDCO_{2e} \quad (3.8)$$

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

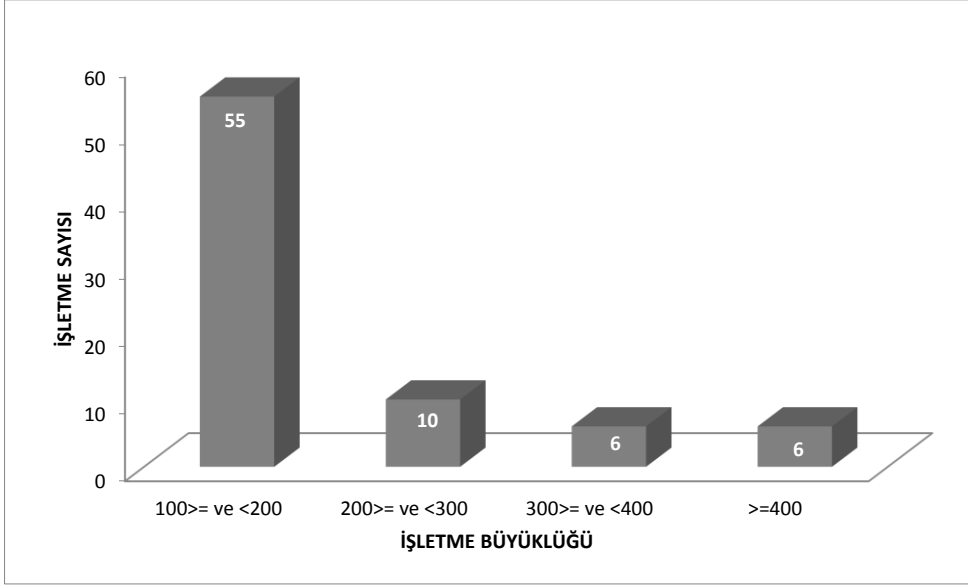
### 4.1. Tekirdağ ilinde hayvansal üretim yapan işletmelerin mevcut durumu

Tekirdağ ilinde 2019 yılının başlarında 100 ve daha fazla hayvan sayısı bulunan işletmelerin ilçelere göre dağılımları Çizelge 4.1’de verilmiştir. İl genelinde 77 adet işletme bulunmaktadır. En fazla işletme sayısı 19 adet ile Malkara ilçesinde, en az işletme sayısı 4 adet ile Saray ilçesindedir. İşletmelerin büyük çoğunluğunda (55 adet) hayvan sayısı 200’den azdır. İşletme büyüklüklerinin dağılım grafiği Şekil 4.1’de verilmiştir.

**Çizelge 4. 1.** Tekirdağ ilinde 100 hayvan sayısından fazla olan işletmelerin ilçelere göre dağılımları

İLÇELER	100>=	200>=	300>=	400<=	TOPLAM
	ve <200	ve <300	ve <400		
Çerkezköy	4	0	0	0	4
Çorlu	4	4	0	1	9
Ergene	5	2	0	0	7
Hayrabolu	7	1	0	1	9
Kapaklı	6	0	1	0	7
Malkara	16	0	2	1	19
Marmaraereğlisi	3	0	1	1	5
Muratlı	4	0	0	1	5
Saray	4	2	0	0	6
Süleymanpaşa	2	1	2	1	6
<b>TOPLAM</b>	<b>55</b>	<b>10</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>77</b>

Hayvan sayılarının ilçelere göre dağılım Çizelge 4.2’de verilmiştir. 100’den fazla hayvana sahip işletmelerde il genelinde 23 435 hayvan bulunmaktadır. En fazla hayvan sayısına sahip ilçe 7 909 adet ile Muratlı, en az hayvan sayısına sahip ilçe 631 adet ile Çerkezköy’dür. En fazla işletme sayısına sahip olmasına rağmen Malkara ilçesi hayvan sayısı bakımından ikinci sırada yer almıştır. Bunun nedeni Muratlı ilçesinde 7 350 hayvan sayısına sahip büyük bir işletmenin bulunmasıdır.



Şekil 4. 1. İl genelinde işletme büyüklüklerinin dağılımı

Çizelge 4. 2. Hayvan sayılarının ilçelere göre dağılımı

İLÇELER	HAYVAN SAYISI
Çerkezköy	631
Çorlu	1 913
Ergene	1 104
Hayrabolu	3 153
Kapaklı	1 036
Malkara	3 416
Marmaraereğlisi	1 214
Muratlı	7 909
Saray	1 061
Süleymanpaşa	1 998
<b>TOPLAM</b>	<b>23 435</b>

#### 4.2. Metan üretim potansiyeli ve enerji değeri

İşletmelerin sıvı gübre, organik katı madde ve metan üretim potansiyelleri ile enerji değerlerinin ilçelere göre dağılımları Çizelge 4.3’de verilmiştir. Bu işletmelerde il genelinde toplam 1 288,9 ton/gün sıvı gübre, 149,8 ton/gün organik katı madde üretimi olmaktadır.

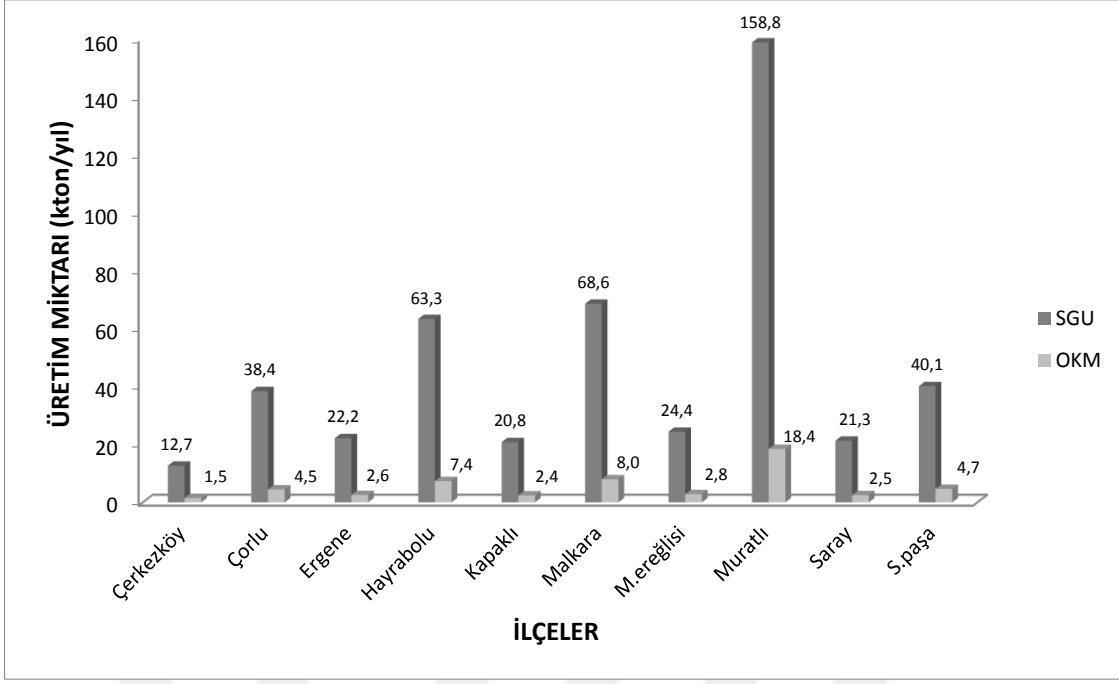
Yıllık üretim değerlerinin ilçelere göre dağılımı Şekil 4.2’de verilmiştir. Yıllık toplam sıvı gübre üretim miktarı 470,46 kton/yıl, organik katı madde üretim miktarı 54,67 kton/yıl olarak hesaplanmıştır.

Metan üretim potansiyeli ise 22 466 Nm<sup>3</sup>/gün olarak bulunmuştur. Üretilebilecek metanın enerji değeri 223,99 MWh/gün’dür. Bu işletmelerde metan üretiminden İl genelinde bir yılda 81 756,4 MWh enerji sağlama potansiyeli olduğu görülmektedir (Çizelge 4.3).

**Çizelge 4. 3.** Tekirdağ ilinde işletmelerin metan üretim potansiyeli ve enerji değeri

<b>İLÇELER</b>	<b>SGU (ton/gün)</b>	<b>OKM (ton/gün)</b>	<b>MU (Nm<sup>3</sup>/gün)</b>	<b>ED (MWh/gün)</b>	<b>ED (MWh/yıl)</b>
Çerkezköy	34,7	4,03	604,9	6,03	2 201,0
Çorlu	105,2	12,23	1 833,9	18,28	6 672,2
Ergene	60,7	7,06	1 058,3	10,55	3 850,8
Hayrabolu	173,4	20,15	3 022,6	30,14	11 001,1
Kapaklı	57,0	6,62	993,2	9,90	3 613,5
Malkara	187,9	21,83	3 274,7	32,65	11 917,3
Marmaraereğlisi	66,8	7,76	1 163,8	11,60	4 234,0
Muratlı	435,0	50,55	7 582,0	75,59	27 590,4
Saray	58,4	6,78	1 017,1	10,14	3 701,1
Süleymanpaşa	109,9	12,77	1 915,4	19,10	6 971,5
<b>TOPLAM</b>	<b>1 288,9</b>	<b>149,77</b>	<b>22 466,0</b>	<b>223,99</b>	<b>81 756,4</b>





Şekil 4. 2. Tekirdağ ilinde ilçelere göre yıllık sıvı gübre ve organik katı madde üretimi

#### 4.3. Metanın ısı amaçlı kullanımında yararlı enerji potansiyeli

İşletmelerde üretilecek biyogaz ile elde edilecek metanın ısı amaçlı kullanılması durumunda elde edilecek yararlı enerji miktarlarının ilçelere göre dağılımı Çizelge 4.4’de verilmiştir. Isı amaçlı kullanımda il genelinde 116,47 MWh/gün enerji kullanım potansiyeli bulunmaktadır. Yıllık potansiyel 42 512,48 MWh’dır. Muratlı ilçesi 14 347,39 MWh/yıl ısı enerjisi kullanım potansiyeli ile en yüksek değere sahiptir.

Çizelge 4. 4. Isı amaçlı kullanımda yararlı enerji potansiyeli

İLÇELER	EP <sub>ısı</sub> (MWh/gün)	EP <sub>ısı</sub> (MWh/yıl)
Çerkezköy	3,14	1 144,67
Çorlu	9,51	3 470,30
Ergene	5,49	2 002,72
Hayrabolu	15,67	5 719,73
Kapaklı	5,15	1 879,37
Malkara	16,98	6 196,83
Marmaraereğlisi	6,03	2 202,27
Muratlı	39,31	14 347,39
Saray	5,27	1 924,72

Süleymanpaşa	9,93	3 624,49
<b>TOPLAM</b>	<b>116,47</b>	<b>42 512,48</b>

#### 4.4. Metanın CHP ünitesinde kullanımında yararlı enerji potansiyeli

Metan üretim potansiyelinin CHP ünitesinde elektrik enerjisi elde etmek amacıyla kullanılması durumunda il genelinde 28 614,17 MWh/yıl elektrik enerjisi, 19 784,65 MWh/yıl ısı enerjisi potansiyeli bulunmaktadır. Toplam yararlı enerji potansiyeli 48 398,82 MWh/yıldır (Çizelge 4.5). En yüksek yararlı enerji potansiyeli 16 333,96 MWh/yıl ile Muratlı ilçesindedir. En düşük potansiyel ise 1 303,16 MWh/yıl ile Çerkezköy ilçesinde bulunmuştur.

**Çizelge 4. 5.** CHP ünitesinde kullanımda yararlı enerji potansiyeli

<b>İLÇELER</b>	<b>EP<sub>elk</sub></b> <b>(MWh/gün)</b>	<b>EP<sub>CHP,ısı</sub></b> <b>(MWh/gün)</b>	<b>Toplam</b> <b>(MWh/gün)</b>	<b>Toplam</b> <b>(MWh/yıl)</b>
Çerkezköy	2,11	1,46	3,57	1 303,16
Çorlu	6,40	4,42	10,82	3 950,80
Ergene	3,69	2,55	6,25	2 280,02
Hayrabolu	10,55	7,29	17,84	6 511,69
Kapaklı	3,47	2,40	5,86	2 139,59
Malkara	11,43	7,90	19,33	7 054,85
Marmaraereğlisi	4,06	2,81	6,87	2 507,20
Muratlı	26,46	18,29	44,75	16 333,96
Saray	3,55	2,45	6,00	2 191,22
Süleymanpaşa	6,68	4,62	11,31	4 126,34
<b>TOPLAM</b>	<b>78,39</b>	<b>54,20</b>	<b>132,60</b>	<b>48 398,82</b>

#### 4.5. Gübrenin uzun süreli depolanmasında metan salınımı ve CO<sub>2</sub> eşdeğerleri

Bu işletmelerde gübrenin biyogaz olarak değerlendirilmeden uzun süreli depolanması durumunda metan salınım değerleri ve bunların CO<sub>2</sub> eşdeğerleri Çizelge 4.6'da verilmiştir. İl genelinde 2 089,60 kg/gün metan salınımı gerçekleşmektedir. Bunun CO<sub>2</sub> eşdeğeri 52,24 ton CO<sub>2e</sub>/gündür. Yıllık metan salınımının CO<sub>2</sub> eşdeğeri 19 067,56 ton CO<sub>2e</sub>'dir. En yüksek metan salınımı CO<sub>2</sub> eşdeğeri 6 435,05 ton CO<sub>2e</sub>/yıl değeri ile Muratlı ilçesindedir.

**Çizelge 4. 6.** Gübrenin uzun süreli depolanmasında metan salınımı ve CO<sub>2</sub> eşdeğerleri

<b>İLÇELER</b>	<b>UDMS<sub>m</sub> (kg/gün)</b>	<b>UDCO<sub>2e</sub> (ton/gün)</b>	<b>UDCO<sub>2e</sub> (ton/yıl)</b>
Çerkezköy	56,26	1,41	513,40
Çorlu	170,57	4,26	1 556,49
Ergene	98,44	2,46	898,25
Hayrabolu	281,14	7,03	2 565,39
Kapaklı	92,38	2,31	842,93
Malkara	304,59	7,61	2 779,38
Marmaraereğlisi	108,25	2,71	987,75
Muratlı	705,21	17,63	6 435,05
Saray	94,60	2,37	863,27
Süleymanpaşa	178,15	4,45	1 625,64
<b>TOPLAM</b>	<b>2 089,60</b>	<b>52,24</b>	<b>19 067,56</b>

#### **4.6. Fermentasyon artıklarının gübre olarak değerlendirilmesi durumunda metan tutumu**

Biyogaz üretiminde fermentasyon artıklarının organik gübre olarak değerlendirilmesi durumunda metan tutumunun CO<sub>2</sub> eşdeğerleri Çizelge 4.7’de verilmiştir. İşletmelerde ortaya çıkan sıvı gübredeki azot miktarı (BAM) toplam 6 702,4 kg/gün’dür. Sıvı gübrede bakteriler tarafından kullanılmaya uygun azot miktarı (KAM) 2 412,9 kg/gün, fermentasyon artıklarında gübre olarak yararlanılabilecek azot miktarı (FAM) 482,6 kg/gün olarak hesaplanmıştır. Fermentasyon artıklarının gübre olarak değerlendirilmesi durumunda 2 978,4 kg CO<sub>2e</sub>/gün ve 1 087,13 ton CO<sub>2e</sub>/yıl metan tutumu sağlanacaktır.

**Çizelge 4. 7.** Fermentasyon atıklarının gübre olarak değerlendirilmesinde metan tutumu

İLÇELER	BAM (kg/gün)	KAM (kg/gün)	FAM (kg/gün)	MT <sub>güb</sub> (kg CO <sub>2e</sub> /gün)	MT <sub>güb</sub> (ton CO <sub>2e</sub> /yıl)
Çerkezköy	180,5	65,0	13,0	80,2	29,27
Çorlu	547,1	197,0	39,4	243,1	88,74
Ergene	315,7	113,7	22,7	140,3	51,21
Hayrabolu	901,8	324,6	64,9	400,7	146,27
Kapaklı	296,3	106,7	21,3	131,7	48,06
Malkara	977,0	351,7	70,3	434,2	158,47
Marmaraeğlisi	347,2	125,0	25,0	154,3	56,32
Muratlı	2 262,0	814,3	162,9	1005,2	366,89
Saray	303,4	109,2	21,8	134,8	49,22
Süleymanpaşa	571,4	205,7	41,1	253,9	92,69
<b>TOPLAM</b>	<b>6 702,4</b>	<b>2 412,9</b>	<b>482,6</b>	<b>2 978,4</b>	<b>1 087,13</b>

#### 4.7. Metanın ısı amaçlı kullanılmasında toplam metan tutumu

İşletmelerde üretilen biyogazdaki metanın yalnızca ısı enerjisi elde etmek amacıyla kullanılması durumunda sağlanacak metan tutumu Çizelge 4.8’de verilmiştir. Isı amaçlı kullanımda il genelinde toplam 86,55 ton CO<sub>2e</sub>/gün ve 31 590,55 ton CO<sub>2e</sub>/yıl metan tutumu sağlanmaktadır. Gübrenin değerlendirilmeden uzun süreli depolanması yerine, anaerobik fermentasyonla metan elde edilip yararlı enerji potansiyelinin yalnızca ısı enerjisi elde edilmesi amacıyla kullanılması durumunda, açıkta depolamaya ek olarak 12 522,99 ton CO<sub>2e</sub>/yıl daha az metan salınımı sağlanmış olacaktır.

**Çizelge 4. 8.** Isı amaçlı kullanımda toplam metan tutumu

İLÇELER	MT <sub>ısı</sub> (ton CO <sub>2e</sub> /gün)	MT <sub>güb</sub> (ton CO <sub>2e</sub> /gün)	UDCO <sub>2e</sub> (ton CO <sub>2e</sub> /gün)	TOPLAM (ton CO <sub>2e</sub> /gün)	TOPLAM (ton CO <sub>2e</sub> /yıl)
Çerkezköy	0,84	0,08	1,41	2,33	850,59
Çorlu	2,56	0,24	4,26	7,07	2 578,74
Ergene	1,48	0,14	2,46	4,08	1 488,20
Hayrabolu	4,22	0,40	7,03	11,64	4 250,27
Kapaklı	1,39	0,13	2,31	3,83	1 396,54

Malkara	4,57	0,43	7,61	12,62	4 604,79
Marmaraereğlisi	1,62	0,15	2,71	4,48	1 636,48
Muratlı	10,57	1,01	17,63	29,21	10 661,39
Saray	1,42	0,13	2,37	3,92	1 430,24
Süleymanpaşa	2,67	0,25	4,45	7,38	2 693,32
<b>TOPLAM</b>	<b>31,33</b>	<b>2,98</b>	<b>52,24</b>	<b>86,55</b>	<b>31 590,55</b>

#### 4.8. Metanın CHP ünitesinde kullanılmasında toplam metan tutumu

CHP ünitesinde elektrik enerjisi ve ek ısı elde etmek amacıyla biyogaz ünitesinde üretilen metanın kullanılması durumunda elektrik enerjisi için toplam 35,59 ton CO<sub>2e</sub>/gün, ek ısı kazanımında 14,58 ton CO<sub>2e</sub>/gün metan tutumu sağlanmaktadır (Çizelge 4.9). Toplam metan tutumu 105,39 ton CO<sub>2e</sub>/gün ve 38 467,6 ton CO<sub>2e</sub>/yıl olarak hesaplanmıştır. Gübrenin bu yolla değerlendirilmesiyle, açıkta depolamaya ek olarak metan salınımindaki azalma 19 400 ton CO<sub>2e</sub>/yıl olacaktır.

**Çizelge 4. 9.** Metanın CHP ünitesinde kullanımında metan tutumu

İLÇELER	MT <sub>elk</sub> (ton CO <sub>2e</sub> /gün)	MT <sub>CHPısı</sub> (ton CO <sub>2e</sub> /gün)	MT <sub>güb</sub> (ton CO <sub>2e</sub> /gün)	UDCO <sub>2e</sub> (ton CO <sub>2e</sub> /gün)	TOPLAM (ton CO <sub>2e</sub> /gün)	TOPLAM (ton CO <sub>2e</sub> /yıl)
Çerkezköy	0,96	0,39	0,08	1,41	2,84	1 035,8
Çorlu	2,91	1,19	0,24	4,26	8,60	3 140,1
Ergene	1,68	0,69	0,14	2,46	4,96	1 812,2
Hayrabolu	4,79	1,96	0,40	7,03	14,18	5 175,5
Kapaklı	1,57	0,64	0,13	2,31	4,66	1 700,6
Malkara	5,19	2,13	0,43	7,61	15,36	5 607,2
Marmaraereğlisi	1,84	0,76	0,15	2,71	5,46	1 992,7
Muratlı	12,01	4,92	1,01	17,63	35,57	12 982,3
Saray	1,61	0,66	0,13	2,37	4,77	1 741,6
Süleymanpaşa	3,03	1,24	0,25	4,45	8,99	3 279,6
<b>TOPLAM</b>	<b>35,59</b>	<b>14,58</b>	<b>2,98</b>	<b>52,24</b>	<b>105,39</b>	<b>38 467,6</b>

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu araştırma, Tekirdağ ili genelinde ticari anlamda ekonomik biyogaz üretim potansiyeline sahip 100 ve daha fazla büyükbaş hayvan kapasitesindeki işletmeler dikkate alınarak yürütülmüştür. Araştırmada elde edilen sonuçları aşağıdaki şekilde özetlemek mümkündür;

- Tekirdağ ili genelinde 100'den fazla büyükbaş hayvan kapasitesine sahip 77 adet hayvancılık işletmesi bulunmaktadır. Bu işletmelerin yaklaşık %71'indeki hayvan sayısı 200'ün altındadır. En fazla işletme sayısı 19 adet ile Malkara ilçesinde, en az işletme sayısı 4 adet ile Çerkezköy ilçesindedir. Bu işletmelerde toplam 23 435 adet büyükbaş hayvan bulunmaktadır.
- Bu işletmelerde toplam 470 457,6 ton/yıl sıvı gübre, 54 667,2 ton/yıl organik katı madde üretimi gerçekleştirilmektedir. Metan üretim kapasitesi 22 466 Nm<sup>3</sup>/gün olarak hesaplanmıştır.
- Metan üretim kapasitesinin anaerobik fermantasyonla değerlendirilmesi halinde 223,99 MWh/gün, 81 756,4 MWh/yıl enerji üretim potansiyeli bulunmaktadır.
- Metan üretim potansiyelinin ısı amaçlı kullanılması durumunda 42 512,48 MWh/yıl yararlı ısı enerjisi elde edilebilecektir.
- Metan üretim potansiyeli ile CHP ünitesinde elektrik ve ek ısı elde edilmesi durumunda 28 614,2 MWh/yıl elektrik enerjisi, 19 784,7 MWh/yıl ek ısı enerjisi sağlanması mümkündür.
- Gübrenin uzun süreli depolanması halinde Tekirdağ ili genelinde 19 067,56 ton CO<sub>2e</sub>/yıl metan salınımı gerçekleştirilmektedir.
- Gübrenin uzun süreli depolanması yerine metan üretimiyle ısı amaçlı kullanımında 12 525,6 ton CO<sub>2e</sub>/yıl, CHP ünitesinde kullanılması durumunda 19 400 ton CO<sub>2e</sub>/yıl daha az metan salınımı sağlanmış olacaktır.

Daha önce yapılan araştırmalar, meralarda yayılan ya da az sayıda hayvan barındıran küçük işletmelerde ekonomik anlamda metan üretim potansiyelinin düşük olduğunu, metan emisyon faktörünün de önemsenmeyecek düzeyde az olduğunu göstermektedir (Jun ve ark., 2001). Bu nedenle bir bölgenin toplam hayvan varlığı üzerinden yapılan hesaplamalar gerçekçi sonuç vermeyecektir. Tekirdağ ilinin gerçek anlamda teknik biyogaz potansiyelini ve metan tutumuna sağlayacağı katkıyı belirlemek için yapılan bu çalışma, bu nedenden dolayı

ekonomik anlamda yarar sağlayacak minimum hayvan varlığı 100 ve daha fazla olan işletmelerde yürütülmüştür.

Araştırma sonucunda görüldüğü gibi, Tekirdağ ilinde bulunan bu işletmelerde ortaya çıkan gübreden biyogaz elde edilmesi durumunda, önemli miktarda enerji kazanımı olacağı ve metan salınımının %66 (ısı) ile %101 (CHP) oranında azalacağı saptanmıştır. Başta Almanya olmak üzere birçok ülke, biyogazdan enerji elde edilmesinden ziyade, anaerobik fermantasyonun metan tutumuna yapacağı önemli katkıları dikkate alarak, işletme büyüklüğüne bakılmaksızın, işletme sahiplerinin biyogaz üretimine yönelmeleri için desteklemeler yapmaktadır. Ülkemizde teknik biyogaz potansiyelinin ancak %10'luk kısmı kullanılmaktadır. Enerji darboğazında olan ülkemizde, yenilenebilir enerji kaynağı olan biyogazın yaygınlaştırılması için, devletin mutlaka işletmelerin ekonomik kaygıları düşünmeden biyogaz üretimine yönelmesini sağlayacak destekleri sağlaması gerekmektedir. Biyogaz üretiminin çevresel katkıları da dikkate alındığında bu desteklerin önemi daha da artmaktadır.

## 6. KAYNAKLAR

- Akunna, JC. (2019). Anaerobic Waste-Wastewater Treatment and Biogas Plants, A Practical Handbook. CRC Press Taylor & Francis Group, 137 p, New York, USA.
- Akyürek, Z. (2018). Potential of Biogas Energy from Animal Waste in the Mediterranean Region of Turkey. *Journal of Energy Systems*, 2(4): 160-167.
- Amiri S, Henning D ve Karlsson BG (2013). Simulation and Introduction of a CHP Plant in a Swedish Biogas System. *Renewable Energy*, 49: 242-249.
- Anonim, (2010). Biyogaz Kılavuzu üretimden kullanıma, 261 p, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), Gülzow-Prüzen, Almanya.
- Anonim, (2017). State of biogas in the world. Clean Energy Solution Center, USA.
- Anonim, (2019a). Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. <https://www.enerji.gov.tr> (erişim tarihi, 13.11.2019).
- Anonim, (2019b). Biyogaz, Biyokütle, Atık Isı ve Pirolitik Yağ Enerji Santralleri. <https://www.enerjiatlası.com/biyogaz> (erişim tarihi, 13.11.2019).
- Anonim, (2019c). Tekirdağ Hakkında Bilgiler. <https://tekirdag.csb.gov.tr/ilimiz-hakkinda-i-905> (erişim 18.11.2019).
- Anonim, (2019d). Boiler operation and management. <https://www.endress.com/en/industry-expertise/steam-solutions/boiler-operation-management> (erişim 18.11.2019).
- Anonim, (2019e). Combined Heat and Power: An Emerging Market. <https://www.cusw.ca/web/innovation-station/news-room/-/blogs/combined-heat-and-power> (erişim tarihi: 15.11.2019).
- Baccioli, A. ve Ferrari, L., Vizza, F. ve Desideri, U. (2019). Feasibility Analysis of Coupling an ORC to a mGT in a Biogas Plant. *Energy Procedia*, 158: 2311-2316.
- Beil, M. ve Beyrich, W. (2013). Biogas upgrading to biomethane, *The Biogas Handbook Science, Production and Applications*, Ed: Wellinger A, Murphy J, Baxter D, Woodhead Publishing Series in Energy: Number 52, 367-377.
- Bochmann, G. ve Lucy, FR. (2013). Storage and pre-treatment of substrates for biogas production. *The Biogas Handbook Science, Production and Applications*, Ed: Wellinger A, Murphy J, Baxter D, Woodhead Publishing Series in Energy: Number 52, 85-103.
- DECC, (2013). Renewable Heat Incentive (RHI) - Increasing the use of low-carbon technologies. Available at: <https://www.gov.uk/government/policies/increasing-the-use-of-low-carbon-technologies/supporting-pages/renewable-heat-incentive-rhi>.
- DEFRA, (2010). Fertiliser manual (RB209). The Stationery Office, Norwich.



- Dueblein, D. ve Steinhäuser, A. (2011). *Biogas from Waste and Renewable Resources*, Second, Revised and Expanded Edition. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 550 p, Weinheim, Germany.
- Dumont, M., Luning, L., Yıldız, I. ve Koop, K. (2013). Methane Emissions in Biogas Production, *The Biogas Handbook Science, Production and Applications*, Ed: Wellinger A, Murphy J, Baxter D, Woodhead Publishing Series in Energy: Number 52, 248-266.
- Epp, C., Rutz, D., Kottner, M. ve Finsterwalder, T. (2008). Guidelines for Selecting Suitable Sites for Biogas Plants. BiG>East Project funded by the European Commission (EIE/07/214). WIP Renewable Energies, Munich, Germany.
- Frost, P. ve Gilkinson, S. (2010). First Year Performance Summary For Anaerobic Digestion of Dairy Cow Slurry at AFBI Hillsborough. Available at: <http://www.afbini.gov.uk/index/services/servicesspecialist-advice/renewable-energy-2012/re-anaerobic-digestion.htm>
- Hajji, A., Rhachi, M., Garoum, M., ve Laaroussi, N. (2016). The effects of pH, temperature and agitation on biogas production under mesophilic regime. 3rd International Conference on Renewable Energies for Developing Countries (REDEC).
- Harkin, T. (1997). *An Overview of Animal Waste Pollution in America: Environmental Risks of Livestock and Poultry Production*. U.S. Senate Committee on Agriculture, Nutrition, and Forestry, Washington, DC, USA.
- Jun, P., Gibbs, M. ve Gaffney, K. (2001). CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O Emissions From Livestock Manure. C/o Institute for Global Environmental Strategies, 1560-39 Kamiyamaguchi, Hayama, Kanagawa, JAPAN.
- Karaca, C. (2018). Determination of Biogas Production Potential from Animal Manure and GHG Emission Abatement in Turkey. *Int J Agric & Biol Eng*, 11(3):205-210.
- Kougias, PG. Ve Angalidaki, I. (2018). Biogas and its Opportunities—A review. *Front. Environ. Sci. Eng*, 12(3): 1-14.
- Krich, K., Augenstein, D., Batmale, J, P, Benemann, J, Rutledge, B. ve Salour, D. (2005). *Biomethane from Dairy Waste: A Sourcebook for the Production and Use of Renewable Natural Gas in California*. Available from: <http://www.biogas.psu.edu/pdfs/BiomethanefromDairysourcebook.pdf> (erişim tarihi: 12.11.2019).
- Liebetrau, J., Reuschel, C., Clement, J., Friehe J. ve Weiland, P. (2011). Analysis of greenhouse gas emissions from 10 biogas plants within the agricultural sector. DBFZ, Leipzig, Germany.
- Lukahurst, C. ve Bywater, A. (2015). *Exploring the Viability of Small Scale Anaerobic Digesters in Livestock Farming*. Technical Brochure, IEA Bioenergy (eBook electronic edition), England.
- Moeletsi, ME. ve Tongwane, MI. (2015). 2004 Methane and Nitrous Oxide Emissions from Manure Management in South Africa. *Animals*, 5:193-205.

- Monteny, GJ. Groenestein, CM. ve Hilhorst, MA. (2001). Interactions and Coupling Between Emissions of Methane and Nitrous Oxide from Animal Husbandry. *Nutr. Cycl. Agroecosyst*, 60: 123-132.
- Özer, B. (2017). Biogas Energy Opportunity of Ardahan City of Turkey. *Energy*, 139: 1144-1152.
- Paeger, J. (2012). <http://www.oekosystem-erde.de/html/energie.html> (erişim tarihi, 13.11.2019).
- Picardo, A., Victor, MS., Peralta, ME. ve Chacartegui R (2019). District Heating Based on Biogas from Wastewater Treatment Plant. *Energy*, 180: 649-664.
- Recebli, Z., Selimli, S., Özkaymak, M. ve Gonc, O. (2015). Biogas Production from Animal Manure. *Journal of Engineering Science and Technology*, 10(6): 722-729
- Rico, C., Rico, JL., Tejero, I., Muñoz, N., ve Gómez, B. (2011). Anaerobic Digestion of the Liquid Fraction of Dairy Manure in Pilot Plant for Biogas Production: Residual Methane Yield of Digestate. *Waste Management*, 31: 2167-2173.
- Rutz, D. (2015). Sustainable Heat Use of Biogas Plant Handbook, Second Edition. WIP Renewable Energies, 90 p, Munich, Germany.
- Sawyerr, N., Trois, C., Workneh T ve Okudoh V (2019). An Overview of Biogas Production: Fundamentals, Applications and Future Research. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 9(2): 105-116.
- Seadi, TA., Drosig, B., Fuchs, W., Rutz, D. ve Janssen, R. (2013). Biomass Resources for Biogas Production, *The Biogas Handbook Science, Production and Applications*, Ed: Wellinger A, Murphy J, Baxter D, Woodhead Publishing Series in Energy: Number 52, 19-51.
- Seadi, TA., Rutz, D., Prassl, H., Köttner, M., Finsterwalder T., Volk, S. ve Janssen, R. (2008). *Biogas Handbook*. Published by University of Southern Denmark Esbjerg, 126 p, Denmark.
- Thran, D., Seiffert, M., Muller-Langer, F., Plattner, A. ve Vogel A (2007). Möglichkeiten einer europäischen Biogaseinspeisungsstrategie, Studie im Auftrag der Fraktion Die Grünen/B90 im Deutschen Bundestag, des Fachverband Biogas e.V. und der Stadtwerke Aachen (STAWAG), Institut für Energetik und Umwelt gGmbH (IE), Leipzig, Germany.
- Tolay, M., Yamankaradeniz, H., Yardımcı, S. ve Reiter, R. (2008). Hayvansal Atıklardan Biyogaz Üretimi. VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES'2008, İstanbul.
- Torquati, B., Venanzi, S., Ciani, A., Diotallevi, F. ve Tamburi. (2014). Environmental Sustainability and Economic Benefits of Dairy Farm Biogas Energy Production: A Case Study in Umbria. *Sustainability*, 6: 6696-6713.

- Tufaner, F. ve Avşar, Y. (2019). Economic Analysis of Biogas Production from Small Scale Anaerobic Digestion Systems for Cattle Manure. *Environmental Research & Technology*, 2 (1): 6-12.
- Wei, C., Xie, T., Zhang, H., He, J., Zhang, L. ve Song, M. (2018). The greenhouse gas emission factor of dairy cows in Hubei Province, China. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 394: 1-7.



## ÖZGEÇMİŞ

Simge GÖNCÜ, 22.11.1993 tarihinde Tekirdağ'da doğdu. Lise eğitimini Tekirdağ Tuğlacılar Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2017 yılında Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Biyosistem Mühendisliği bölümünden mezun olduktan sonra Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı.

