

**TÜRKİYE’NİN HAYVANSAL GÜBRE KAYNAKLI SERA  
GAZI EMİSYONLARI DURUMU VE BİYOGAZ ENERJİSİ  
POTANSİYELİ**

**THE STATUS OF GHGS EMISSIONS AND THE  
POTENTIAL OF BIOGAS ENERGY FROM LIVESTOCK  
MANURE IN TURKEY**

**ALİ ERDİNÇ ERSOY**

**PROF. DR. AYŞENUR UĞURLU**

**Tez Danışmanı**

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü

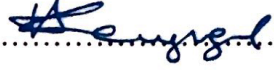
YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

2017

**ALİ ERDİNÇ ERSOY**'un hazırladığı “**Türkiye'nin Hayvansal Gübre Kaynaklı Sera Gazı Emisyonları Durumu ve Biyogaz Enerjisi Potansiyeli**” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Hasan KOÇYIĞIT

Başkan

  
.....

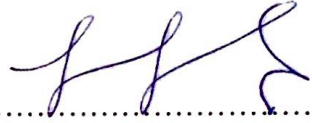
Prof. Dr. Ayşenur UĞURLU

Danışman

  
.....

Yrd. Doç. Dr. Hatice ŞENGÜL

Üye

  
.....

Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Menemşe GÜMÜŞDERELİOĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversitede veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

25.01/2017

İmza

ALİ ERDİNC ERSOY



## ÖZET

# TÜRKİYE’NİN HAYVANSAL GÜBRE KAYNAKLI SERA GAZI EMİSYONLARI DURUMU VE BİYOGAZ ENERJİSİ POTANSİYELİ

**Ali Erdiñ ERSOY**

**Yüksek Lisans, Çevre Mühendisliği Bölümü**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ayşenur UĞURLU**

**Ocak 2017, 86 sayfa**

Sera gazları şu an yaşanmakta olan küresel boyuttaki iklim değişikliğinin en başlıca sebeplerinden biri olarak gösterilmektedir. Hayvancılık faaliyetleri de önemli bir sera gazı emisyon kaynağıdır. Metan ve nitroz oksit gibi iki önemli sera gazı hayvancılık faaliyetleri sonucu atmosfere salınır. Türkiye hayvan sayısı bakımından dünyada önemli bir ülkedir. FAO verilerine göre 2014 yılında Türkiye, sığır hayvanı sıralamasında dünyada 23. sırada yer almıştır. Fakat ülkemizde doğru bir hayvancılık modelinin henüz yeterli düzeyde uygulanamıyor olması sera gazı emisyon miktarının artarak devam ettiğini göstermektedir. Türkiye’de 2015 yılında, IPCC 2006 kılavuzu referans alınarak yapılan sera gazı emisyon hesaplamalarında 15.30 bin ton/yıl N<sub>2</sub>O, 1.38 milyon ton/yıl CH<sub>4</sub> emisyonu hayvansal faaliyetler sonucu üretilmiştir. Konya ili hayvan sayısı ve iklim şartlarının emisyon salınımına uygun olması sebebiyle her iki emisyon türünde ilk sırada yer almaktadır. Uygun gübre depolama yerleri ve kısa süreli depolamalar gibi doğru bir hayvancılık modeli ile N<sub>2</sub>O emisyonları azaltılabilir, CH<sub>4</sub> emisyonu ise doğru yatırımlarla biyokütle yani biyogaz



enerjisine dönüştürülebilir. Biyokütle enerjisi, yenilenebilir enerji türlerinden biridir. Biyogaz ise, biyokütlenin gaz haline getirilmiş temelde 55-70% CH<sub>4</sub>, 25-45% CO<sub>2</sub> ve eser miktarda H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub> ve O<sub>2</sub> gibi gazları ve su buharı içeren ve önemli derecede elektrik ve ısı üretim potansiyeline sahip bir gazdır. Biyogaz, her tür organik madde ihtiva eden atıklardan elde edilebilir. Özellikle, dünyada biyogaz eldesi; evsel katı atık depolama alanlarından, atık su arıtma tesislerinden, tarım ve hayvansal atıklardan, gıda endüstrisi atıklarından elde edilmektedir. Türkiye, bahsedilen her tür atığın üretildiği önemli bir potansiyele sahip bir ülkedir. Hayvancılığın ise Türkiye'nin en önemli geçim kaynaklarından biri olduğu düşünülürse, hayvancılık atıklarının büyük bir elektrik enerjisi potansiyeline sahip olduğu ortadadır. Türkiye'deki gübre toplanabilirliği olan büyükbaş, küçükbaş, kümes ve tek tırnaklı hayvanların sayıları ışığında oluşan gübre miktarlarına göre hesaplanan biyogaz potansiyelleri iki farklı senaryo üzerinden hesaplanmıştır. Birinci senaryoda gübre toplama oranı 100% kabul edilmiş ve Türkiye'nin teorik biyogaz potansiyeli hesaplanmıştır. İkinci senaryoda ise gübre toplama oranı her hayvan türüne göre farklı değerler alınarak uygulanabilir biyogaz potansiyeli hesaplanmıştır. Türkiye'deki teorik biyogaz potansiyeli 8.41 milyar m<sup>3</sup>/yıl, uygulanabilir biyogaz potansiyeli ise 4.18 milyar m<sup>3</sup>/yıl olarak hesaplanmıştır. Bu miktarların sırasıyla Türkiye'nin 2015 yılı kişi başı toplam elektrik ihtiyacının 4%'lük ve 2%'lik, elektrik dağıtım şirketleri aracılığıyla tüketilen toplam elektrik enerjisi miktarının ise yaklaşık 4.6% ve 2.3%'lük kısımlarını karşılayabilecek potansiyelleri olduğunu göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Sera Gazı Emisyonu, Metan, Nitröz oksit, IPCC 2006, Biyogaz, Biyometan, Anaerobik Çürüme, Gübre Yönetimi, Enterik Fermantasyon, Enerji

**Danışman:** Prof. Dr. Ayşenur Uğurlu, Hacettepe Üniversitesi Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

## **ABSTRACT**

# **THE STATUS OF GHGS EMISSIONS AND THE POTENTIAL OF BIOGAS ENERGY FROM LIVESTOCK MANURE IN TURKEY**

**Ali Erdinç ERSOY**

**Master, Department of Environmental Engineering**

**Supervisor: Prof. Dr. Ayşenur UĞURLU**

**January 2017, 86 pages**

GHGs are one of the main reasons for the climate change our universe that is currently facing. Animal husbandry is an important source of GHGs emission. Essential GHGs emissions such as Methane and Nitrous oxide are released to the atmosphere due to livestock activities. Turkey holds great potential regarding animal population in the world. According to FAO data, Turkey was ranked 23rd with regard to the population at cattles worldwide in 2014. However, since proper livestock modeling has not yet been implemented in Turkey, it appears that GHGs emissions continue to increase. Calculations based on the IPCC 2006 Guidelines demonstrate that 15.30 thousand tonnes of Nitrous oxide and 1.38 million tonnes of Methane were released in the year of 2015 due to livestock activities in Turkey. Having a high number of animal population and proper climate conditions, the Turkish city of Konya constitutes the leader in GHGs emissions derived from livestock activities. Nitrous oxide emissions can be decreased through proper animal modeling methods such as suitable manure storage places and short storage periods. Methane, on the other hand, can be converted into biogas energy with right investments. Biomass energy represents another renewable energy sources. Biogas is the gas state of biomass, which is 55-70% of methane,

25-45% of carbon dioxide and trace of hydrogen, hydrogen sulphide, ammonia, nitrogen and oxygen and water vapour and which carries a great potential for electricity and heat generation. Biogas can be obtained through various kinds of sources that contain organic matter. Primary sources include municipal landfill areas, wastewater treatment plants, agricultural residues, animal manure, food industries, etc. Turkey holds a vast potential regarding each type of waste that can be used in obtaining biogas. As livestock is the most important livelihood in Turkey, it is no surprise that animal manure has a significant biogas potential. This study has calculated the biogas potential of Turkey by using two different scenarios, based on manure amounts obtained from farm animal offering easy collectability such as bovines, ovines, poultries and equidae. The first scenario based on 100% manure collectability. According to the first scenario based on 100% manure collectability results, Turkey has about 8.41 billion m<sup>3</sup> per year of theoretical biogas potential. The second scenario, based on the different rates of manure collectible of each animal type, shows that Turkey has about 4.18 billion m<sup>3</sup> per year of feasible biogas potential. These values correspond to, 4% and 2% respectively of Turkey's total annual per capita electricity needs and 4.6% and 2.3% respectively of Turkey's total electricity consumption through electricity distribution companies in 2015.

**Keywords:** Greenhouse Gas Emission, Methane, Nitrous oxide, IPCC 2006, Biogas, Biometan Anaerobic Digestion, Manure Management, Enteric Fermentation, Energy

**Advisor:** Prof. Dr. Ayşenur Uğurlu, Hacettepe University Department of Environmental Engineering

## TEŞEKKÜRLER

Bu tez alıőmasının baőından sonuna kadar her konuda bilgi ve birikimini benimle paylaşan, bana yol gösteren değerli danışman hocam Sn. Prof. Dr. Ayşenur Uğurlu'ya,

Yüksek Lisans eğitimim boyunca, bilgi ve deneyimlerini yansıtan, her konuda yardımcı olan Hacettepe niversitesi evre Mühendisliği Bölümünün tüm ğretim yeleri ve personeline, Hayatımın her safhasında, her türlü zorlukta tereddütsüz yanımda olan ve bana tüm desteklerini sunan canım anneme ve canım kardeőime,

Zamansız kaybettiğim ve derin özlemle andığım canım babama,

Sonsuz sayęı ve sevgilerimle teőekkürlerimi sunarım.



# İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	iii
TEŞEKKÜRLER .....	v
İÇİNDEKİLER .....	vi
ÇİZELGELER .....	viii
ŞEKİLLER .....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	xiii
1. GİRİŞ .....	1
1.1. Çalışmanın Amacı.....	3
1.2. Çalışma Yöntemi ve Planı.....	3
2. GENEL BİLGİLER .....	5
2.1. Hayvancılık Kaynaklı Sera Gazı Emisyonları.....	5
2.1.1. Nitröz Oksit (N <sub>2</sub> O) Gazı Emisyonu .....	10
2.1.1.1. Nitrifikasyon ve Denitrifikasyon Süreçleri.....	11
2.1.2. Metan (CH <sub>4</sub> ) Gazı Emisyonu .....	12
2.1.3. Karbon Dioksit (CO <sub>2</sub> ) Gazı Emisyonu .....	13
2.1.4. Hayvansal Kaynaklı Sera Gazı Emisyonlarının Azaltılması.....	14
2.1.5. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC).....	17
2.2. Biyogaz Enerjisi .....	21
2.2.1. Biyogaz Üretiminin Aşamaları.....	22
2.2.2. Biyogaz Bileşimini ve Anaerobik Çürüme İşlemine Etkileyen Önemli Faktörler	24
2.2.3. Biyogazın Kullanım Alanları ve Uygulamaları.....	26
2.2.3.1. Biyometan Elde Edilmesi ve Kullanımı .....	27
2.2.4. Hayvan Gübresinden Biyogaz Elde Edilmesi .....	28
2.2.5. Dünyada ve Türkiye’de Biyogaz Enerjisi .....	30
3. MATERYAL VE YÖNTEM .....	34
3.1. Hayvansal Kaynaklı Sera Gazı Emisyonları Hesaplama Yöntemi.....	34
3.1.1. Nitröz Oksit (N <sub>2</sub> O) Gazı Emisyonları Hesaplama Yöntemi .....	34
3.1.1.1. Doğrudan Nitröz oksit (N <sub>2</sub> O) Gazı Emisyonu Hesaplama Yöntemi .....	34
3.1.1.2. Dolaylı Nitröz Oksit (N <sub>2</sub> O) Gazı Emisyonu Hesaplama Yöntemi .....	36
3.1.2. Metan (CH <sub>4</sub> ) Gazı Emisyonu Hesaplama Yöntemi .....	38

3.1.2.1.	Enterik Metan Emisyonu Hesaplama Yöntemi.....	38
3.1.2.2.	Gübredeki Metan Emisyonu Hesaplama Yöntemi.....	40
3.2.	Biyogaz Enerjisi Potansiyeli Hesaplama Yöntemi .....	42
3.3.	Türkiye’deki Çiftlik Hayvanlarının ve Gübrelerinin Özellikleri.....	43
4.	TÜRKİYE’NİN HAYVANSAL KAYNAKLI SERA GAZI EMİSYONLARININ VE BİYOGAZ POTANSİYELİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ .....	45
4.1.	Türkiye’deki Hayvansal Kaynaklı Sera Gazı Emisyonları Sonuçları .....	48
4.1.1.	Hesaplanan Nitroz Oksit (N <sub>2</sub> O) Gazı Emisyonları Sonuçları .....	48
4.1.2.	Hesaplanan Metan (CH <sub>4</sub> ) Gazı Emisyonları Sonuçları.....	51
4.1.3.	Hesaplanan Toplam Sera Gazı Emisyonları Sonuçları.....	55
4.2.	Türkiye’de Hayvan Gübresinin Biyogaz Üretme Potansiyelinin Hesaplanması .	57
4.2.1.	Birinci Senaryo Sonuçlarına Göre Biyogaz Enerjisi Potansiyeli .....	57
4.2.2.	İkinci Senaryo Sonuçlarına Göre Biyogaz Enerjisi Potansiyeli .....	65
4.2.3.	Biyogaz Enerjisi Potansiyelinin Maliyet Yönünden Ülke Ekonomisine Katkısı .	73
4.2.4.	Biyogaz Enerjisi Potansiyeli Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....	74
4.3.	Tartışmalar.....	77
5.	GENEL SONUÇLAR.....	84
	KAYNAKLAR.....	87
	EKLER.....	96
	EK-1 – Türkiye’nin 2015 yılı Hayvan Sayıları[82].....	96
	EK-2 – Türkiye’deki Mevcut Biyogaz ve Çöp Gazı Üretim Tesisleri ve Kapasiteleri [80], [81].....	99
	EK-3- Türkiye’deki Süt Sığırlarının 2015 yılı Süt Üretim Miktarları[82] .....	104
	EK-4- Türkiye’nin 2015 yılı Hayvan Türüne Göre Hesaplanan Teorik Biyogaz Potansiyeli Ayrıntılı Gösterimi (Senaryo-1) .....	107
	EK-5- Türkiye’nin 2015 yılı Hayvan Türüne Göre Hesaplanan Uygulanabilir Biyogaz Potansiyeli Ayrıntılı Gösterimi (Senaryo-2) .....	108
	ÖZGEÇMİŞ.....	109

# ÇİZELGELER

## Sayfa

Çizelge 2.1. CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O Sera Gazlarının Atmosferik Etkileri [9], [10], [11].....	5
Çizelge 2.2. Sera Gazı Emisyonu Azaltımına Yönelik Farklı Gübre Yönetim Stratejilerinin Avantajları ve Dezavantajları [14].....	17
Çizelge 2.3. Biyogazın Bileşimi [45].....	21
Çizelge 2.4. Biyogazın Diğer Genel Özellikleri [45],[47] .....	22
Çizelge 2.5. 2013 yılı Biyogaz Üretiminde Dünyanın ilk 10 Ülkesi [73].....	31
Çizelge 3.1. Doğrudan N <sub>2</sub> O Hesaplaması için Kullanılan Parametreler [17], [83].....	36
Çizelge 3.2. Dolaylı N <sub>2</sub> O Hesaplamasında Kullanılan Parametreler [17] .....	38
Çizelge 3.3. IPCC 2006 - Tier 1 Yöntemi için Enterik Fermantasyon Emisyon Faktörleri [17].....	39
Çizelge 3.4. Türkiye'nin İl Bazlı 65 yıllık (1950-2015) Ortalama Sıcaklık Değerleri [84]	41
Çizelge 3.5. IPCC 2006 - Tier 1 Yöntemi için Sıcaklık Değerleri ile Değişen Gübre Yönetimi Metan Emisyonu Faktörü [17].....	41
Çizelge 3.6. Biyogazın Özellikleri.....	42
Çizelge 3.7. Biyogaz Enerjisi Hesaplamalarında Kullanılan Hayvan Gübresinin Özellikleri [17],[86],[87],[85].....	43
Çizelge 4.1. Türkiye'nin 2015 yılı İl Bazlı Hayvan Sayısı Sıralaması[82] .....	47
Çizelge 4.2. Türkiye'nin 2015 yılı İl Bazlı Hesaplanan Hayvansal Gübre Kaynaklı Toplam N <sub>2</sub> O Emisyonu Miktarları .....	48
Çizelge 4.3. Türkiye'nin 2015 yılı İl Bazlı Hesaplanan Hayvansal Kaynaklı CH <sub>4</sub> Emisyonu Miktarları.....	51
Çizelge 4.4. Türkiye'nin 2015 yılı Hesaplanan Toplam Sera Gazı Emisyonları Sonuçları	55
Çizelge 4.5. Türkiye'nin 2015 yılı Hayvan Gübresi Kaynaklı Hesaplanan Biyogaz Enerjisi Teorik Potansiyeli Miktarları (Senaryo-1) .....	57
Çizelge 4.6. Birinci Senaryo Sonucu Belirlenen Elektrik Enerjisi Potansiyelinin Türkiye'nin 2015 yılı Toplam Elektrik Tüketimini (Dağıtım Şirketleri Aracılığıyla) Karşılama Kapasitesi [92].....	61
Çizelge 4.7. Türkiye'nin Hayvan Türlerine Göre Hesaplanan 2015 yılı Biyogaz Enerjisi Teorik Potansiyeli Miktarları (Senaryo-1) .....	64
Çizelge 4.8. Türkiye'nin 2015 yılı Hayvan Gübresi Kaynaklı Hesaplanan Biyogaz Enerjisi Uygulanabilir Potansiyeli Miktarları (Senaryo-2).....	65

Çizelge 4.9. İkinci Senaryo Sonucu Belirlenen Elektrik Enerjisi Potansiyelinin Türkiye'nin 2015 yılı Toplam Elektrik Tüketimini (Dağıtım Şirketleri Aracılığıyla) Karşılama Kapasitesi [92].....	70
Çizelge 4.10. Türkiye'nin Hayvan Türlerine Göre Hesaplanan 2015 yılı Biyogaz Enerjisi Uygulanabilir Potansiyeli Miktarları (Senaryo-2).....	72
Çizelge 4.11. Birinci ve İkinci Senaryoda Belirlenen Elektrik Enerjisi Potansiyellerinin Maliyet Yönünden Ülke Ekonomisine Katkıları.....	73
Çizelge 4.12. Bu çalışmada ve Diğer Akademik Çalışmalarda Kullanılan Biyogaz Potansiyeli Hesaplama Parametreleri [7],[96],[97],[98],[99].....	82





## ŞEKİLLER

### Sayfa

Şekil 2.1. 2014 Yılı Dünyadaki Tarımsal Kaynaklı CH <sub>4</sub> Emisyonları (CO <sub>2</sub> Eşdeğer) Miktarı ve Dağılımı – FAO [4] .....	5
Şekil 2.2. 2014 Yılı Dünyadaki Tarımsal Kaynaklı N <sub>2</sub> O Emisyonları (CO <sub>2</sub> Eşdeğer) Miktarı ve Dağılımı – FAO [4] .....	6
Şekil 2.3. Hayvancılık Faaliyetleri Sırasında Açığa Çıkan CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O ve CH <sub>4</sub> Gazı Emisyonlarının Oluşum Aşamalarının Gösterimi [13] .....	7
Şekil 2.4. Hayvancılık Faaliyetleri Sırasında Doğrudan ve Dolaylı Oluşan Sera Gazı Emisyon Kaynakları[11] .....	8
Şekil 2.5. Hayvansal Kaynaklı Sera Gazı Emisyonları.....	8
Şekil 2.6. Tüm Dünyadaki Hayvansal Kaynaklı Sera Gazı Emisyonlarının 2004-2014 Yılları Arası Değişim Grafiği [4] .....	9
Şekil 2.7. Hayvancılıktaki Azot Döngüsü Kaynaklı N <sub>2</sub> O Emisyonlarının Şematik Görünümü [20].....	11
Şekil 2.8. Nitrifikasyon ve Denitrifikasyon Süreçlerinin Şematik Gösterimi [14] .....	12
Şekil 2.9. Enterik Fermantasyonun Basitleştirilmiş Gösterimi [14] .....	13
Şekil 2.10. Hayvancılık Faaliyetleri Sırasında Oluşan N <sub>2</sub> O Emisyonlarını Azaltma Seçeneklerinin Şematik Gösterimi [20] .....	15
Şekil 2.11. Biyogaz Üretim Sisteminde Hammadde ve Enerji Akışları Diyagramı [43] ...	21
Şekil 2.12. Biyogaz Üretim Aşamaları [51] .....	23
Şekil 2.13. Metanojenlerin Büyüme Hızlarının Sıcaklık Ortamlarıyla olan Değişimi [54] 24	
Şekil 2.14. Genel Biyogaz Üretim Prosesinin Şematik Gösterimi [59].....	27
Şekil 2.15. Biyometan Sistemi Safhaları (Üretimden-Son Kullanıma) [61].....	28
Şekil 2.16. Dünyanın 2013 Enerji Tüketim Kaynakları Dağılımı [73].....	30
Şekil 2.17. Türkiye'nin 2015 yılı Enerji Kapasitesinin Kaynaklara Göre Dağılımı [78]....	32
Şekil 2.18. Türkiye'deki Hammadde Olarak Hayvan Gübresi Kullanan Biyogaz Tesisleri [80], [81].....	33
Şekil 3.1. Türkiye'deki Kanatlı Hayvan İşletme ve Kumes Sayılarının Yıllara Göre Değişimi [88].....	44
Şekil 4.1. Türkiye'nin 2015 yılı İl Bazlı Hesaplanan Büyükbaş Hayvan Sayısı Dağılımı[82] .....	45

Şekil 4.2. Türkiye'nin 2015 yılı İl Bazlı Hesaplanan Küçükbaş Hayvan Sayısı Dağılımı[82]	45
Şekil 4.3. Türkiye'nin 2015 yılı İl Bazlı Hesaplanan Kümes Hayvanları Sayısı Dağılımı[82]	46
Şekil 4.4. Türkiye'nin 2015 yılı İl Bazlı Hesaplanan Tek Tırnaklı Hayvan Sayısı Dağılımı[82]	46
Şekil 4.5. Türkiye'nin 2015 yılı İl Bazlı Hesaplanan Hayvansal Gübre Kaynaklı Toplam N <sub>2</sub> O Emisyon Miktarı Dağılımı.....	51
Şekil 4.6. Türkiye'nin 2015 yılı İl Bazlı Hesaplanan Hayvansal Kaynaklı Toplam CH <sub>4</sub> Emisyon Miktarı Dağılımı.....	54
Şekil 4.7. Türkiye'nin 2015 yılı İl Bazlı Hesaplanan Hayvansal Gübre Kaynaklı CH <sub>4</sub> Emisyon Miktarı Dağılımı.....	54
Şekil 4.8. Türkiye'nin 2015 yılı Hesaplanan Hayvansal Kaynaklı Sera Gazı Emisyonlarının Dağılımı (CO <sub>2</sub> e).....	55
Şekil 4.9. Türkiye'nin Sera Gazı Emisyonlarını Azaltma Hedefleri [90].....	56
Şekil 4.10. Türkiye'nin 2015 yılı İl Bazlı Hesaplanan Hayvansal Gübre Kaynaklı Teorik Biyometan Potansiyeli Dağılımı (Senaryo-1) .....	60
Şekil 4.11. Türkiye'nin 2015 yılı İl Bazlı Hesaplanan Biyogaz Enerjisi Kaynaklı Kişi Başına Düşen Elektrik Potansiyeli Dağılımı (Senaryo-1) .....	61
Şekil 4.12. Birinci Senaryo Sonucuna Göre Hesaplanan Elektrik Enerjisi Potansiyelinin Türkiye'nin 2015 Yılı Dağıtım Şirketleri Aracılığıyla Tükettiği Enerjiyi Karşılama Kapasitelerinin Gösterimi .....	63
Şekil 4.13. Türkiye'nin 2015 yılı İl Bazlı Hesaplanan Hayvansal Gübre Kaynaklı Uygulanabilir Biyometan Potansiyeli Dağılımı (Senaryo-2) .....	68
Şekil 4.14. Türkiye'nin 2015 yılı İl Bazlı Hesaplanan Biyogaz Enerjisi Kaynaklı Kişi Başına Düşen Elektrik Potansiyeli Dağılımı (Senaryo-2) .....	69
Şekil 4.15. İkinci Senaryo Sonucuna Göre Hesaplanan Elektrik Enerjisi Potansiyelinin Türkiye'nin 2015 Yılı Dağıtım Şirketleri Aracılığıyla Tükettiği Enerjiyi Karşılama Kapasitelerinin Gösterimi .....	71
Şekil 4.16. Türkiye'nin 2015 yılı Hesaplanan Sera Gazı Emisyonları ile Kulcu vd.'nin [95] 2007 yılı Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	77
Şekil 4.17. Türkiye'nin 2015 yılı Hesaplanan N <sub>2</sub> O Emisyonları ile FAO'nun 2014 Yılı N <sub>2</sub> O Emisyonları Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	78

Şekil 4.18. Türkiye'nin 2015 yılı Hesaplanan CH <sub>4</sub> Emisyonları ile FAO'nun 2014 Yılı CH <sub>4</sub> Emisyonları Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	79
Şekil 4.19. Hesaplama Sonuçları ile Türkiye için Farklı Yıllarda Yapılan Hayvan Gübresi Kaynaklı Biyogaz Enerjisi Potansiyeli Sonuçlarının Karşılaştırılması .....	80



## SİMGELER VE KISALTMALAR

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ASAE	Amerikan Ziraat Mühendisleri Topluluğu (American Society of Agricultural Engineers)
AAT	Atıksu Arıtma Tesisi
ATP	Adenozin trifosfat
CH <sub>4</sub>	Metan
CO	Karbon monoksit
CO <sub>2</sub>	Karbon dioksit
EPA	Çevre Koruma Ajansı (Environmental Protection Agency)
FAO	Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (Food And Agriculture Organization of the United Nations)
GW	Gigavat
H <sub>2</sub>	Hidrojen
H <sub>2</sub> O	Su
HFCs	Hidroflorür karbonlar
H <sub>2</sub> S	Hidrojen Sülfür
IPCC	Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (Intergovermental Panel on Climate Change)
KG	Kilogram
KW	Kilovat
KWSA	Kilovatsaat
LBM	Sıvılaştırılmış Biyometan (Liquefied Biomethane)
LNG	Sıvılaştırılmış Doğal Gaz (Liquefied Natural Gas)
M <sup>3</sup>	Metreküp
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MJ	Megajoule
MW	Megavat
MWSA	Megavatsaat
N	Azot
N <sub>2</sub>	Azot gazı
NO	Azot oksit
N <sub>2</sub> O	Nitröz oksit

NO <sub>2</sub>	Nitrit
NO <sub>3</sub>	Nitrat
NH <sub>3</sub>	Amonyak
NH <sub>4</sub>	Amonyum
O <sub>2</sub>	Oksijen
PFCs	Perfloro karbonlar
SF <sub>6</sub>	Sülfürhekza florid
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TKM	Toplam Katı Madde
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
UNFCCC	Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi



# 1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun gün geçtikçe artması ile enerjiye olan ihtiyaç artmaktadır. Fosil yakıtların hızla tükendiği ve küresel ısınmanın yadsınamaz bir tehlike olduğu şu dönemde, temiz enerji ihtiyacının önemli olduğu bir gerçektir. Özellikle sera gazı emisyonlarının neden olduğu küresel ısınmanın akıllı çözümlerle azaltılması ve bu emisyonların enerjiye dönüştürülmesi toplumun refahı açısından önemlidir. Kyoto protokolü ile azaltılması gereken 6 sera gazı çeşidi tanımlanmıştır. Bunlar; CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, PFCs, HFCs ve SF<sub>6</sub>'dır [1]. Bu sera gazlarından tarım ve hayvancılık faaliyetleri sonucu oluşanlar ise CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> ve N<sub>2</sub>O'dur. Özellikle nitroz oksit gazı (N<sub>2</sub>O) emisyonlarının ana antropojenik kaynağının tarım ve hayvancılık faaliyetleri olmasının yanında diğer önemli kaynakları ise; atık su arıtımı, fosil yakıtların yanması, endüstriyel işlemler, biyokütle yanması ve atmosferik birikimdir. Metan gazı (CH<sub>4</sub>) emisyonlarının ise en önemli kaynağı fosil yakıtların üretimi, dağıtımı ve kullanımınıdır. Hayvancılık ise metan emisyonlarının ikinci en önemli kaynağıdır. Metan emisyonları için diğer önemli kaynaklar ise; biyokütle yanması, katı atık depolama alanları ve atıklar, pirinç tarımı ve biyoyakıtlardır [2]. CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> ve N<sub>2</sub>O gibi sera gazlarının atmosferik konsantrasyonları yaklaşık olarak her yıl sırasıyla 0.4%, 0.6% ve 0.25% oranında artmaktadır [3]. Bu artışlar, küresel iklimdeki değişikliklere olumsuz katkı yaptığı için, uluslararası iklim kurumlarının önderliğinde bu emisyonların azaltılmasına yönelik önemli adımlar atılmaktadır.

Hayvancılık faaliyetleri özellikle N<sub>2</sub>O ve CH<sub>4</sub> gibi sera gazı emisyonlarının önemli kaynaklarından biridir [3]. Bu gazlar iki farklı süreç ile açığa çıkarlar. Bunlar, Enterik fermantasyon ve gübre yönetimi süreçleridir. Metan, ot obur hayvanlara özgü olan ve bir sindirim prosesi olan enterik fermantasyonun bir ürünü olarak üretilir. Enterik fermantasyon, karbonhidratların mikroorganizmalar tarafından kan dolaşımı içinde emilmesi için daha basit moleküllere parçalanmasıdır. Hem geniş getiren hayvanlarda (sığır, koyun, keçi) ve hem de bazı geniş getirmeyen hayvanlarda (at, eşek, katır) bu proses ile metan gazı üretilir. Bu şekilde açığa çıkan metanın miktarı; hayvan tipine, yaşına ve ağırlığına, beslenme kalitesine ve miktarına ve hayvanın harcadığı enerjiye göre değişir [3].

Hayvan gübresi büyük oranda organik madde ihtiva eder. Bu organik maddeler anaerobik (oksijensiz) bakteriler tarafından parçalandığı sırada metan gazının açığa çıkmasına neden olurlar (Şekil 2.8). Nitroz oksit ise gübredeki azotun nitrifikasyon ve denitrifikasyon süreçlerinden geçmesi sonucunda açığa çıkar [3]. Nitroz oksit emisyonu gübrenin

depolanması sırasında ve tarım faaliyetleri için gübrenin taşınması sırasında oluşmaktadır [3].

Türkiye hayvancılık faaliyetleri ve hayvan sayısı bakımından zengin bir ülkedir. IPCC'ye göre gelişmekte olan ülkeler arasında gösterilmesine rağmen yıllık süt üretimi 3 bin ton üzerinde olması sebebiyle hayvancılık bakımından gelişmiş ülkeler arasında gösterilebilir. Ayrıca 2014 FAO [4] verilerine bakıldığında Türkiye sığır sayısı bakımından dünyada 214 ülke arasında 23. sırada bulunmaktadır. Fakat Türkiye'de hayvancılık sektörünün genelde, küçük çaplı çiftliklerden oluşması ve hayvanların çoğunlukla çayırarda ve meralarda otlatılması ve özellikle ülkemizin doğu bölgelerindeki uzun otlatma sürelerinden dolayı atıkların toplanılmasındaki güçlükler nedeniyle [5] gübre yönetimi (metan emisyonu) bakımından Türkiye'nin gelişmekte olan ülkeler kategorisinde değerlendirilmesi daha doğru bir yaklaşımdır.

Biyogaz olarak adlandırılan, temelinde organik madde kaynaklı gazlar, birçok farklı kaynak aracılığıyla elde edilebilir. Bunlardan birisi de hayvan gübreleridir. Daha öncede belirtildiği üzere hayvan gübresi temelde organik maddeden oluşur. Bu sebeple biyogaz enerjisi elde etme potansiyeli yüksektir. Gübre içerisindeki metan, organik maddenin anaerobik çürümesi sırasında açığa çıkar. Hayvan gübresinin miktarı ne kadar fazla ise içerisindeki organik madde miktarı da o kadar fazla ve dolayısıyla metan emisyonu da o kadar fazladır [6]. Hayvan gübresinden metan üretimi için dikkat edilmesi gereken 3 temel prensip ise;

1. Gübrenin miktarı ve türü; Metan üretimi gübrenin miktarıyla doğru orantılıdır ve aynı zamanda hayvanın türü ve beslenme şeklide üretimi doğrudan etkiler.
2. Atık yönetim sistemi; Bu sistem oksijensiz (anaerobik) ortamda metan üretecek bir sistemi destekler.
3. Sıcaklık ve nem; Gübrenin bulunduğu ortamın sıcaklığı ve nemi metan üretimi açısından oldukça önemlidir [6].

Türkiye'nin enerji ihtiyacı artan nüfus ve ekonomik büyüme nedeniyle hızla artmaktadır. Türkiye limitli enerji kaynakları nedeniyle enerji bağımlı bir ülkedir ve bunun sonucu enerji ihtiyacını pahalı bir şekilde ithal etmektedir [7]. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'ndan sağlanan verilere göre Türkiye tükettiği enerjinin sadece 3'te 1'ini üretmektedir [7]. Türkiye'nin başlıca enerji kaynakları kömür, doğalgaz ve su enerjisidir (Şekil 2.17).

Türkiye hem büyükbaş, hem küçükbaş, hem tek tırnaklılar olarak adlandırılan at, eşek, katır ve hem de kümes hayvanları sayısı bakımından oldukça zengin bir ülkedir (EK-1). Buna

bağlı olarak emisyon ve enerji potansiyeli de aynı oranda yüksektir. Özellikle büyükbaş hayvancılığın yoğun olduğu Kuzeydoğu Anadolu ve Orta Anadolu (Şekil 4.1), küçükbaş hayvancılığın yoğun olduğu Güneydoğu Anadolu ve Batı Anadolu (Şekil 4.2), kümes hayvancılığının yoğun olduğu Batı Anadolu (Şekil 4.3) ve tek tırnaklı hayvanların yoğun olduğu Kuzeydoğu Anadolu bölgeleri (Şekil 4.4) biyogaz enerjisi potansiyeli bakımından zengin bölgelerdir. Fakat halen bu büyük potansiyel etkin bir şekilde doğru kullanılamamaktadır.

### **1.1. Çalışmanın Amacı**

Bu çalışma, Türkiye'deki hayvansal kökenli (enterik metan emisyonu, ve gübre yönetimi kaynaklı metan ve nitröz oksit emisyonu) sera gazı emisyonlarının il bazlı olarak Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) 2006 kılavuzunda önerilen Tier 1 yöntemi kullanılarak hesaplanması ve gübre yönetimi kaynaklı oluşan metan emisyonunun azaltılmasına yönelik temiz enerji türlerinden biri olan biyogaz enerjisi potansiyelinin ortaya koyulması hedeflenmektedir.

### **1.2. Çalışma Yöntemi ve Planı**

Bu çalışmada incelenen başlıca konular aşağıdaki gibi özetlenebilir.

Hayvancılık faaliyetleri sonrası açığa çıkan sera gazı emisyonlarının IPCC 2006 kılavuzu baz alınarak hesaplanması amaçlanmıştır. Bu sera gazları çiftlik hayvanlarından direkt olarak enterik fermantasyon ve hayvan gübresi aracılığıyla ortaya çıkan metan ve nitröz oksit gazlarıdır. Bu hesaplamalarda kullanılan temel veri Türkiye'deki çiftlik hayvan sayılarıdır. Hayvan sayıları verileri, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) aracılığıyla elde edilmiştir. Bu çalışmada 2015 yılı verileri kullanılmıştır ve elde edilen sonuçlar 2015 yılına aittir. Bu çalışmada kullanılan hayvan türleri; Büyükbaş hayvanlar (sığır, manda), küçükbaş hayvanlar (koyun, keçi), kümes hayvanları (tavuk, hindi, kaz ve ördek) ve tek tırnaklı hayvanlardır (at, eşek ve katır).

Enterik fermantasyon sonucu oluşan metan gazı emisyonu için TÜİK'ten sağlanan hayvan sayıları yanında IPCC 2006 kılavuzu kullanılarak Türkiye'deki hayvan karakterlerine göre emisyon faktörleri belirlenmiş ve Türkiye'deki hem il bazlı ve hem de toplam enterik metan emisyonu hesaplanmıştır. Gübre yönetimi sonucu açığa çıkan sera gazları metan ve nitröz oksittir. Bu gazların hesaplamaları yapılırken yine TÜİK hayvan sayıları kullanılmış ve bunun yanında IPCC 2006 kılavuzunda her iki sera gazı için belirlenen emisyon faktörleri hayvan karakterine, ortam sıcaklığına ve diğer kriterlere göre belirlenerek yine Türkiye'deki hem il bazlı ve hem de toplam sera gazı emisyonları hesaplanmıştır.



Yenilenebilir enerji türlerinden biri olan biyogaz hesaplaması yapılırken iki farklı senaryo üzerinden hesaplamalar yapılmıştır. Yine TÜİK hayvan sayıları verileri ile çeşitli kaynaklardan alınan çiftlik hayvan gübrelerinin özellikleri, biyogazın ana bileşeni olan metan gazının verimliliği, biyogazın elektrik ve ısı üretim potansiyeli verimlilikleri gibi veriler kullanılarak Türkiye'nin çiftlik hayvanı gübrelerinden elde edilebilecek hem il bazlı ve hem de toplam biyogaz enerjisi potansiyelleri hesaplanmıştır.



## 2. GENEL BİLGİLER

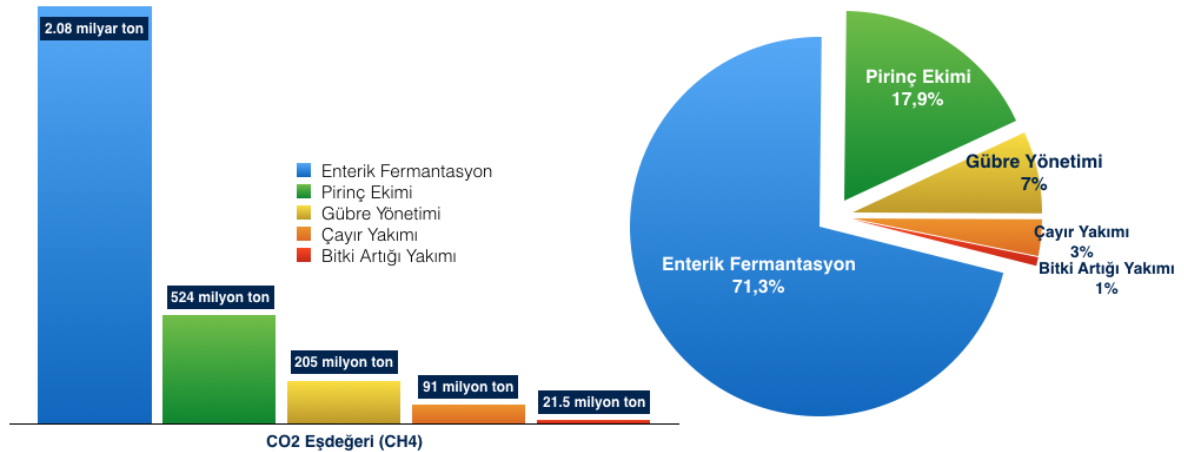
### 2.1. Hayvancılık Kaynaklı Sera Gazı Emisyonları

Tarımsal faaliyetler, küresel boyutta yaklaşık 35%'lik emisyon payı ile önemli bir sera gazı kaynağıdır [8]. Tarımsal üretim karbon ve azot dinamiklerine katkı yaptığı için karbon dioksit (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>) ve nitröz oksit (N<sub>2</sub>O) gibi üç farklı sera gazı tarımsal aktivitelerin başlıca sonuçlarıdır. Bu üç sera gazının atmosferdeki kalma süreleri ve küresel ısınma potansiyelleri Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O Sera Gazlarının Atmosferik Etkileri [9], [10], [11]

Tür	Atmosferde Kalma Süresi (yıl)	Küresel Isınma Potansiyeli
CO <sub>2</sub>	5	1
CH <sub>4</sub>	9-15	21-25
N <sub>2</sub> O	120-130	298-310

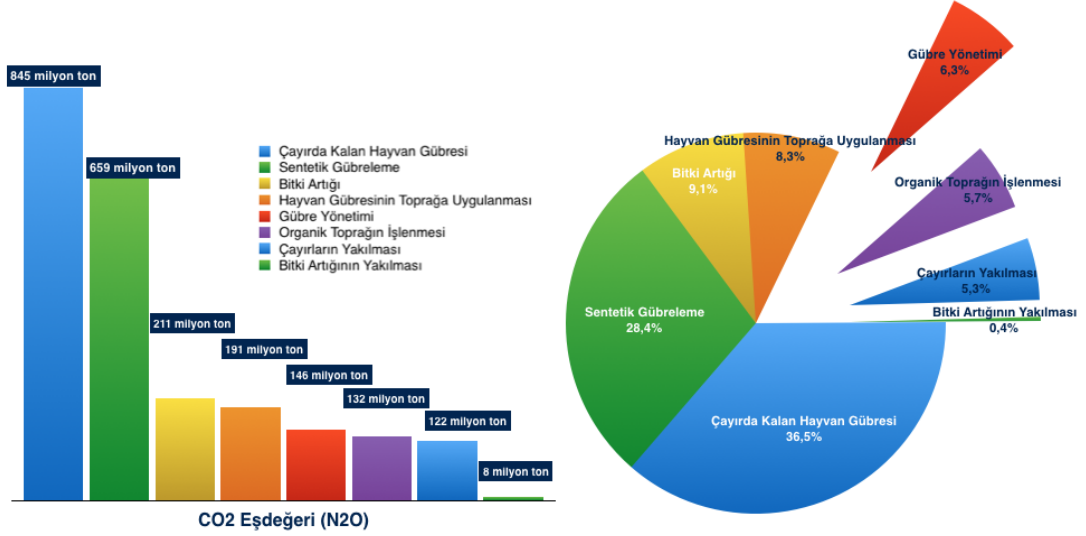
Hayvancılık, sera gazı emisyonları için önemli bir kaynaktır. Emisyonların kapsamına ve hesaplanan yaklaşımlara bağlı olarak, IPCC, FAO, EPA ve diğer kuruluşların tahminleri sonucunda hayvancılık kaynaklı sera gazı emisyonları, tüm antropojenik kaynaklı emisyonların 7% ile 18%'i arasında bir değerdedir [12]. Hayvancılık kaynaklı CH<sub>4</sub> emisyonları toplam tarımsal emisyonların yaklaşık 80%'ini ve toplam antropojenik CH<sub>4</sub> emisyonlarının 35%'ini oluşturmaktadır [11].



Şekil 2.1. 2014 Yılı Dünyadaki Tarımsal Kaynaklı CH<sub>4</sub> Emisyonları (CO<sub>2</sub> Eşdeğer) Miktarı ve Dağılımı – FAO [4]

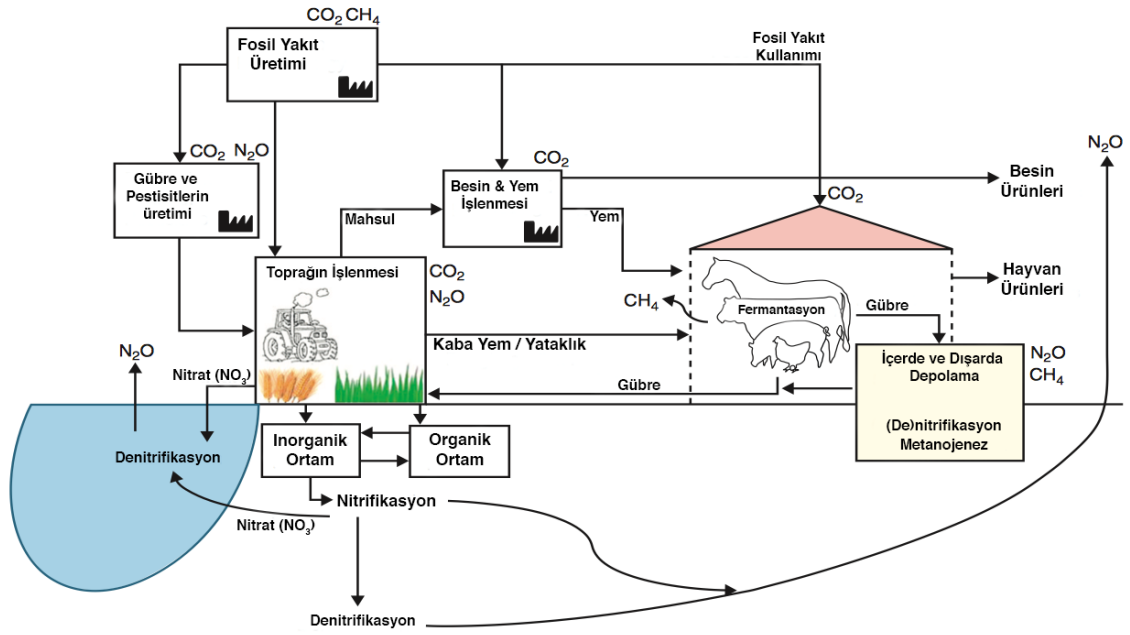
Şekil 2.1'de FAO verilerine göre dünyadaki tarımsal kaynaklı CH<sub>4</sub> emisyonlarının miktarları ve dağılımları verilmiştir. Buna göre CH<sub>4</sub> emisyonlarının ana kaynağı yaklaşık 2.08 milyar

ton CO<sub>2</sub>e/yıl ve 71.3%'lük oranı ile enterik fermantasyondur. Hayvan gübresi kaynaklı metan emisyonlarının yaklaşık oranı ise 7%'dir. Pirinç ekimi de (17.9%) önemli bir metan emisyonu kaynağıdır.



Şekil 2.2. 2014 Yılı Dünyadaki Tarımsal Kaynaklı N<sub>2</sub>O Emisyonları (CO<sub>2</sub> Eşdeğeri) Miktarı ve Dağılımı – FAO [4]

Dünyadaki toplam N<sub>2</sub>O emisyonlarının en önemli kaynağı tarımsal faaliyetlerdir. Hayvancılık faaliyetleri sonucu açığa çıkan N<sub>2</sub>O emisyonları, toplam antropojenik N<sub>2</sub>O emisyonlarının yaklaşık 65%'ini, tarımsal N<sub>2</sub>O emisyonlarının ise 75% ile 80%'ini oluşturmaktadır[11]. FAO verilerine göre, dünyanın 2014 yılı toplam tarımsal N<sub>2</sub>O emisyonları miktarı yaklaşık 2.31 milyar ton CO<sub>2</sub> eşdeğerindedir. En çok nitroz oksit emisyonuna 36.5% ile çayırlarda kalan hayvan gübreleri neden olmaktadır. Gübre yönetimi kaynaklı N<sub>2</sub>O emisyonlarının oranı ise 6.3%'tür (Şekil 2.2).



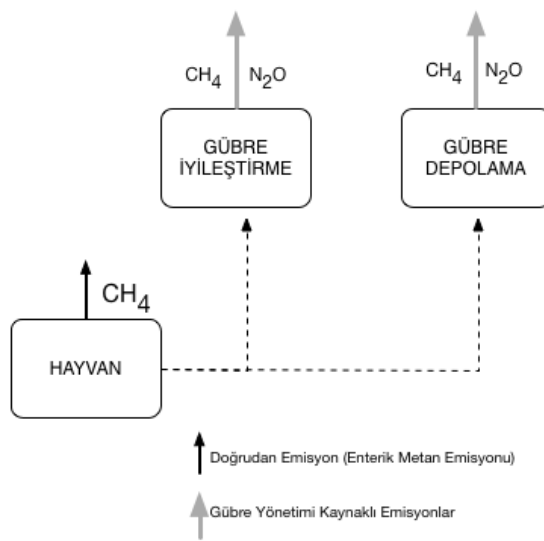
Şekil 2.3. Hayvancılık Faaliyetleri Sırasında Açığa Çıkan CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O ve CH<sub>4</sub> Gazı Emisyonlarının Oluşum Aşamalarının Gösterimi [13]

Canlı hayvan üretim faaliyetleri sırasında önemli miktarda sera gazı emisyonları oluşur. Bu emisyonlar CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> ve N<sub>2</sub>O'dur. CO<sub>2</sub>, fosil yakıtların kullanılması, biyokütlenin yakılması, ve mikrobiyal çürüme sırasında oluşurken, CH<sub>4</sub>, özellikle geviş getiren hayvanlarda görülen enterik fermantasyon ve gübrenin depolanması gibi oksijensiz ortamda organik maddenin çürümesi sırasında oluşur. N<sub>2</sub>O ise topraktaki veya gübredeki azotun mikrobiyal dönüşümü (NH<sub>4</sub>'ün NO<sub>3</sub>'e nitrifikasyonu ve NO<sub>3</sub>'ün N<sub>2</sub>'ye denitrifikasyonu) ve azotlu gübre üretimi sırasında oluşur [13]. Şekil 2.3'te hayvancılık faaliyetleri sırasında oluşan sera gazı emisyonlarının tüm oluşum aşamaları gösterilmektedir.



Şekil 2.4. Hayvancılık Faaliyetleri Sırasında Doğrudan ve Dolaylı Oluşan Sera Gazı Emisyon Kaynakları[11]

Hayvancılık faaliyetleri sonucu birçok farklı yolla sera gazı emisyonları oluşabilir (Şekil 2.4). Bu yollar, doğrudan ve dolaylı oluşan emisyonlar olarak ayrılabilir. Hayvancılık faaliyetleri ile doğrudan oluşan emisyonlar, ot obur hayvanlarda gerçekleşen enterik fermantasyon (bağırsak fermantasyonu) ve gübre yönetimi aracılığıyla oluşur. Enterik fermantasyon sonucu metan gazı ( $CH_4$ ) emisyonu açığa çıkarken, hayvan gübresinin emisyonları ise metan ( $CH_4$ ) ve nitroz oksit ( $N_2O$ ) gazlarıdır (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Hayvansal Kaynaklı Sera Gazı Emisyonları

Şekil 2.1’de de görüldüğü üzere, enterik fermantasyon sonucu açığa çıkan metan gazı emisyonu (yaklaşık 2.08 milyar ton CO<sub>2</sub>e/yıl), gübre yönetimi kaynaklı metan gazı emisyonuna (yaklaşık 204.9 milyon ton CO<sub>2</sub>e/yıl) göre oldukça yüksek bir değerdedir. Yine FAO verilerine göre, dünyada hem enterik metan ve hem de gübre yönetimi kaynaklı metan emisyonları toplamı 2014 yılında yaklaşık 109 milyon ton CH<sub>4</sub>/yıldır. Bunun yaklaşık 91%’i enterik metan kaynaklı iken 9%’u gübre yönetimi kaynaklıdır. Tüm dünyada 2014 yılında hayvan gübresi kaynaklı açığa çıkan nitroz oksit emisyonu ise yaklaşık toplam 473.71 bin ton N<sub>2</sub>O/yıldır. Şekil 2.6’da FAO’nun 2004-2014 yılları arasındaki dünyadaki hayvansal sera gazı emisyonları değişimi verilmiştir. Bu verilere göre, dünyada hem enterik fermantasyon kaynaklı ve hem de gübre yönetimi kaynaklı emisyonlar her yıl daha da artmaktadır.

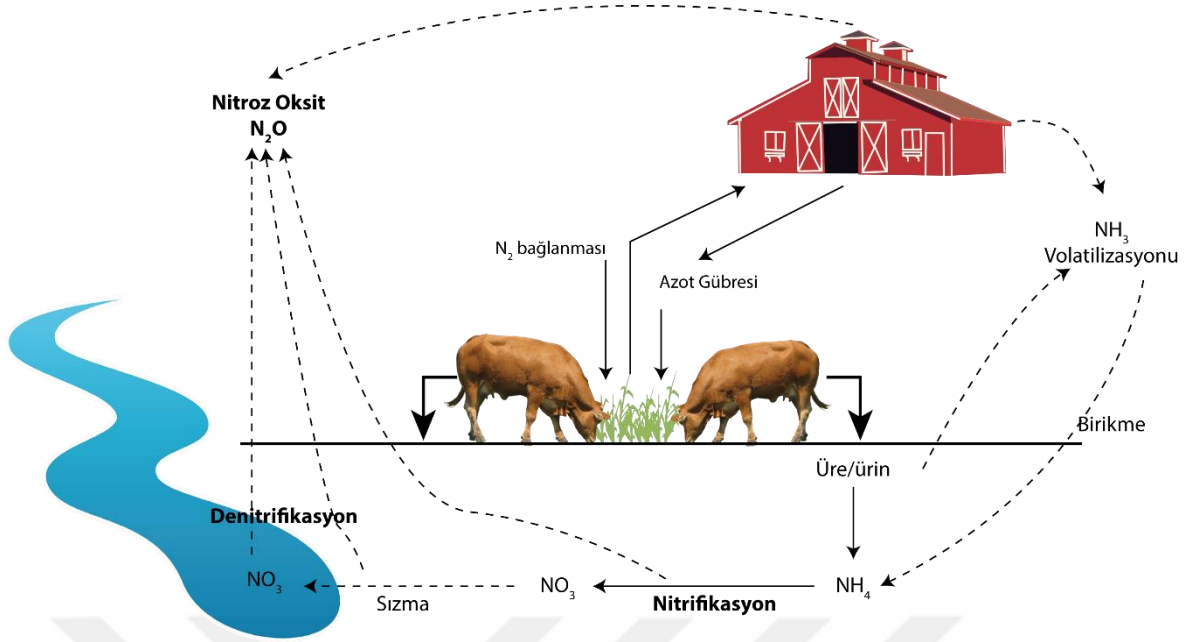


Şekil 2.6. Tüm Dünyadaki Hayvansal Kaynaklı Sera Gazı Emisyonlarının 2004-2014 Yılları Arası Değişim Grafiği [4]

### 2.1.1. Nitröz Oksit (N<sub>2</sub>O) Gazı Emisyonu

Hayvancılıkta nitröz oksit emisyonlarının en önemli kaynak yeri topraktır [14]. N<sub>2</sub>O, gübre yönetimi aracılığıyla doğrudan ve dolaylı olarak iki farklı şekilde oluşur. Nitröz oksit (N<sub>2</sub>O), CO<sub>2</sub> ve CH<sub>4</sub>'ten sonra atmosferde üçüncü en bol bulunan sera gazıdır. CO<sub>2</sub> ve CH<sub>4</sub> organik maddenin anaerobik çürümesi sonucu üretilirken, N<sub>2</sub>O nitrifikasyon ve denitrifikasyon süreçleri ile üretilir [14]. N<sub>2</sub>O'nun atmosferde kalma süresi 120 [9] ile 130 yıl [11] arasındadır. N<sub>2</sub>O emisyonunun en önemli kaynağı tarımsal faaliyetlerdir. Tarımsal faaliyet sonucu ortaya çıkan N<sub>2</sub>O emisyonlarının 30-50%'si ise hayvansal üretim sistemi kaynaklıdır [15]. Hayvan gübreleri önemli bir azot (N) kaynağıdır ve küresel boyutta azot ihtiyacının 38%'i hayvan gübresinden sağlanır [16]. Hayvansal kaynaklı N<sub>2</sub>O emisyonları doğrudan ve dolaylı olmak üzere iki farklı süreçle oluşur. Doğrudan N<sub>2</sub>O emisyonları, gübre içinde ihtiva eden azotun nitrifikasyona ve denitrifikasyona uğraması sonucu (Şekil 2.8), dolaylı N<sub>2</sub>O emisyonları ise öncelikle NH<sub>3</sub> ve NO<sub>x</sub> formları içinde meydana gelen uçucu azot kayıplarının sonucu olarak oluşmaktadır [17].

Gübrenin toplanması ve depolanması sırasında atık organik azotun bir kısmının amonyak azotuna mineralize edilmesi öncelikle zamana ve daha az dereceli sıcaklık koşullarına bağlıdır [17]. Üre (memeliler) ve ürik asit (kümes hayvanları) gibi organik azotun basit formları, hızlı bir şekilde çok uçucu olan ve çevreleyen havaya kolayca yayılan amonyak azotuna mineralize edilirler [18], [19]. Azot kayıpları, meralarda ve diğer hayvan üretim yerlerindeki gübre atılımı ile başlar ve gübrenin depolanması ve işlenmesi boyunca devam eder. Azot ayrıca, yüzeysel akış ve açık havada katı depolanan gübreden, hayvan besi ünitelerinden ve hayvanların otladığı otlak alanlardan toprak içine süzülerek kaybolur [17]. Şekil 2.7'de gübre yönetimi kaynaklı N<sub>2</sub>O emisyonlarının oluşum süreçleri gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Hayvancılıktaki Azot Döngüsü Kaynaklı N<sub>2</sub>O Emisyonlarının Şematik Görünümü [20]

Gübrenin depolanması ve işlenmesi sırasında oluşan N<sub>2</sub>O emisyonu; gübre içindeki azot ve karbon içeriğine, depolanma süresine ve gübrenin işlenme türüne bağlıdır. Davidson'ın [21] tahminlerine göre 1860 ve 2005 yılları arasında hayvan gübresinin ve azotlu gübrenin sırasıyla 2.0% 'si ve 2.5%' i atmosfere N<sub>2</sub>O emisyonu olarak salınmıştır. N<sub>2</sub>O emisyonlarının azaltılması için gübre yönetimi, insanların hayvansal ürünlere olan talebinin artmasıyla paralel olarak artacak hayvan popülasyonu ile daha önemli hale gelecektir [9].

#### 2.1.1.1. Nitrifikasyon ve Denitrifikasyon Süreçleri

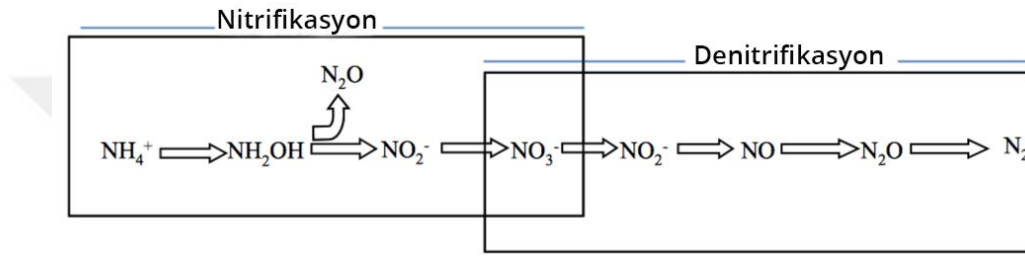
Doğrudan N<sub>2</sub>O emisyonları gübre içinde gerçekleşen nitrifikasyon ve denitrifikasyon süreçleri ile oluşur. Nitrifikasyon iki aşamalı bir oksidasyon prosesidir. Aerobik bakteriler tarafından amonyumun önce nitrite ve sonra nitrate dönüşümüdür [9] ve depolanmış hayvan gübrelere N<sub>2</sub>O emisyonunun oluşması için gerekli önkoşuldur. Nitrifikasyon, aerobik ortamda depolanmış hayvan gübrelere içinde meydana gelir. Anaerobik koşullar altında nitrifikasyon gerçekleşmez. Nitritler ve nitratlar anaerobik koşullar altında denitrifikasyona uğrarlar ve N<sub>2</sub>O ve N<sub>2</sub>'ye dönüşürler (Şekil 2.8).

Denitrifikasyon oksijensiz ortamda azot oksitlerin (özellikle nitrat) son elektron alıcısı olarak kullanıldığı ve böylece NO, N<sub>2</sub>O ve N<sub>2</sub> gibi gaz formlarına indirgendiği bir anaerobik solunum sürecidir [22]. Bu süreç oksijen ihtiyacının sınırlı olduğu koşullarda meydana gelir.



Özet olarak  $N_2O$ 'nun gübrelerden oluşması için öncelikle bu oksitlenmiş azot formlarının oluşması gereklidir.

Bu süreçleri etkileyen faktörler ise, parçalanabilir karbon ve azot, oksijenin varlığı, azotlu gübrelerin uygulanma oranları, toprağın nem içeriği, toprağın amonyak içeriği, toprağın pH derecesi, toprağın sıcaklığı, toprağın redoks potansiyeli ve gazın yayılma gücünü etkileyen toprakların fiziksel özellikleridir [23]. Nitrifikasyon için en uygun sıcaklık aralığı  $30-35^{\circ}C$  iken, buna karşın denitrifikasyon için en uygun sıcaklık  $10^{\circ}C$  veya daha düşük sıcaklıklardır[11]. Düşük sıvı geçirgenliğine sahip topraklarda nitrifikasyon ve denitrifikasyon için yeterli azot kaynağı varsa daha fazla  $N_2O$  emisyonu meydana gelir [14].



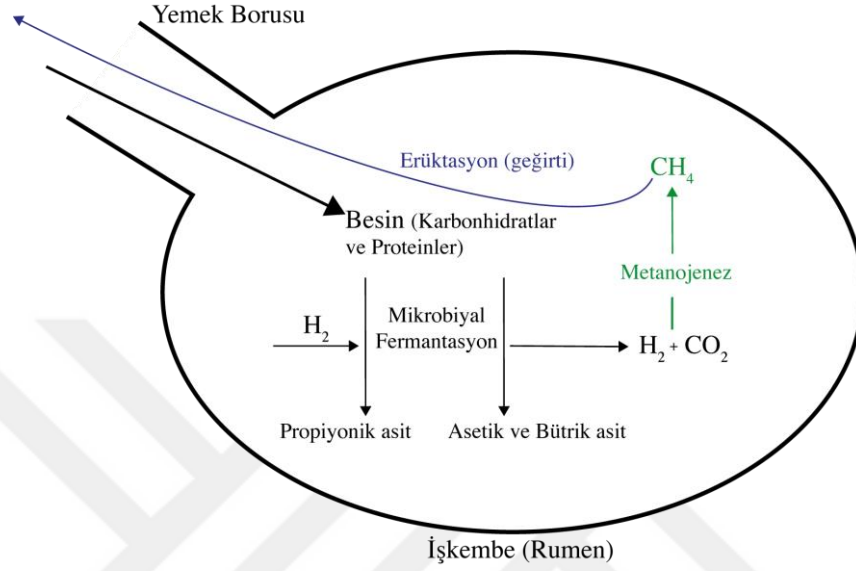
Şekil 2.8. Nitrifikasyon ve Denitrifikasyon Süreçlerinin Şematik Gösterimi [14]

### 2.1.2. Metan ( $CH_4$ ) Gazı Emisyonu

Canlı hayvanlar ve özellikle geviş getiren hayvan türleri dünyada üçüncü en fazla metan gazı emisyonuna neden olurlar [24]. Hayvansal kaynaklı metan gazı emisyonları iki farklı şekilde üretilir; Enterik fermantasyon ve hayvan gübresi.

Enterik fermantasyon (Şekil 2.9), karbonhidratların mikroorganizmalar tarafından kan dolaşımı içinde emilmesi için daha basit moleküllere parçalanmasıdır. Metan üretimi; selüloz, hemiselüloz, pektin ve nişasta gibi hidrolize uğrayabilen karbonhidratların mikrobiyal fermantasyonu ile olur [25]. Asetik, propiyonik ve bütrik asitler (kısaca, uçucu yağ asitleri) geviş getiren hayvanların yiyeceklerinde bulunan yapısal ve yapısal olmayan karbonhidratların enterik fermantasyonundaki ana ürünlerdir[11]. Bu uçucu yağ asitleri hayvanın epitel dokusu aracılığıyla emilirler ve hayvan tarafından enerji kaynağı olarak kullanılırlar. Hızlı büyüme ve süt üretiminde önemli olan bu asitlerden sadece üç karbonlu propiyonik asit glikoz üretiminde (glikoneojenez) substrat olarak kullanılabilir iken, asetik asit ve bütrik asit ise enerji eldesi için yağ üretiminde kullanılırlar [14]. Hem geviş getiren hayvanlarda (sığır, koyun, keçi) ve hem de bazı geviş getirmeyen hayvanlarda (at, eşek, katır) bu süreç ile metan gazı üretilir [3]. Geviş getiren hayvanlardaki metan gazı emisyonları

birçok faktöre bağlıdır. Bunlar; hayvanın türü, beslenme kalitesi ve beslenme miktarıdır [26]. Hayvanların beslenme alışkanlıklarını değiştirmek gibi enterik metan gazı emisyonunu azaltmaya yönelik bazı stratejiler geliştirilmiştir [25]. Yine de bu stratejilerin verimliliği genellikle çevresel koşullardan, toprak-bitki etkileşiminden, hayvan davranışından ve yönetim uzmanlığı derecesinden etkilenir [9].



Şekil 2.9. Enterik Fermantasyonun Basitleştirilmiş Gösterimi [14]

Hayvan gübresi, nitroz oksit gibi önemli bir metan emisyonu kaynağıdır. Metan gazı, gübrenin iyileştirilmesi ve depolanması sırasında açığa çıkar. Metan gazı emisyonunu etkileyen faktörler ise, üretilen gübrenin miktarı ile gübrenin anaerobik ortamda kalma süresidir. Gübre; lagün, gölet ve havuz gibi yerlerde sıvı olarak depolandığı veya iyileştirildiği zaman, oksijensiz ortamda çürür ve önemli miktarda metan üretir. Sıcaklık ve depolanma süresi metan üretimini önemli derecede etkileyen faktörlerdir. Gübre, katı olarak yığın veya çukurlarda depolandığı zaman daha fazla oksijenli ortamda çürümeye eğilimli olacağından daha az miktarda metan üretimi olur [17]. Gübre kaynaklı emisyonlar hem atık yönetimi türünden ve hem de gübrenin depolanma süresinden etkilenir [27]. Gübreden metan gazı emisyonlarını azaltmaya yönelik bazı yöntemler uygulanmaktadır. Bunlar; kompostlama, beklemiş gübre ile örtme, hayvanın beslenme türünü değiştirme [28] ve anaerobik çürütme gibi yöntemlerdir.

### 2.1.3. Karbon Dioksit (CO<sub>2</sub>) Gazı Emisyonu

Karbon dioksit (CO<sub>2</sub>) gazı küresel sıcaklık üzerinde doğrudan ısınma etkisine sahip olan bir gazdır ve çok büyük miktarda emisyonu nedeniyle en önemli sera gazı olarak bilinir

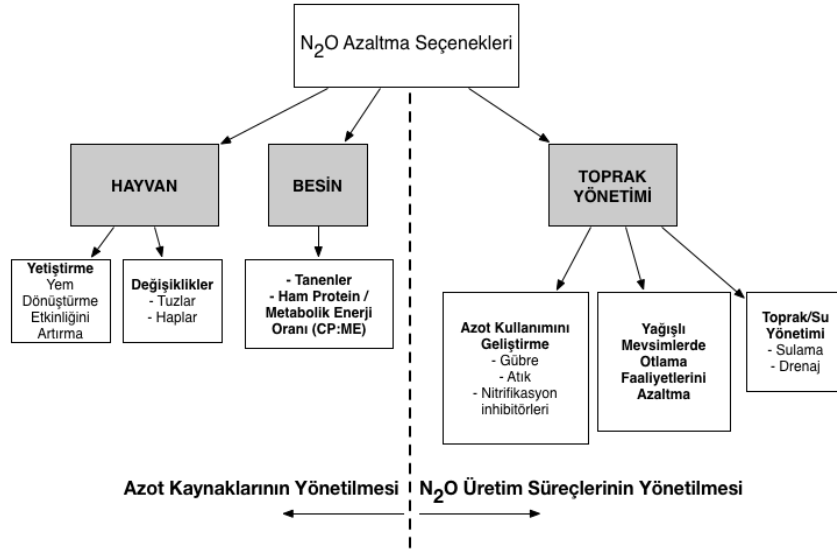
[29]. Hayvansal kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyonlarının oranı yaklaşık 9%'dur. CO<sub>2</sub> hayvan çiftliklerinden organik maddenin mikrobiyal çürümesinin sonucu olarak hem aerobik ve hem de anaerobik koşullar altında üretilir ve yayılır. Fakat hayvanlardan ve onların gübrelerinden yayılan CO<sub>2</sub> emisyonları kısa bir süre içinde gerçekleşen karbon döngüsünün bir parçası olduğu için atmosferdeki CO<sub>2</sub>'nin uzun vadeli artışına bir katkı sağlamazlar [14]. Karbon dioksitin hayvancılık faaliyetleri nedeniyle başlıca oluşum kaynakları; gübre üretimi, yem taşınması, çiftlikteki enerji harcamaları ve hayvan üretim işlemleri ve taşınmasıdır [30].

#### **2.1.4. Hayvansal Kaynaklı Sera Gazı Emisyonlarının Azaltılması**

Hayvansal kaynaklı metan emisyonlarının en önemli kaynağı olan enterik fermantasyon sürecini kontrol altına almak oldukça zordur. Fakat bazılarının uygulanması her ne kadar zor olsa da metan emisyonlarını azaltmaya yönelik bazı yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler, kısa ve uzun vadeli olmak üzere iki alt başlıkta düşünülebilir. Kısa vadeli yöntemler; hayvan sayısını azaltma, hayvan başına verimliliği artırma, hayvanın beslenme türünü değiştirme ve işkembe değiştiricilerinin kullanılmasıdır (iyonofor, monensin gibi kimyasalların kullanılması). Uzun vadeli yöntemler; hayvanlar tarafından daha düşük metan verimi veren bitkilerin seçilmesi (Örneğin; sarımsakta bulunan allicin, bakteriyosinler ve geliştirilmiş maya ürünleri gibi bitki özütleri [31].) ve işkembe ekosisteminin hedefe yönelik manipülasyonudur (Örneğin; hayvanlardaki işkembe metanojenlerine karşı antikor üreten aşılarda geliştirme) [32].

Gübre bir hayvan atığıdır (dışkı ve idrar). Gübre depolama yerleri, hayvan barınakları, besi yerleri önemli sera gazı (N<sub>2</sub>O ve CH<sub>4</sub>) ve NH<sub>3</sub> kaynaklarıdır [11]. Katı gübrenin depolanması büyük miktarda N<sub>2</sub>O emisyonu üretirken, sıvı gübrenin depolanması ise büyük miktarda CH<sub>4</sub> emisyonuna neden olur [33]. Gübre yönetimi; gübrenin toplanması, taşınması, depolanması, iyileştirilmesi ve arazide kullanılması için çeşitli teknolojileri kapsar [11]. Bu teknolojiler hayvan sürüsünün büyüklüğüne, toprak tipine, iklime ve diğer faktörlere bağlı olarak seçilir [34].

Hayvancılık sistemlerinden N<sub>2</sub>O emisyonlarının azaltılmasına yönelik birçok seçenek vardır. Bu seçenekler özellikle nemli topraktaki azot varlığının veya azot girdisinin azaltılmasına yöneliktir [20]. N<sub>2</sub>O'nun azaltılmasına yönelik seçenekler Şekil 2.10'da verilmiştir.



Şekil 2.10. Hayvancılık Faaliyetleri Sırasında Oluşan N<sub>2</sub>O Emisyonlarını Azaltma Seçeneklerinin Şematik Gösterimi [20]

Sıvı gübre depolama tesisleri NH<sub>3</sub> ve özellikle CH<sub>4</sub> ve N<sub>2</sub>O gibi sera gazı emisyonları için önemli kaynak yerleridir. Metan, bu tesislerde oluşan en baskın sera gazı emisyonudur [35]. Bu nedenle hayvan gübresi nedeniyle oluşan sera gazı ve NH<sub>3</sub> emisyonlarının azaltılması için farklı emisyon giderim yöntemleri araştırılmakta ve uygulanmaktadır. Aşağıda verilen yöntemler bu emisyonların azaltılması için uygulanabilir.

1. Hayvanların beslenme alışkanlıklarının değiştirilmesi: Canlı hayvanlardaki sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik en işe yarar yöntem olarak hayvanların beslenme alışkanlıklarının değiştirilmesi gösterilebilir. Hayvanlara özellikle proteinli besinlerin verilmesinin azaltılması, azot kaynaklı gaz emisyonlarını (NH<sub>3</sub> ve N<sub>2</sub>O gibi) etkili bir biçimde azaltır [36].
2. Gübre depolama tekniklerinin değiştirilmesi: Gübre kaynaklı N<sub>2</sub>O emisyonlarının azaltılması amacıyla gübreleri anaerobik ortam koşullarında muhafaza etmek (gübre yığınının üzerinin örtülmesi ve sıkıştırılması) gerekir. CH<sub>4</sub> emisyonlarının azaltılması için en iyi giderim yöntemleri ise, şlam adı verilen sulu gübrenin depolama yerinden uzaklaştırılması, özellikle yaz aylarında şlam hacminin azaltılması, şlamların soğutulması, katı gübre yığınlarının havalandırılması ve kompostlanması ve anaerobik çürümedir [37].
3. Gübrenin pH değerinin düşürülmesi: Sulu gübrenin pH değerinin düşürülmesi, NH<sub>3</sub> ve NH<sub>4</sub> arasındaki dengeyi etkileyeceğinden emisyon değerlerinin düşmesi için diğer bir yöntem olarak kullanılabilir [11]. Gübredeki pH seviyesi mikroorganizmaların

etkinliğini etkiler. 6-7 aralığındaki pH seviyesi yüksek CH<sub>4</sub> üretimi için ideal aralıktır [38]. Ph seviyesinin 6'nın altına düşürülmesi CH<sub>4</sub> emisyonunu azaltır, 5'nin altına düşürülmesi ise CH<sub>4</sub> emisyon oluşumunu engeller [39]. Ph değerinin düşürülmesi için gübreye asidik sıvı biyoatıkların eklenmesi oldukça etkili bir yöntemdir [11].

4. Inhibitörlerin Kullanılması: Gübredeki nitrifikasyon ve denitrifikasyon süreçleri önemli N<sub>2</sub>O emisyon oluşum kaynaklarıdır. Nitrifikasyon önleyici kimyasal bileşimler kullanılarak NH<sub>4</sub>'ün NO<sub>3</sub>'e olan oksidasyonu engellenir ve böylece bu süreç sonunda oluşan N<sub>2</sub>O emisyonları azaltılır [20].
5. Gübre yığınlarının üzerinin örtülmesi: Hem koku ve hem de NH<sub>3</sub> emisyon gideriminin engellenmesi için gübre depolama tesislerindeki sıvı gübreler farklı malzemelerle örtülmektedir. Bu yöntem ayrıca CH<sub>4</sub> ve N<sub>2</sub>O emisyonlarını da azaltır. Örtü malzemesi olarak, perlit, hafif derecede genleştirilmiş kil malzemesi, laktik asit ya da sakaroz ile birlikte kullanılan saman kullanılabilir [39].
6. Anaerobik Çürüme: Anaerobik çürütücüler, CH<sub>4</sub> üreten bakterilerin (metanojenik bakteriler) kullanılması ile organik atıkların parçalanmasını sağlarlar. Ayrıca bu çürütücüler gübredeki koku ve patojenlerin azalmasına ve çürütülen gübrenin tarım gübresi olarak kullanılabilir olmasına neden olurlar. Anaerobik çürüme; NH<sub>3</sub> emisyon artışı olmaksızın, gübrenin depolanmasından ve gübrenin arazide kullanılmasından kaynaklı olan tüm sera gazı emisyonlarının azaltılması için en önemli ve etkili yöntemdir [36].

Bunlara ek olarak, doğru ve sürdürülebilir bir gübre yönetim stratejisinin belirlenmesi, sera gazı (N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>), NH<sub>3</sub> ve diğer emisyonların azaltılması için önemlidir. Gübre yönetimi, hayvanların gübre üretiminden başlayarak depolanması ve işlenmesi ve ardından arazide uygulanması ile sonuçlanan bir süreklilik olarak düşünülebilir. Bu süreklilik içerisinde, gübre yönetimine iki farklı yoldan yaklaşılabilir; Bunlar, ya gübrenin araziye doğrudan uygulanması ya da daha genel bir arazi uygulanmasından önce bir şekilde depolanmasıdır. Taze gübre doğrudan araziye uygulanıyorsa, CH<sub>4</sub> üretimi özellikle gübre depolanmasına kıyasla ihmal edilebilir, fakat N<sub>2</sub>O emisyonu oldukça etkilidir [14]. Çizelge 2.2'de beş farklı gübre yönetim stratejisi ve bunların avantaj ve dezavantajları gösterilmiştir.

Çizelge 2.2. Sera Gazı Emisyonu Azaltımına Yönelik Farklı Gübre Yönetim Stratejilerinin Avantajları ve Dezavantajları [14]

Gübre Yönetim Stratejisi	Avantajları	Dezavantajları
Doğrudan Arazi Uygulamaları	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CH<sub>4</sub> emisyonu oluşmaz</li> <li>• Az maliyetli</li> <li>• Teknik işlem gerektirmez</li> <li>• Toprak verimliliği artar</li> <li>• Toprak karbon bakımından zenginleşir</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• N<sub>2</sub>O emisyonu oluşur</li> <li>• Nitrat yeraltı suyuna karışır</li> <li>• Fosfat yüzey sularına karışır</li> <li>• Kötü koku problemi</li> <li>• Patojen azaltımı olmaz</li> <li>• Taşıma maliyetleri yüksek</li> </ul>
Gübre Stoklama	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Az maliyetli</li> <li>• Teknik işlem gerektirmez</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yüksek miktarda sera gazı emisyonları oluşur</li> <li>• Minimum seviyede patojen azaltımı olur</li> </ul>
Şlam-Bulamaç (Slurry)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Orta düzeyde maliyetli</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yüksek miktarda sera gazı emisyonları oluşur</li> <li>• Kötü koku problemi</li> <li>• Yüksek su / düşük katı madde içeriği</li> <li>• Minimum seviyede patojen azaltımı olur</li> <li>• Yarı teknik işlem gerektirir</li> <li>• Su kirliliğine neden olur</li> </ul>
Kompostlama	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Az maliyetli</li> <li>• Organik gübre üretimi</li> <li>• Toprak karbon bakımından zenginleşir</li> <li>• Toprak verimliliği artar</li> <li>• Kötü koku azaltımı</li> <li>• Patojen azaltımı</li> <li>• Zararlı / yabancı otların azaltımı</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Orta düzeyde sera gazı emisyonları oluşur</li> <li>• Yarı teknik işlem gerektirir</li> <li>• NH<sub>3</sub> emisyonu nedeniyle azot kayıpları meydana gelir</li> <li>• Kompost alanı için arazi ihtiyacı gerektirir</li> </ul>
Anaerobik Çürüme	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sera gazı emisyonu oluşmaz</li> <li>• Yenilenebilir enerji üretimi</li> <li>• Organik gübre üretimi</li> <li>• Kötü koku azaltımı</li> <li>• Patojen azaltımı</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pahalı altyapı</li> <li>• Teknik işlem gereksinimi</li> <li>• Büyük çaplı maliyet</li> </ul>

### 2.1.5. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC)

IPCC, iklim değişikliği ile ilgili bilimsel değerlendirmeler yapmak için WMO (Dünya Meteoroloji Örgütü) ve UNEP (Birleşmiş Milletler Çevre Programı) tarafından 1988 yılında kurulmuş uluslararası bir örgüttür. IPCC, iklim değişikliğinin etkilerini, gelecekteki risklerini, uyum ve azaltımı için seçeneklerin bilimsel değerlendirilmesi üzerine karar verici sıfatıyla kurulmuştur[62]. IPCC 2006 Ulusal Sera Gazları Envanter Rehberi, antropojenik emisyon kaynakları ve sera gazı emisyonları için ulusal envanterlerin tahmininde

kullanılacak metodolojileri sunmaktadır [40]. IPCC 2006 Kılavuzları kapsamlı bir bilimsel incelemeye ve IPCC'nin tüm kategorilerindeki envanter metodolojisinin yapısal olarak geliştirilmesine dayanır [40]. IPCC 2006 kategorileri aşağıda verilmiştir.

1. Kategori 1 - Genel Rehber ve Raporlama
2. Kategori 2 - Enerji
3. Kategori 3 - Endüstriyel Prosesler ve Ürün Kullanımı
4. Kategori 4 - Tarım, Ormancılık ve Diğer Arazi Kullanımı
5. Kategori 5 - Atık

Tarım, Ormancılık ve Diğer Arazi Kullanımı kategorisi toplam 12 ayrı bölümden oluşmaktadır. Hayvancılık ve Gübre yönetimi Emisyonları, bu kategorinin onuncu bölümüdür. Bu bölümde, sera gazı emisyonları iki alt ana bölüm altında hesaplanmaktadır. Bunlar;

1. Enterik Fermantasyondan Metan Emisyonları
2. Gübre Yönetimi
  - Gübre Yönetiminden Metan Emisyonları
  - Gübre Yönetiminden Nitröz Oksit Emisyonları

**1. Enterik Fermantasyondan Metan Emisyonları:** Enterik metan emisyonları kılavuza göre üç farklı yöntem üzerinden hesaplanır. Bu üç yöntem, detay ve karmaşıklığın düzeylerine göre en basit yöntemden en detaylı yönteme kadar uygulanabilir.

Tier 1 Yöntemi: Literatürden alınan veya daha detaylı yöntem olan Tier 2 yöntemi kullanılarak hesaplanan emisyon faktörlerine dayanan basitleştirilmiş bir yaklaşımdır. Bu yöntem, çoğu hayvan türü için enterik fermantasyonun anahtar kaynak kategorisi olmadığı ülkelerde veya gelişmiş hayvan karakterizasyon verilerinin mevcut olmadığı ülkeler için uygun gibi görünen bir yöntemdir [17].

Tier 2 Yöntemi: Belirli hayvancılık kategorileri için brüt enerji girdisi ve metan dönüşüm faktörleri hakkında ülkeye özgü detaylı verileri gerektiren Tier 1'e göre daha karmaşık bir yaklaşımdır. Enterik fermantasyon, bir ülkenin toplam emisyonlarının büyük bir kısmını oluşturan hayvan kategorisi için anahtar kaynak ise, Tier 2 yöntemi kullanılmalıdır [17].

Tier 3 Yöntemi: Hayvancılık emisyonlarının önemli olduğu bazı ülkeler, Tier 2 yönteminin ötesine geçmek ve tahminlerine ülkeye özgü ek bilgileri eklemek isteyebilirler. Hayvanların detaylı beslenme türü, geviş getiren hayvanların

fermantasyonundan kaynaklanan ürünlerin konsantrasyonu, hayvan popülasyonundaki mevsimsel değişimi veya beslenme kalitesini ve besin bulunabilirliğini, ve muhtemel emisyon azaltıcı stratejileri dikkate alan karmaşık modellerin gelişiminde bu yaklaşım kullanılabilir. Bu tahminlerin çoğu doğrudan deneysel ölçümlerden türetilir [17].

- 2. Gübre Yönetiminden Metan Emisyonları:** Hayvan gübresinden metan emisyonlarını tahmin etmek için üç aşamalı yöntem bulunmaktadır.

Tier 1 Yöntemi: Metan emisyonlarının hesaplanması için yalnızca hayvan türleri/kategorilerine ve iklim bölgesi veya sıcaklığına göre hayvan popülasyon verileri gerektiren ve IPCC varsayılan emisyon faktörleriyle kombinasyon halinde olan basitleştirilmiş bir yöntemdir [17].

Tier 2 Yöntemi: Belli bir hayvancılık türünün/kategorisinin bir ülkenin emisyonlarının önemli bir payını temsil ettiği durumlarda gübre yönetiminden metan emisyonlarının tahmin edilmesi için daha karmaşık bir yöntem kullanılmalıdır. Bu yöntem ülkenin koşullarına özgü emisyon faktörlerinin geliştirilmesi için kullanılan hayvan özellikleri ve gübre yönetim uygulamaları hakkında ayrıntılı bilgi gerektirir [17].

Tier 3 Yöntemi: Hayvancılık emisyonlarının önemli olduğu bazı ülkeler, Tier 2 yönteminin ötesine geçmek ve ülkeye özgü metodolojiler için modeller geliştirmek veya emisyon faktörlerini ölçmek için ölçüm temelli yaklaşımlar kullanmak isteyebilir [17].

- 3. Gübre Yönetiminden Nitröz Oksit Emisyonları:** Hayvan gübresinden hem doğrudan ve hem de dolaylı nitröz oksit emisyonlarını tahmin etmek için üç aşamalı yöntem bulunmaktadır.

**Doğrudan Nitröz Oksit Emisyonları:** Doğrudan N<sub>2</sub>O emisyonları, gübre içinde ihtiva eden azotun nitrifikasyon ve denitrifikasyona uğraması sonucu oluşur. Gübrenin depolanması ve iyileştirilmesi sırasında oluşan N<sub>2</sub>O emisyonu, gübre içindeki azot ve karbon içeriğine, gübrenin depolanma süresine ve işleme tipine bağlıdır [17].

Tier 1 Yöntemi: Bu yöntem, gübre yönetim sistemindeki her hayvan türünün dışısındaki toplam azot atılım miktarı ile yine gübre yönetim sisteminin türüne bağlı olarak değişen emisyon faktörünün birbiriyle çarpılmasına dayalı bir yöntemdir. Bu yöntem IPCC 2006 kılavuzunda her hayvan türü için varsayılan N<sub>2</sub>O emisyon



faktörleri, varsayılan azot atılım verileri ve varsayılan gübre yönetim sistem veri değerlerinin kullanılmasına dayalı bir sistem olarak tanımlanır [17].

Tier 2 Yöntemi: Bu yöntem, Tier 1 ile aynı hesaplama denklemini takip eder, ancak bu yöntem, bu değişkenlerin bir kısmı veya tamamı için ülkeye özgü verilerin kullanılmasını kapsayacaktır [17].

Tier 3 Yöntemi: Bu yöntem ülkeye özgü metodolojiye dayanan alternatif tahmin prosedürlerini kullanır. Son kullanım/yok etme amacıyla besin girdisi ile başlayarak sistem boyunca azotu izleyen süreç bazlı, kütle dengesi yaklaşımı Tier 3 prosedürü olarak kullanılabilir [17].

**Dolaylı Nitröz Oksit Emisyonları:** Dolaylı  $N_2O$  emisyonları, öncelikle  $NH_3$  ve  $NO_x$  formları içinde meydana gelen uçucu azot kayıplarının sonucu olarak oluşurlar.

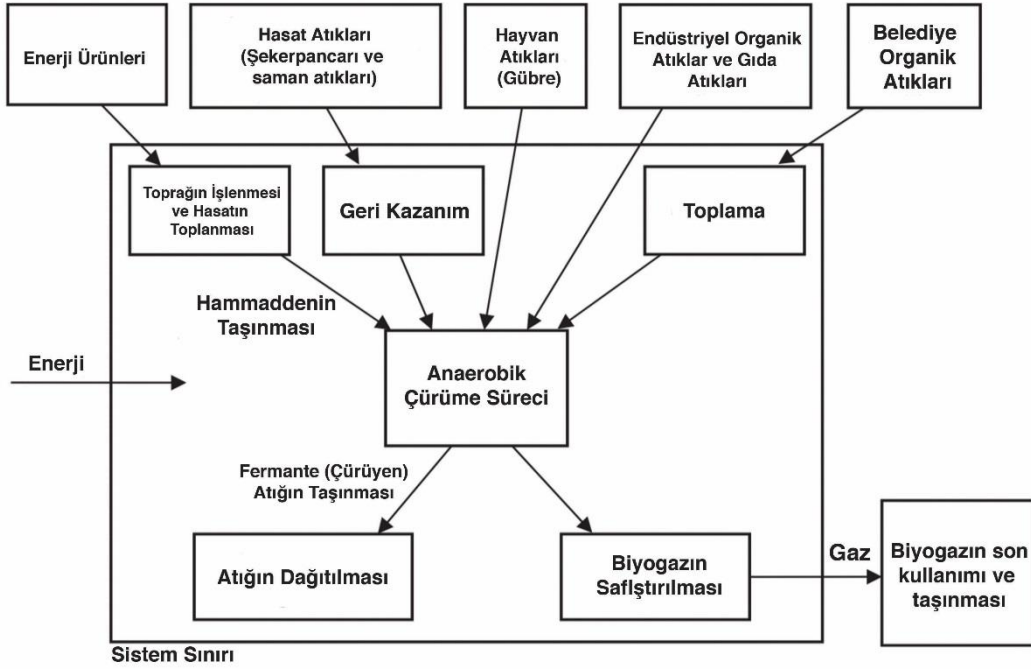
Tier 1 Yöntemi: Gübre yönetim sistemindeki  $NH_3$  ve  $NO_x$  formlarından azotun uçuculuğunun Tier 1 yöntemine göre hesaplanması; her hayvan türüne göre değişen azot atılım miktarı ile uygulanan gübre yönetim sistemine göre, belirlenen azot uçuculuğunun fraksiyonunun çarpılması ile bulunur [17].

Tier 2 Yöntemi: Bu yöntem, Tier 1 ile aynı hesaplama denklemini takip eder, ancak bu yöntem, bu değişkenlerin bir kısmı veya tamamı için ülkeye özgü verilerin kullanılmasını kapsayacaktır [17].

Tier 3 Yöntemi: Tahminlerde belirsizliğin azaltılması yönelik olarak, uçuculuk, azotun toprağa süzülmesi ve gerçek ölçümlere dayalı azot akışları için ülkeye özgü emisyon faktörleri ile Tier 3 yöntemi geliştirilebilir [17].

## 2.2. Biyogaz Enerjisi

Biyogaz, anaerobik koşullarda biyokütlenin bakteriyel bozunması ile oluşan bir gazdır [41]. Biyogaz, yanıcı diğer gazlardan (örneğin doğalgaz) farklı olarak sadece organik hammaddelerden elde edilmektedir [42]. Evsel atıklar, endüstriyel atıklar, tarım ürünleri atıkları ve hayvan gübresi atıkları başlıca biyogaz üretiminde kullanılan hammaddelerdir (Şekil.2.11).



Şekil 2.11. Biyogaz Üretim Sisteminde Hammadde ve Enerji Akışları Diyagramı [43]

Ana bileşen olarak karbonhidratları, proteinleri, yağları, selüloz ve hemiselülozları içeren her tipteki biyokütle, biyogaz üretimi için substrat olarak kullanılabilir [44]. Doğalgazda olduğu gibi, biyogazında ana bileşeni metan gazıdır. Biyogazın bileşenleri Çizelge 2.3'te verilmiştir.

Çizelge 2.3. Biyogazın Bileşimi [45]

Metan (CH <sub>4</sub> )	50-75%
Karbon dioksit (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%
Azot (N <sub>2</sub> )	<2%
Amonyak (NH <sub>3</sub> )	<1%
Hidrojen (H <sub>2</sub> )	<1%
Hidrojen Sülfür (H <sub>2</sub> S)	<1%

Normal sıcaklık ve basınç koşullarında metanın yoğunluğu yaklaşık  $0.75 \text{ kg/m}^3$  iken karbon dioksit içeriğinden dolayı biyogazın yoğunluğu  $1.15 \text{ kg/m}^3$  [46] –  $1.2 \text{ kg/m}^3$  [47] arasındadır. Biyogazın diğer özellikleri Çizelge 2.4'te verilmiştir.

Çizelge 2.4. Biyogazın Diğer Genel Özellikleri [45],[47]

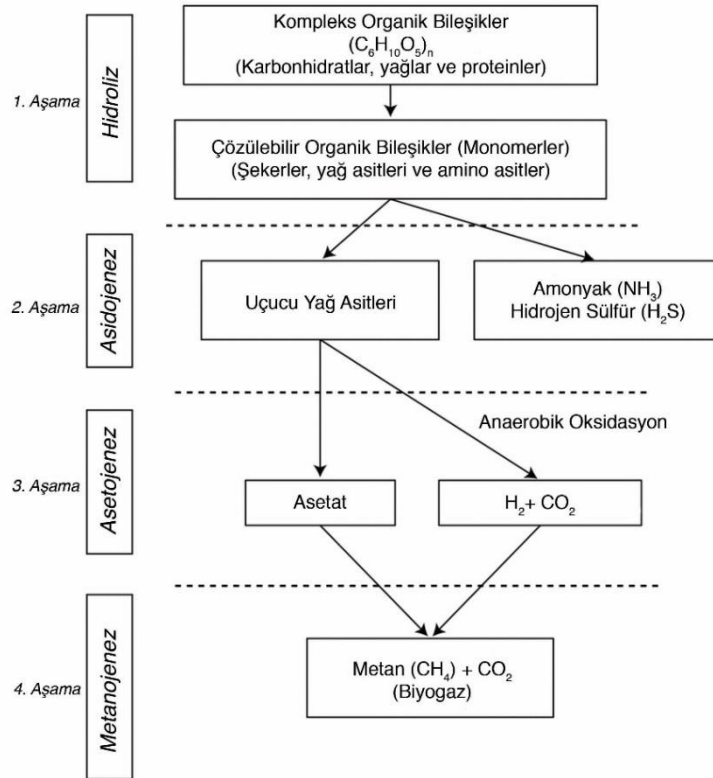
Enerji İçeriği	6.0-6.5 kWsa/m <sup>3</sup>
Yakıt Eşdeğeri	0.60-0.65 litre/m <sup>3</sup> biyogaz
Patlama Limitleri	6-12% biyogaz (havada)
Tutuşma Sıcaklığı	700 °C
Kritik Basınç	75-89 bar
Kritik Sıcaklık	-82.5 °C
Koku	Çürük Yumurta

### 2.2.1. Biyogaz Üretiminin Aşamaları

Biyogaz, anaerobik çürütücülerde gübrenin bozunması ile elde edilir. Anaerobik çürüme, oksijensiz ortamda meydana gelen çeşitli bakteri popülasyonunun kullanılması ile biyogaz içindeki (özellikle metan) katı ve sıvı atık kombinasyonunun parçalanması ile sonuçlanan bir seri biyolojik süreçlerdir [48]. Biyogazın kompozisyonu ve metan verimi çürütücüdeki malzemenin içeriğine, çürüme sistemine ve tutulma süresine bağlıdır [49]. Anaerobik çürüme süreci genel olarak dört aşamadan oluşur. Bunlar; hidroliz, asit oluşumu (asidojenez), asetat oluşumu (asetojenez) ve metan oluşumudur (metanojenez) (Şekil 2.12).

1. **Hidroliz:** Çoğu durumda biyokütle kompleks organik polimerlerden oluşur. Anaerobik çürütücülerdeki hidrolitik bakterilerin maddenin potansiyel enerjisine ulaşması için bu polimerlerin öncelikle daha küçük, suda çözülebilen monomerlere parçalanması gerekir. Bu aşamada selüloz, hemiselüloz ve lignin gibi karbonhidratlar daha küçük monomerler olan glikoz, pentoz ve heksoza; proteinler, polipeptid ve aminoasitlere; yağlar ise alkol, yağ asiti ve hidrojene dönüşür. Karbonhidratlar bir kaç saat içinde hidrolize uğrarken, proteinlerin ve yağların hidrolizi bir kaç gün sürebilir. Lignoselüloz ve ligninin parçalanma süreci çok yavaş olur ve tam olarak parçalanmazlar [50].
2. **Asit Oluşumu (Asidojenez):** Hidrolitik aşamada, karbonhidrat, yağ ve protein gibi polimerler farklı yapıdaki anaerobik bakteriler tarafından parçalanarak daha küçük yapıdaki monomerlere dönüştürülmüşlerdir. İkinci aşama olan asidojenez aşamasında bu monomerler anaerobik bakteriler tarafından kısa zincirli organik asitlere, C1-C5 moleküllerine (bütrik asit, propiyonik asit, asetat, asetik asit, vb.), alkollere, hidrojen ve karbon dioksit dönüştürülürler [50].

3. Asetat Oluşumu (Asetojenez): Asidojenez aşamasında oluşan ürünler, asetojenez aşamasında diğer bakteriler için substrat olarak kullanılırlar. Asetojenik bakteriler zorunlu olarak hidrojen üreticilerdir. Yaşamaları ve büyümeleri için gerekli enerjiyi sadece çok düşük hidrojen konsantrasyonunda alabilirler. Düşük hidrojen kısmi basıncı olduğu zaman; hidrojen, karbon dioksit ve asetat, asetojenik bakteri tarafından oluşturulur. Yüksek hidrojen kısmi basıncında ise ağırlıklı olarak bütirik, kapron, propiyonik ve valerik asitler ile etanol oluşturulur. Oluşan bu ürünlerden metanojenik mikroorganizmalar sadece asetatı, hidrojeni ve karbondioksiti kullanabilirler [50].
4. Metan Oluşumu (Metanojenez): Metanojenez aşaması metan gazının oluştuğu anaerobik süreçlerin son aşamasıdır [48]. Bu aşama çok yüksek anaerobik koşullarda gerçekleşir. Bu aşamada, asetojenez aşamasında oluşan organik asitler, hidrojen ve asetat; metanojen mikroorganizmalar tarafından asetik asitin parçalanması ve/veya hidrojen ile karbon dioksitin sentezlenmesi ile metan ve karbon dioksit dönüştürülür ve böylece biyogaz elde edilir. Asetik asitin oksidasyonu ile karbon dioksit ve hidrojenin indirgenmesinin biyogaz üretimindeki payları karşılaştırıldığında; biyogazın 27-30%'u CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub> indirgenmesi ile, yaklaşık 70%'i ise asetik asitin oksidasyonu süreçleri sonucu üretilir [50].

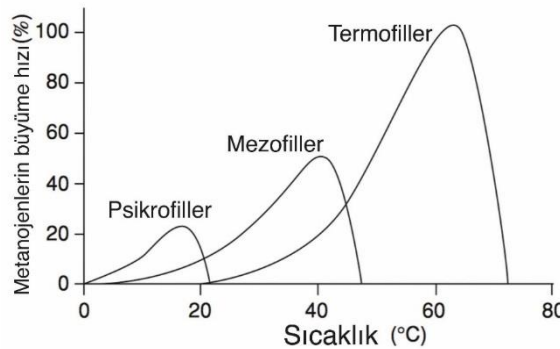


Şekil 2.12. Biyogaz Üretim Aşamaları [51]

### 2.2.2. Biyogaz Bileşimini ve Anaerobik Çürüme İşlemini Etkileyen Önemli Faktörler

Üretilen biyogazın miktarı ve bileşimi, kullanılan hammaddenin karakterizasyonuna (örneğin; organik içeriği, yağ içeriği, lignin içeriği, toplam katı içeriği, kalorifik değeri), kullanılan anaerobik reaktör tipine (örneğin; tam karışimli reaktör, piston akımlı reaktör, vb.) ve kullanılan prosese (yarı zamanlı, tam zamanı, vb.) ve uygulanan proses parametrelerine (sıcaklık, hidrolik bekletme süresi ve organik yükleme hızı, karıştırma düzeni, kullanılan gaz giderim sistemi, çamur alıkonma süresi) ve inhibitör bileşiklerin (uçucu yağ asitleri, amonyak, H<sub>2</sub>S, H<sub>2</sub>) oluşumu gibi bir takım faktörlere bağlıdır [52], [53]. Biyogaz bileşimi ayrıca CO<sub>2</sub>'nin yüksek oranda suda çözülmesinden dolayı pH'a bağlıdır. Anaerobik çürüme işlemini etkileyen kritik faktörler ise şunlardır.

1. **Sıcaklık:** Biyogaz üretiminde en uygun koşulların sağlandığı iki farklı sıcaklık ortamı vardır ve her bir sıcaklık ortamında farklı bakteri türleri görev alır. Bunlar mezofilik ve termofilik sıcaklık ortamlarıdır. Çürüme işleminde görev alan bakteriler ise mezofilik ve termofilik bakterilerdir. Mezofilik bakteriler 32-42 °C, termofilik bakteriler 50 - 58 °C aralığında faaliyet gösterirler. Termofilik çürüme ortamından daha fazla patojenik bakteri yok olur, fakat daha yüksek sıcaklık ortamını sağlamak maliyeti artıracacağı için ekonomik değildir. Ayrıca termofilik çürütücüler, mezofilik çürütücülere göre daha az stabildirler [48]. Psikrofil sıcaklık ortamı ise bakteriyel bozunmanın 32 °C 'den daha düşük sıcaklık koşullarında gerçekleştiği ortamdır. Bu ve bundan daha düşük sıcaklık koşullarında bakteriyel bozunma yavaşlar veya tamamıyla durur [48]. Çürüme sırasında sıcaklığın sabit tutulması oldukça önemlidir. Sıcaklık değişimleri biyogaz üretimini negatif yönde etkiler [36]. Çoğu örneklerde, termofilik sıcaklık koşullarındaki metanojenik çeşitlilik, mezofilik sıcaklık koşullarına göre daha düşüktür [42].



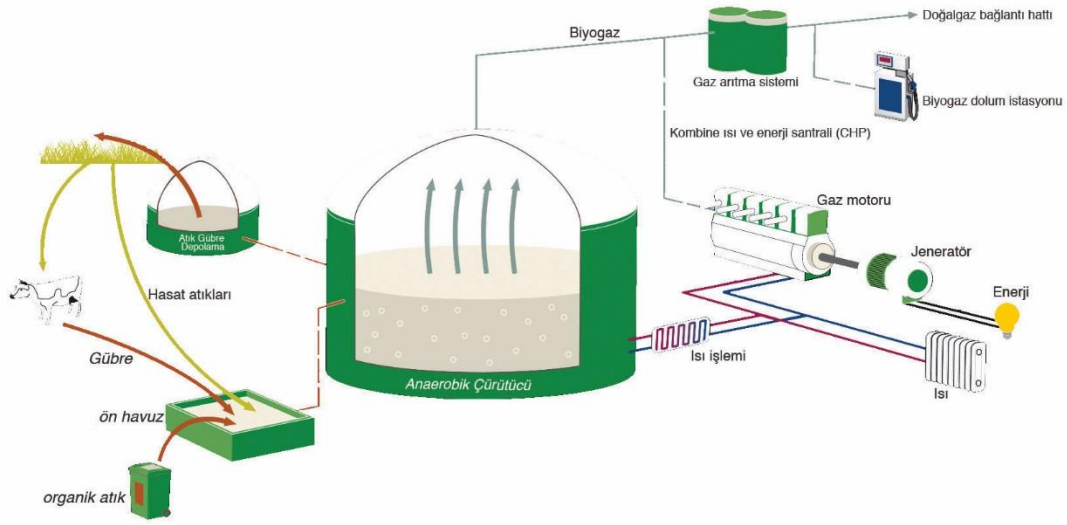
Şekil 2.13. Metanojenlerin Büyüme Hızlarının Sıcaklık Ortamlarıyla olan Değişimi [54]

2. Hidrolik Bekletme Süresi ve Organik Yükleme Hızı: Çamur hacminin çürütücüde bekletildiği zamana hidrolik bekletme süresi denir ve çürütücünün ekonomisini etkileyen en önemli tasarım parametrelerinden biridir. Çürütücünün tipine ve girdilerin katı içeriklerine bağlı olarak önerilen hidrolik bekletme süresi en az 40 gündür. Soğuk iklim bölgelerinde hidrolik bekletme süresi 100 güne kadar çıkabilir. Termofilik sıcaklık koşullarında ise bu süre 15-20 gün arasındadır. Organik yükleme hızı veya oranı, çürütüçülere günlük eklenen uçucu katıların miktarı ile ifade edilir. Biyometan üretim potansiyeli, çürütücünün ve organik hammaddenin türüne ve boyutuna göre değişen organik yükleme hızından büyük ölçüde etkilenmektedir [55]. Organik yükleme hızının artması ile metan üretim miktarı da artmaktadır. Anaerobik çürütme sırasında yaklaşık 40-50% uçucu katı giderilir. Yüksek organik yükleme hızı ortamın pH değerini düşürür ve bunun sonucu olarak sistem inhibe olur. Bunun nedeni metan bakterilerinin hidrojeni yeterli hızda uzaklaştırılmaması sonucunda asit bakterilerinin baskın hale gelmesi ve uçucu organik asit üretiminin artarak asit birikiminin oluşmasıdır. Bu da sistemin dengesinin bozulmasına neden olur [56]. Çürütücüye tek tip hammadde girdisi genel olarak daha iyi bir performans sağladığı deneyimlenmiştir [48].
3. C/N Oranı: Organik atıklar, genel anlamda karbon yönünden zengin olanlar ve azot yönünden zengin olanlar diye ikiye ayrılmaktadır. Karbon biyogaz oluşumu için gerekli iken, azot anaerobik bakterilerin gelişimi ve yeniden üretilmesi için gereklidir. Azot azlığı hücresel gelişimi engellediği için verimi düşürür, azot fazlalığı ise NH<sub>3</sub> birikimine neden olur ve pH değeri 8.5'e yaklaşır. Böylece kötü kokulu, yanmayan bir gaz elde edilir [56]. Çürütücü içinde ideal C/N oranını korumak önemlidir. Genellikle mikroorganizmalar azottan 25-30 kat daha fazla oranda karbon kullanırlar. Bu nedenle anaerobik çürütücü için 25-30:1 karbon-azot oranı en uygundur [57].
4. Çürütücüde Ortak Atık Kullanılması: Hayvan gübresi, tüm dünyadaki biyogaz üretiminde birçok çürütücüde tek tip hammadde olarak kullanılmaktadır. Sadece hayvan gübresi kullanmak her ne kadar uygun ve uygulanabilir olmasına rağmen, gübrenin doğal karbon eksikliği (eğer çürütücüye aşırı miktarda besi yeri gübresi verilirse düşük karbon-azot oranı meydana gelir.) nedeniyle biyogaz üretmek için oldukça verimli bir yol değildir. Gübrenin diğer tip organik atıklar ile karıştırılması karbon-azot oranını ve biyogaz üretimini artırır [48].

5. **pH Değeri:** Metan formları pH hassasiyetlidir. Bu nedenle pH oranı 6.5-7.5 arasında tutulmalıdır. Bu aralık dışına çıkıldığı zaman bu formların metabolik hızları etkilenecek ve metan üretimini yavaşlatacak veya tamamıyla durduracaktır [48].
6. **Ön Arıtma:** Tarımsal kalıntılar ve enerji ürünleri gibi lignoselülozlu biyokütle başlıca selüloz, hemiselülozlar ve ligninden oluşur. Bu üç bileşik biyolojik bozunmaya dirençli lignoselülozlu biyokütleyi üretir. Bu nedenle fiziksel, kimyasal veya biyolojik ön arıtmalar tercih edilmelidir [48].
7. **Güvenlik:** Biyogazın temel bileşeni olan metan, hava ile teması sonucu yüksek dereceli patlayıcı haline gelir. Biyogazın patlama limiti 6% ile 12% arasında, tutuşma veya parlama sıcaklığı ise 700°C'dir [45]. Buna ek olarak biyogaz havadan ağırdır ve eğer çürütücüden biyogaz sızıntısı meydana gelirse zemine yakın yerde biyogaz oksijenin yerini alır. Dahası eğer biyogaz H<sub>2</sub>S'ten arındırılmamış ise öldürücü bir gaz olarak davranabilir [48].

### **2.2.3. Biyogazın Kullanım Alanları ve Uygulamaları**

Anaerobik ürüme işleminden sonra elde edilen biyogazın birçok faydası vardır ve birçok farklı şekilde kullanılabilir. Çürütücü sonrası oluşan gübre az kokuludur ve hava kalitesine arttırıcı etki yapar. Ayrıca tarım için daha elverişlidir. Biyogaz üretimi sırasında, oluşan gübrenin toprakta uygulanması sonucunda, buğdayda %16 pancarda ise %25 verim artışı meydana geldiği araştırmalar neticesinde ortaya konmuştur. Bu da yaklaşık olarak tarımda %20'lik bir verim artışına neden olduğu söylenebilir [58]. Gübredeki yabancı ot tohumlarını yok ederek arazideki yabancı otların kontrol edilme maliyetlerini düşürür [48]. Gübrenin besin değerini artırarak, suni gübre üretimindeki maliyetleri düşürür. Daha önce belirtildiği gibi CH<sub>4</sub> ve CO<sub>2</sub> gibi önemli sera gazı emisyonlarının atmosfere salınımını azaltır. Hayvan gübrelerinden yüzey ve/veya yeraltı sularına karışabilecek patojenlerin azalması ile birlikte su kalitesinin korunmasına katkı sağlar. Biyogaz üretim tesisinin olduğu yerde kurulu olan kombine ısı ve elektrik enerjisi santrali aracılığıyla üretilen ısı ve elektrik, tesis içinde kullanılabilir veya elektrik; elektrik şirketlerine, ısı ise yakın çevredeki ısıtma şebekelerine satılabilir. Biyogazın doğalgaz kalitesine yükseltilmesi ile doğalgaz şebekesine dâhil edilmesi veya sıkıştırılarak motorlu araçlarda biyoyakıt olarak kullanılması sağlanabilir. şekil 2.14'te biyogaz üretim prosesinin genel bir kesiti verilmiştir.



Şekil 2.14. Genel Biyogaz Üretim Prosesinin Şematik Gösterimi [59]

### 2.2.3.1. Biyometan Elde Edilmesi ve Kullanımı

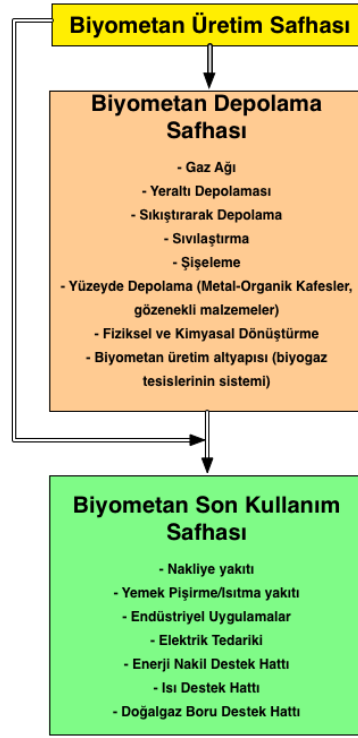
Anaerobik çürüme ile üretilen biyogaz, doğrudan araç yakıtı olarak kullanılamaz veya doğalgaz hattına enjekte edilemez [59]. Öncelikle biyogazın, biyometan formuna yükseltilmesi gerekmektedir. Biyogaz, korozyon riskinin azaltılması için partiküllerden,  $H_2O$  ve  $H_2S$ 'ten arındırılır. Enerji içeriğini artırmak ve yaklaşık 98% metan içeriğine sahip kaliteli bir gaz oluşturmak için biyogaz içindeki karbon dioksit gazı uzaklaştırılır [59]. Karbon dioksit gazının biyogazdan uzaklaştırılması için günümüzde mevcut olan ve sürekli geliştirilen çeşitli teknikler vardır. Bunlardan bazıları; su ile yıkama, basınç salımlı emilim (PSA), polietilen glikol gibi organik çözücülerin kullanıldığı organik fiziksel yıkama, kimyasal yıkama ve membran teknolojisini kullanma gibi tekniklerdir [59].

Biyometan; elektrik üretiminde, ısı üretiminde ve taşıt yakıtı olarak doğrudan kullanılabilen bir yenilenebilir enerji kaynağıdır [41]. Biyometan, doğalgaz ile karıştırılabilir, değiştirilebilir ve doğalgazın uygulandığı her yerde kullanılabilir.

Biyometanın bir diğer önemli kullanım şekli de sıvılaştırılarak enerji yakıtı olarak kullanılmasıdır. LBM (Sıvılaştırılmış biyometan), LNG (Sıvılaştırılmış doğal gaz) gibi kullanılabilir. LBM, 99%'den fazla  $CH_4$  içerirken, LNG'deki  $CH_4$  içeriği 75% civarındadır [60]. LBM'nin en yüksek ısıl değeri yaklaşık 5.8 kWsa/litredir. Böylece LBM fosil yakıtların yerine kullanılabilir. LBM ayrıca yüksek verimli gaz ve termik santrallerinde hammadde ve gaz santrallerinde zirve elektriği olarak da kullanılabilir. Böylece, biyogaz elektrik üretim talebine geniş ölçüde katkı sağlayabilir [60].



Şekil 2.15'te görüldüğü gibi biyometan üretildikten sonra birtakım alternatif teknolojiler kullanılarak hem depolanabilir ve hem de doğrudan kullanılabilir [61].



Şekil 2.15. Biyometan Sistemi Safhaları (Üretimden-Son Kullanıma) [61]

#### 2.2.4. Hayvan Gübresinden Biyogaz Elde Edilmesi

Hayvan çiftlikleri çoğu ülkede tarım sektörünün en önemli parçasıdır ve dünya genelindeki sera gazı emisyonlarının 18%'lik kısmını oluşturmaktadır [41]. Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de çiftlik hayvanlarından kaynaklanan atıklar önemli çevresel problemler yaratmaktadır. Bu atıkların herhangi bir yönetime tabi tutulmadan bertaraf edilmesi veya doğal tarım alanlarına verilmesi, mahsul çeşitliliğini ve kalitesini düşürmekte ve toprağın stabilitesini ve faydalı kullanım özelliklerini bozabilmekte [62] ve zararlı emisyonların oluşmasına neden olmaktadır. Ayrıca bu atıkların uygun olmayan koşullarda depolanması su kirliliği, kötü koku, sinek ve haşere problemleri oluşturarak canlı sağlığını olumsuz etkilemektedir [62].

Sığır, koyun, keçi, tavuk, at, vb. çeşitli hayvan türlerinden oluşan gübreler biyogaz üretimi için kullanılabilir. Bu hayvan gübreleri 10-30% arasında değişen katı madde içerik farklılıkları ile karakterize edilirler [41]. Gübre 25:1'lik karbon-azot oranı ve zengin ve çeşitli besin içeriği sebebiyle anaerobik mikroorganizmaların gelişmesine olanak sağlar ve bu nedenle anaerobik çürüme için ideal bir malzemedir [41]. Hayvan gübrelerinin anaerobik

çürütülmesi Avrupa'da, Asya'da ve Kuzey Amerika'da geniş çaplı uygulanan ve gün geçtikçe daha da artan bir yöntemdir [63]. Çoğu yerde bu yöntem sadece yenilenebilir enerji amacıyla değil buna ek olarak çevreyi korumak ve tarım sistemleri için verimli malzemelerin geri dönüşümü için uygulanmaktadır [63].

Her türlü çiftlik hayvanından biyogaz enerjisi elde edilebilir. Fakat dünyada biyogaz elde etmede en yaygın türler; Sığırlar, domuzlar ve tavuklardır. Bunun başlıca nedeni, gübrenin kolay toplanabilir olması gösterilebilir. Fakat biyogaz üretim verimi yüksek olan diğer tür hayvanlarda dikkate alınmalı ve üretim için gerekli yönetim sistemleri hayata geçirilmelidir.

At ve diğer tek tırnaklı hayvanların gübrelere göre biyogaz üretiminde önemli kriter olan katı madde içerikleri yüksektir. Atın gübresindeki toplam katı madde içeriği 20% veya daha fazladır [64]. Bunun yanı sıra at gübresi çoğunlukla bir atık problemi olarak gözüke de yenilenebilir enerji kaynağı yanında aslında iyi bir toprak ıslah maddesi ve gübredir [64].

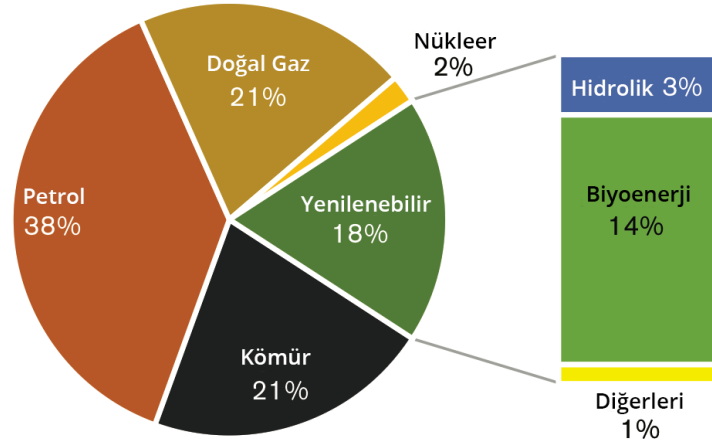
Koyun ve keçi gübrelere; domuz, kümes ve sığır gübrelere gibi benzer kimyasal karakteristik özelliklere sahip gübreler ile karşılaştırıldığında anaerobik çürüme için daha uzun hidrolitik bekletme periyoduna ihtiyaç duyarlar ve bunun sonucu olarak bu hayvanların gübrelere daha az biyogaz üretimi gerçekleşir [65]. Koyun ve keçi gübrelere göre biyogaz üretiminde kullanılması için daha yüksek fermante içeriğine sahip olan sığır gübresi ile karıştırılması daha verimli bir çözümdür [65].

Kümes hayvanı gübresi diğer canlı hayvan türlerinden daha yüksek biyoparçalanabilen organik madde içeriğine sahiptir [66]. Günlük yaş tavuk gübresi üretimi tavuk başına yaklaşık 80-125 gram arasında değişiklik gösterir, bunun 20-25%'si katı madde, katı maddenin 55-65%'si uçucu katılardır ve bu da tavuk gübresini değerli bir enerji üretim kaynağı yapar [67]. Fakat diğer çiftlik hayvanlarının gübre içerikleriyle karşılaştırıldığında kümes hayvanı gübresindeki yüksek azot içeriği ise bu gübreyi anaerobik çürüme için zor bir madde yapmaktadır [68]. Kümes hayvanı atıkları diğer tür hayvan atıklarına göre daha yüksek parçalanabilir organik maddeye sahiptir. Fakat bu atıklardaki organik azot miktarının yine diğer tür hayvan atıklarına nazaran daha yüksek olması biyogaz oluşumunu olumsuz etkilemektedir [69]. Bunun nedeni olarak, azotlu atıkların anaerobik arıtmaya tabii tutulması durumunda amonyak birikimi sebebiyle proses performansında azalmaya sebep olması gösterilebilir [62]. Tavuk gübresi içindeki en büyük azot kaynağı olan amonyağın etkisini azaltmak ve tavuk gübresinden metan üretimini sağlamak için fermentasyon sürecini geliştirmeye yönelik birçok çalışma yapılmaktadır [68].

Büyükbaş hayvan gübreleri, dünyada en çok biyogaz enerjisi elde edilen gübre türüdür. Nedeni ise günlük gübre miktarlarının diğer hayvan türlerine göre daha yüksek olması gösterilebilir. Büyükbaş hayvanları kendi içinde gübre içeriklerine göre de ayırmak gerekir. Örneğin süt sığırları gübrelerinin katı madde miktarları et sığırlarına göre daha düşüktür. Yüksek su ile lif içerikleri nedeniyle anaerobik çürüme işleminden geçen süt sığırları gübrelerinden ton başına 10-20 m<sup>3</sup> arasında düşük oranda metan gazı elde edilir [70]. Lif yüksek düzeyde çürümeye karşı inatçı bir madde olduğundan çürütücüden doğrudan geçer [71]. Bu da elde edilecek metan miktarını azaltır.

### 2.2.5. Dünyada ve Türkiye’de Biyogaz Enerjisi

Çevre üzerinde insanoğlunun olumsuz etkisi ve doğal kaynakların tüketimindeki aşırılık gibi sebepler, küresel ısınma başta olmak üzere büyük ekolojik krizlerin yaşanmasına neden olmuştur. Yaşanan bu ekolojik krizlerin en önemli sebebi, enerji kaynağı olarak fosil yakıtların çok uzun süreler kullanılıyor olmasıdır [72]. 2013 yılı dünyadaki enerji tüketimi dağılımına bakıldığında fosil yakıt oranının 80% olduğu, yenilenebilir enerji tüketim oranının ise 18% olduğu görülmektedir (Şekil 2.16).



Şekil 2.16. Dünyanın 2013 Enerji Tüketim Kaynakları Dağılımı [73]

Son yıllarda şehirler ve hatta kırsal alanlarda yaşayan toplumların enerji ihtiyaçlarının artması nedeniyle dünya pazarında biyogaz enerjisine olan talep ciddi bir şekilde artmaktadır [74]. 2013 yılında dünyadaki biyogaz üretimi 59 milyar m<sup>3</sup>/yıl olarak hesaplanmıştır [73]. Avrupa Birliği ülkelerinin (28 ülke) toplam biyogaz üretimi ise 26.2 milyar m<sup>3</sup>/yıl olarak hesaplanırken, bu oran toplam dünya üretiminin 45%'lik kısmını oluşturmaktadır [73]. Çin ise 2013 yılında ürettiği yaklaşık toplam 15.2 milyar m<sup>3</sup>/yıl biyogaz ile dünyanın en önemli üreticisidir [73]. Yapılan araştırmalara göre, Çin’de 2006 yılında yaklaşık 18 milyon,

Asya'daki bir diğer önemli ülke olan Hindistan'da ise yaklaşık 5 milyon biyogaz tesisinin bulunduğu belirlenmiştir [45]. Fakat Asya'daki biyogaz tesislerinin birçoğu küçük çaplı ve daha basit teknolojiye sahiptir [74]. 2013 yılındaki biyogaz üretiminde dünyadaki ilk 10 ülke Çizelge 2.5'te verilmiştir.

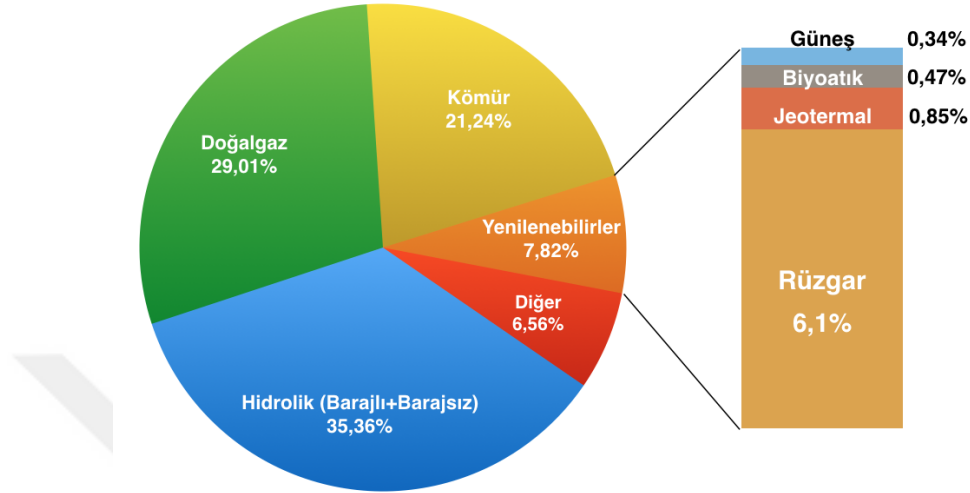
Çizelge 2.5. 2013 yılı Biyogaz Üretiminde Dünyanın ilk 10 Ülkesi [73]

No.	Ülke	Milyar m <sup>3</sup> /yıl
1	Çin	15.2
2	Almanya	13.3
3	ABD	12.3
4	Büyük Britanya	3.54
5	İtalya	3.52
6	Tayland	1.31
7	Çek Cumhuriyeti	1.11
8	Fransa	0.85
9	Hindistan	0.77
10	Avustralya	0.65
<b>Türkiye</b>		<b>0.39</b>
Avrupa Birliği - 28 Ülke		26.2
Dünya		59

Türkiye'de, biyogaz üretimine dönük büyük ve şimdilik geniş ölçüde kullanılmayan bir potansiyel bulunmaktadır [22]. Türkiye'deki biyogaz teknolojisinin gelişimi 1980 öncesi ve sonrası olmak üzere iki farklı zaman periyodunda incelenebilir [75]. 1980 öncesi daha çok biyogaz enerjisi üniversitelerdeki ve resmi kurumlardaki bir kaç kişinin yaptığı araştırmalardan ibaretti ve teknik bilgiler kısıtlıydı [76]. 1980-1986 yılları arasında TOPRAKSU Merkez Araştırma Enstitüsünde biyogaz üzerine birçok çalışma yapılmıştır. 1986'dan 2001 yılına kadar üniversitelerdeki ve resmi kurumlardaki az sayıdaki kişi tarafından yapılan bazı çalışmalar olmasına rağmen, herhangi bir araştırma konseyi kurulmamıştır. Bu nedenden dolayı Türkiye'de biyokütle enerjisi yaygın bir şekilde uygulanamamıştır [77].

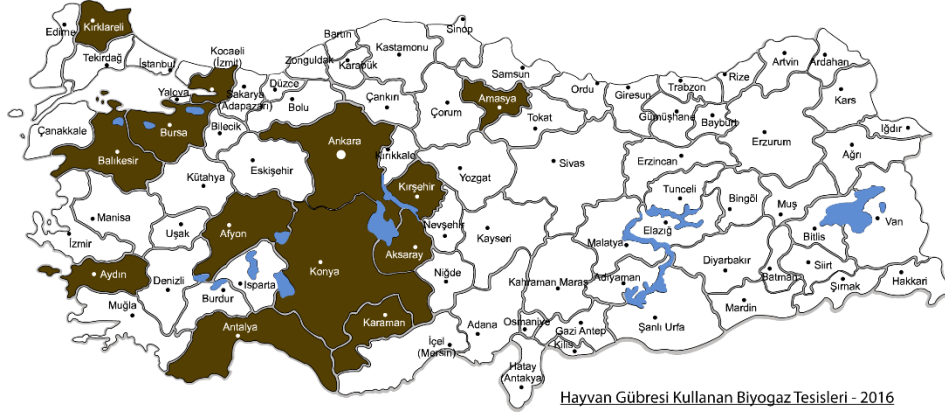
2015 yılı sonu itibarıyla Türkiye'deki enerji kapasitesi kurulu gücü toplam 73.14 bin megavat olarak hesaplanmıştır [78]. Türkiye'nin temel enerji kaynakları ise sırasıyla Hidrolik, Doğalgaz ve Kömür enerjileridir. Biyoatık (atık ısı, biyogaz (çöp gazı), pirolitik yağ) enerjisi kurulu gücü ise 2015 yılı sonu itibarıyla 344.7 mW olarak belirlenmiştir. Bu değer Türkiye'nin toplam enerji kurulu gücünün 0.47%'lik kısmını oluşturmaktadır [41] (Şekil 2.17). 2016 yılı sonu itibarıyla biyoenerji kurulu güç kapasitesi 464.7 mW'a, payı ise

0.59%'a yükselmiştir [79]. Biyogaz teknolojisinde dünyadaki en önemli ülkelerden biri olan Almanya'da, toplam elektrik gücü 2.8 gigavatı bulan yaklaşık 7 bin biyogaz tesisi bulunmaktadır. Bu değer ülkemizdeki üretim kapasitesinin yaklaşık 7.8 katına denk gelmektedir [22].



Şekil 2.17. Türkiye'nin 2015 yılı Enerji Kapasitesinin Kaynaklara Göre Dağılımı [78]

Türkiye'deki biyogaz üretimi yapan tesisler (EK-2) daha çok belediye atıklarının depolandığı katı atık depolama tesislerinde veya atık su arıtma tesislerinde yer almaktadır. Bunun yanında çeşitli büyük gıda kuruluşlarının kendi atıklarını kullanarak enerji geri dönüşümü sağladıkları tesisler ile hayvan çiftliklerindeki gübreleri ve tarım atıklarını kullanan az miktarda tesiste ülkemizde faaliyet göstermektedir. Bu tesislerden hayvan gübresini hammadde olarak kullanan tesis sayısı 2016 yılı sonu itibariyle 15 adet ve toplam enerji kurulu güçleri ise yaklaşık 34.65 mW olarak belirlenmiştir (Şekil 2.18). Fakat bu tesislerin çoğunda hammadde olarak hayvan gübresinin yanında diğer tür organik maddelerde kullanılmaktadır.



Şekil 2.18. Türkiye’deki Hammadde Olarak Hayvan Gübresi Kullanan Biyogaz Tesisleri [80], [81]

2016 yılı itibariyle hayvan gübresini hammadde olarak kullanan biyogaz tesislerinin daha çok İç Anadolu ve Güney Marmara bölgelerinde yoğunlaştığı görülmektedir (Şekil 2.18). Özellikle büyükbaş hayvan sayısı bakımından zengin olan Erzurum, İzmir, Kars ve Diyarbakır gibi illerin yanı sıra kümes hayvanı sayısı bakımından zengin olan Manisa, Bolu, Sakarya ve İzmir gibi illerde hayvan gübresini hammadde olarak kullanan biyogaz tesisleri henüz bulunmamaktadır.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Hayvansal Kaynaklı Sera Gazı Emisyonları Hesaplama Yöntemi

Bu çalışmada hayvansal kaynaklı sera gazları olan  $N_2O$ ,  $CH_4$  ve  $CO_2$  emisyonlarının hesaplamaları yapılırken bu gazların küresel ısınma potansiyelleri sırasıyla karbon dioksit eşdeğeri olarak 310, 21 ve 1 [17] olarak alınmıştır. Hesaplamalarda Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2015 yılı hayvan sayıları [82] baz alınarak tüm büyükbaş, küçükbaş, kümes ve tek tırnaklı hayvanların Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) 2006 [17] kılavuzundaki Tier 1 yöntemine göre emisyon miktarları hesaplanmıştır.

##### 3.1.1. Nitröz Oksit ( $N_2O$ ) Gazı Emisyonları Hesaplama Yöntemi

IPCC 2006 kılavuzu [17] kullanılarak Türkiye'deki büyükbaş, küçükbaş, kümes hayvanları ve tek tırnaklı hayvanların mevcut popülasyonlarından bu hayvanların gübrelerindeki potansiyel  $N_2O$  emisyonu durumu hesaplanmıştır. Türkiye, bu çalışmada IPCC 2006 kılavuzuna göre her ne kadar Orta Doğu ülkesi olarak değerlendirilse de hayvanların fiziksel özelliklerine ve özellikle süt sığırlarının süt üretim miktarlarına (EK-3) bakıldığında kılavuz kriterlerine göre karakteristik olarak Doğu Avrupa ülkesi olarak kabul edilmiş ve tüm değerler, hesaplama tablolarından bu duruma göre seçilip gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Nitröz oksit ( $N_2O$ ) hesaplamaları doğrudan ve dolaylı emisyonlar olmak üzere iki farklı şekilde hesaplanmıştır.

##### 3.1.1.1. Doğrudan Nitröz oksit ( $N_2O$ ) Gazı Emisyonu Hesaplama Yöntemi

Doğrudan  $N_2O$  emisyonları gübre içinde ihtiva eden azotun, nitrifikasyon ve denitrifikasyona uğraması sonucu oluşur [17].

##### Doğrudan $N_2O$ Emisyonu için Tier 1 Yöntemi

Doğrudan  $N_2O$  emisyonları için Tier 1 yöntemi, gübre yönetim sistemindeki her hayvan türünün dışındaki toplam azot atılım miktarı ile yine gübre yönetim sisteminin türüne bağlı olarak değişen emisyon faktörünün birbiriyle çarpılmasına dayalı bir yöntemdir. Bu yöntem IPCC 2006 kılavuzunda her hayvan türü için varsayılan  $N_2O$  emisyon faktörleri, varsayılan azot atılım verileri ve varsayılan gübre yönetim sistemi veri değerlerinin kullanılmasına dayalı bir sistem olarak tanımlanır.

Gübredeki  $N_2O$  miktarı hesaplamasında kullanılan gübrenin azot atılım oranları IPCC 2006 kılavuzunda her hayvan türü için farklı değerler olarak belirlenmiştir ve bu değerler her hayvanın ortalama vücut ağırlıkları ve yine gübrelerin depolanma yeri ve süresine bağlı olarak değişkenlik gösteren emisyon faktörünün birbiriyle çarpılması sonucu elde edilir

(Çizelge 3.1). Emisyon faktörleri, kümes hayvanları için sabit olan 0.001 kg N<sub>2</sub>O-N. (kg N)<sup>-1</sup> alınırken, diğer tüm hayvanlar için en yüksek değer olan 0.002 kg N<sub>2</sub>O-N. (kg N)<sup>-1</sup> alınmıştır. Bir hayvanın ortalama doğrudan N<sub>2</sub>O emisyonu miktarı 3.1 ve 3.2 eşitlikleri yardımıyla hesaplanmıştır.

$$N_2O_{D(mm)} = \left[ \sum_S \left[ \sum_T \left( N_{(T)} \cdot Nex_{(T)} \cdot MS_{(T,S)} \right) \right] \cdot EF_{3(S)} \right] \cdot \frac{44}{28} \quad (3.1)$$

$N_2O_{D(mm)}$  = Doğrudan Nitröz oksit (N<sub>2</sub>O) Emisyon miktarı (kg N<sub>2</sub>O yıl<sup>-1</sup>)

$N_{(T)}$  = Türe göre hayvan sayıları (TÜİK-2015)

$MS_{(T,S)}$  = Her bir hayvan türüne göre farklılık gösteren Gübre Yönetim Sistemindeki yıllık toplam azot atılımı fraksiyonu (Gübre Yönetim Sistemi olarak Katı Depolama sistemi seçilmiştir ve başka bir fraksiyon kullanılmamıştır)

$EF_{3(S)}$  = Doğrudan N<sub>2</sub>O Emisyonları için Emisyon Faktörü (kg N<sub>2</sub>O-N / kg N)

S = Gübre Yönetim Sistemi

T = Hayvan türü/kategorisi

$(N_2O-N)_{(mm)}$  emisyonlarının  $N_2O_{(mm)}$  emisyonlarına dönüşüm sabiti = 44/28

$Nex_{(T)}$  = Hayvan başına yıllık ortalama azot atılım miktarı (kg N.baş<sup>-1</sup>.yıl<sup>-1</sup>)

$$Nex_{(T)} = N_{oran(T)} \cdot \frac{TAM}{1000} \cdot 365 \quad (3.2)$$

$N_{oran(T)}$  = Varsayılan azot atılım oranı (kg N (1000 kg hayvan ağırlığı)<sup>-1</sup>.gün<sup>-1</sup>)

TAM = Hayvan türüne göre tipik hayvan ağırlığı (kg.hayvan<sup>-1</sup>)



Çizelge 3.1. Doğrudan N<sub>2</sub>O Hesaplaması için Kullanılan Parametreler [17], [83]

Hayvan Türü	Standart Azot Atılım Oranı (N) [a]	Ortalama Hayvan Vücut Ağırlığı [b]	Kullanılan Günlük Azot Atılım Oranları	Yıllık Toplam Azot (N) Atılımının Fraksiyonu	Emisyon Faktörü [c]
	$\frac{[\text{kg N} \cdot (1000 \text{ kg hayvan})^{-1}]}{\text{gün}^{-1}}$	kg	$\frac{\text{kg N} \cdot \text{gün}^{-1}}$	%	$[\text{kg N}_2\text{O-N} \cdot (\text{kg N})^{-1}]$
Süt Sığırtı	0.35	550	0.193	100	0.02
Diğer Sığırtılar	0.35	391	0.137	100	0.02
Manda	0.32	380	0.122	100	0.02
Koyun	0.9	48.5	0.044	100	0.02
Keçi	1.28	38.5	0.049	100	0.02
At	0.3	377	0.113	100	0.02
Eşek ve Katır	0.3	130	0.039	100	0.02
Et Tavuğu	1.1	0.9	0.001	100	0.001
Yumurta Tavuğu	0.82	1.8	0.001	100	0.001
Hindi	0.74	6.8	0.005	100	0.001
Ördek+Kaz	0.83	2.7	0.002	100	0.001

[a] Türkiye için IPCC 2006 Kılavuzundaki Doğu Avrupa ülkesi değerleri kullanılmıştır. (2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Chapter 10 : Emissions from Livestock and Manure Management. Table : 10.19. Page : 10.59)

[b] Türkiye için IPCC 2006 Kılavuzundaki Doğu Avrupa ülkesi değerleri kullanılmıştır. (2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Chapter 10 : Emissions from Livestock and Manure Management. Tables : 10A-4, 10A-5, 10A-6, 10A-9)

[c] Gübre Yönetim Sistemi Fraksiyonlara Ayrılmamıştır. Her hayvan türünün tek bir sistemde olduğu varsayılmıştır.

[d] Emisyon faktörü değerleri kümes hayvanları için sabit olan 0.001 değeri kullanılırken diğer hayvanlar için 0.02 (0.005-0.03) değeri kullanılmıştır. (Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Chapter 4 : Agriculture. Table : 4-22 Page : 4-104)

### 3.1.1.2. Dolaylı Nitröz Oksit (N<sub>2</sub>O) Gazı Emisyonu Hesaplama Yöntemi

Dolaylı N<sub>2</sub>O emisyonları oluşumu öncelikli olarak NH<sub>3</sub> ve NO<sub>x</sub> formunda meydana gelen uçucu azot kayıplarından kaynaklanmaktadır.

#### Dolaylı N<sub>2</sub>O Emisyonu için Tier 1 Yöntemi

Gübre yönetim sistemindeki NH<sub>3</sub> ve NO<sub>x</sub> formlarından azotun uçuculuğunun Tier 1 yöntemine göre hesaplanması; her hayvan türüne göre değişen azot atılım miktarı ile uygulanan gübre yönetim sistemine göre belirlenen azot uçuculuk fraksiyonunun çarpılması ile bulunur [17]. Bu hesaplamalarda, gübre yönetim sistemi fraksiyonlara ayrılmamış ve tek bir sistem seçilmiştir. Seçilen gübre yönetim sistemi Katı Depolama sistemidir. Tier 1 yöntemine göre dolaylı N<sub>2</sub>O emisyonu 3.2, 3.3 ve 3.4 eşitlikleri yardımıyla bulunmuştur.

$$N_2O_{G(mm)} = (N_{uçuculuk} - MMS \cdot EF_4) \cdot \frac{44}{28} \quad (3.3)$$

$N_2O_{G(mm)}$  = Dolaylı Nitröz oksit (N<sub>2</sub>O) emisyon miktarı (kg N<sub>2</sub>O yıl<sup>-1</sup>)

$EF_4$  = Topraklarda ve su yüzeylerinde depolanan atmosferik azottan oluşan N<sub>2</sub>O emisyonları için emisyon faktörü (kg N<sub>2</sub>O-N (kg NH<sub>3</sub>-N+NO<sub>x</sub>-N uçabilen)<sup>-1</sup>) (Bu

hesaplama varsayılan değer olarak IPCC 2006 kılavuzları Bölüm 11, Tablo 11-3'te verilen  $0.01 \text{ kg N}_2\text{O-N (kg NH}_3\text{-N+NO}_x\text{-N uçucu hale gelen)}^{-1}$  değeri kullanılmıştır).

$(\text{N}_2\text{O-N})_{(\text{mm})}$  emisyonlarının  $\text{N}_2\text{O}_{(\text{mm})}$  emisyonlarına dönüşüm sabiti =  $44/28$

$N_{\text{uçuculuk-MMS}} = \text{NH}_3$  ve  $\text{NO}_x$  gazlarının uçucu olmaları nedeniyle kayıp olan gübre azotu miktarı ( $\text{kg N yıl}^{-1}$ )

$$N_{\text{uçuculuk - MMS}} = \sum_S \left[ \sum_T \left[ \left( N_{(T)} \cdot Nex_{(T)} \cdot MS_{(T,S)} \right) \cdot \left( \frac{\text{Fraksiyon}_{\text{GazMS}}}{100} \right)_{(T,S)} \right] \right] \quad (3.4)$$

$N_{(T)}$  = Türe göre hayvan sayıları (TÜİK-2015)

$MS_{(T,S)}$  = Her bir hayvan türüne göre farklılık gösteren Gübre Yönetim Sistemindeki yıllık toplam azot atılım fraksiyonu (Bu çalışmada Gübre Yönetim Sistemi olarak Katı Depolama sistemi seçilmiştir ve başka bir fraksiyon kullanılmamıştır)

$\text{Fraksiyon}_{\text{GazMS}}$  = Gübre yönetim sisteminde  $\text{NH}_3$  ve  $\text{NO}_x$  gazlarının uçuculuklarına bağlı olarak hayvan kategorisine göre yönetilen azot gübresinin yüzdesi (%)

$Nex_{(T)}$  = Hayvan başına yıllık ortalama azot atılım miktarı ( $\text{kg N.baş}^{-1}.\text{yıl}^{-1}$ )

$N_{\text{oran (T)}}$  = Varsayılan azot atılım oranı ( $\text{kg N (1000 kg hayvan ağırlığı)}^{-1}.\text{gün}^{-1}$ )

TAM = Hayvan türüne göre tipik hayvan ağırlığı ( $\text{kg.hayvan}^{-1}$ )

Çizelge 3.2. Dolaylı N<sub>2</sub>O Hesaplamasında Kullanılan Parametreler [17]

Hayvan Türü	Standart Azot Atılım Oranı (N) [a]	Ortalama Hayvan Vücut Ağırlığı [b]	Kullanılan Günlük Azot Atılım Oranları	Yıllık Toplam Azot (N) Atılımının Fraksiyonu [c]	NH <sub>3</sub> ve NO <sub>x</sub> 'in uçucukları sonucu Gübre Yönetim Sistemindeki Azot (N) Kaybı Yüzdesi [c]	Emisyon Faktörü [d]
	[kg N.(1000 kg hayvan) <sup>-1</sup> .gün <sup>-1</sup> ]	kg	kg N	%	%	[kg N <sub>2</sub> O-N.(kg N) <sup>-1</sup> ]
Süt Sığırtı	0.35	550	0.193	100	30	0.01
Diğer Sığırlar	0.35	391	0.137	100	45	0.01
Manda	0.32	380	0.122	100	45	0.01
Koyun	0.9	48.5	0.044	100	12	0.01
Keçi	1.28	38.5	0.049	100	12	0.01
At	0.3	377	0.113	100	12	0.01
Eşek ve Katır	0.3	130	0.039	100	12	0.01
Et Tavuğu	1.1	0.9	0.001	100	40	0.01
Yumurta Tavuğu	0.82	1.8	0.001	100	40	0.01
Hindi	0.74	6.8	0.005	100	40	0.01
Ördek+Kaz	0.83	2.7	0.002	100	40	0.01

[a] Türkiye için IPCC 2006 Kılavuzundaki Doğu Avrupa ülkesi değerleri kullanılmıştır. (2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Chapter 10 : Emissions from Livestock and Manure Management. Table : 10.19. Page : 10.59)

[b] Türkiye için IPCC 2006 Kılavuzundaki Doğu Avrupa ülkesi değerleri kullanılmıştır. (2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Chapter 10 : Emissions from Livestock and Manure Management. Tables : 10A-4, 10A-5, 10A-6, 10A-9)

[c] Gübre Yönetim Sistemi Fraksiyonlara Ayrılmamıştır. Her hayvan türünün tek bir sistemde olduğu varsayılmıştır.

[d] Gübre Yönetim Sistemindeki Azot (N) Kaybı Yüzde seçimi için her hayvan türü için Katı Hal Depolama Sistemi varsayılmıştır. (IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Bölüm 10. Tablo : 10-22)

[e] Topraklar ve su yüzeyleri üzerindeki atmosferik azot çökmesine bağlı Nitroz oksit emisyonlarının emisyon faktörü varsayılan değer olan 0.01 alınmıştır. (IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Chapter 11. Table : 11-3)

### 3.1.2. Metan (CH<sub>4</sub>) Gazı Emisyonu Hesaplama Yöntemi

Metan gazı emisyon hesaplamaları, IPCC 2006 kılavuzu ışığında hem enterik fermantasyon ve hem de gübre yönetimi kaynaklı CH<sub>4</sub> emisyonlarının hesaplamalarını kapsamaktadır.

#### 3.1.2.1. Enterik Metan Emisyonu Hesaplama Yöntemi

Metan, ot obur hayvanlarda enterik fermantasyon sürecinin bir ürünü olarak üretilir. Enterik fermantasyon, hayvanın kan dolaşımındaki karbonhidrat moleküllerinin kolay emilmesi için mikroorganizmalar tarafından daha basit moleküllere parçalanması ile sonuçlanan bir sindirim prosesidir [17].

Enterik fermantasyon sonucu açığa çıkan metanın miktarı; Hayvanın sindirim sistemine, yaşına, ağırlığına, beslenme miktarına ve kalitesine bağlıdır.

#### Doğrudan CH<sub>4</sub> Emisyonu için Tier 1 Yöntemi

Bu çalışmada, enterik metan emisyonu hesaplaması IPCC 2006 kılavuzu Tier 1 yöntemine göre yapılmıştır. Hesaplamalarda Türkiye'nin IPCC 2006 kılavuzuna göre Doğu Avrupa Ülkesi kategorisinde değerlendirilmesi uygun görülmüştür. Gerekçe olarak, Türkiye'deki

çiftlik hayvanlarının fiziksel özellikleri ve büyükbaş hayvanların yıllık süt üretim miktarları gösterilebilir.

IPCC 2006 kılavuzunda süt sığırının Afrika ve Orta Doğu ülke kategorisi için süt üretim miktarı ortalama 475 kg/baş/yıldır. Fakat TÜİK 2015 verileri ışığında ülkemizdeki süt sığırlarının süt üretim miktarı yıllık ortalama 3058 kg/baş/yıl olarak hesaplanmıştır (EK-3). Bu kılavuza göre Doğu Avrupa ülke kategorisi için süt üretim miktarı ortalama 2550 kg/baş/yıldır.

Bu önemli kriter ışığında Türkiye'deki hayvan özellikleri göz önüne alınmış ve IPCC 2006 kılavuzuna göre Türkiye'deki hayvanların fiziksel özellikleri bakımından Doğu Avrupa ülke kategorisi içinde değerlendirilmesi daha uygun olduğu görülmüş ve hesaplamalardaki en önemli kriter olan emisyon faktörü değerleri bu kritere göre seçilmiştir (Çizelge 3.3). Enterik metan emisyonları 3.5 eşitliği yardımıyla hesaplanmıştır.

$$Emisyonlar = EF_{(T)} \cdot \left( \frac{N_{(T)}}{10^6} \right) \quad (3.5)$$

Emisyonlar = Enterik Fermantasyon kaynaklı Metan (CH<sub>4</sub>) emisyonları (10<sup>3</sup> ton CH<sub>4</sub>.yıl<sup>-1</sup>)

EF<sub>(T)</sub> = Hayvan türüne göre belirlenen emisyon faktörü ( kg CH<sub>4</sub>.baş<sup>-1</sup>.yıl<sup>-1</sup>)

T = Hayvan türü/kategorisi

Çizelge 3.3. IPCC 2006 - Tier 1 Yöntemi için Enterik Fermantasyon Emisyon Faktörleri [17]

Hayvan Türü	Emisyon Faktörü (EF)
	kg CH <sub>4</sub> baş <sup>-1</sup> yıl <sup>-1</sup>
Süt Sığırı	99*
Diğer Sığırlar	58*
Manda	55
Koyun	8
Keçi	5
At	18
Eşek ve Katır	10
* IPCC 2006 kılavuzuna göre Doğu Avrupa ülkesi değerleri alınmıştır	

### 3.1.2.2. Gübredeki Metan Emisyonu Hesaplama Yöntemi

Bu çalışmada gerek gübre yönetimi kaynaklı N<sub>2</sub>O emisyonu, ve gerekse de enterik fermantasyon kaynaklı CH<sub>4</sub> emisyonu hesaplamalarında Türkiye, IPCC 2006 kılavuzuna göre Doğu Avrupa ülke kategorisinde değerlendirilmiştir. Bunun nedeni olarak her iki emisyon hesaplamasında da belirleyici kriter olan emisyon faktörünün, doğrudan hayvanların ağırlıklarına ve gübre miktarlarına bağlı olmasıdır.

Gübre yönetimi kaynaklı CH<sub>4</sub> emisyonu hesaplamasında Tier 1 yöntemine göre emisyon faktörü, gübrelerin depolandığı veya muhafaza edildiği yerin fiziksel (kapalı veya açık ortam) ve sıcaklık koşullarına bağlıdır. Türkiye'deki hayvan gübrelerinin depolanma şekline bakıldığında ve ülkemizin gübre yönetimi konusunda gelişmiş ülkelere nazaran henüz daha gelişmekte olan ülkeler arasında olması sebebiyle gübre yönetimi kaynaklı CH<sub>4</sub> emisyonu hesaplaması yapılırken Türkiye'nin IPCC 2006 kılavuzunda Orta Doğu ülke kategorisinde değerlendirilmesinin daha gerçekçi bir yaklaşım olduğu düşünülmüştür.

Gerekçe olarak, IPCC 2006 kılavuzunda gübre yönetimi kaynaklı metan emisyonları için Orta Doğu ülke kategorisinin karakteristik gübre yönetimi özelliklerinde, büyükbaş hayvan gübrelerinin yaklaşık 3'te 2'sinden fazlasının otlak-çayır alanlarında katı depolama şeklinde depolandığı belirlenmiştir. Bu kategorideki ülkelerin gübre yönetimi kaynaklı metan emisyonları miktarı minimum düzeydedir. Bu çalışmada Türkiye'nin gübre yönetimi kaynaklı metan emisyonları açısından gübre yönetim sistemi Orta Doğu ülke kategorisinde değerlendirilmiştir.

IPCC 2006 Tier 1 yöntemine göre metan gazı emisyonu hesaplanmasında;

1. Her hayvan için yıllık popülasyon bilgilerine gereksinim duyulacağı için TÜİK'ten 2015 yılı hayvan sayıları alınmıştır.
2. Sıcaklık faktörü önemli bir kriter olduğundan, MGM verileri kullanılarak Türkiye'deki illerin son 65 yıllık (1950-2015) sıcaklık verileri belirlenmiştir (Çizelge 3.4).
3. Emisyon faktörü (EF); hayvanın türü ve hayvanın bulunduğu sıcaklık koşullarına bağlıdır(Çizelge 3.5).
4. Belirlenen emisyon faktörlerine bağlı olarak gübre yönetimi kaynaklı metan emisyon miktarları 3.6 eşitliği yardımıyla bulunmuştur.

$$CH_{4\text{ Gübre}} = \sum_{(T)} \frac{(EF_{(T)} \cdot N_{(T)})}{10^6} \quad (3.6)$$

$CH_4_{Gübre} = \text{Gübre yönetimi kaynaklı Metan emisyonları (10}^3 \text{ ton CH}_4 \cdot \text{yıl}^{-1})$

$EF_{(T)} = \text{Emisyon Faktörü (kg CH}_4 \cdot \text{baş}^{-1} \cdot \text{yıl}^{-1})$

$N_{(T)} = \text{Türe göre hayvan sayıları (TÜİK-2015)}$

$T = \text{Hayvan türü/kategorisi}$

Çizelge 3.4. Türkiye'nin İl Bazlı 65 yıllık (1950-2015) Ortalama Sıcaklık Değerleri [84]

İl	Ort. Sıcaklık (1950-2015)	İl	Ort. Sıcaklık (1950-2015)	İl	Ort. Sıcaklık (1950-2015)	İl	Ort. Sıcaklık (1950-2015)
	°C		°C		°C		°C
Adana	19.1	Çanakkale	15.1	Karabük	13.4	Osmaniye	18.4
Adıyaman	17.3	Çankırı	11.3	Karaman	12.0	Rize	14.3
Afyon	11.3	Çorum	10.8	Kars	4.8	Sakarya	14.5
Ağrı	6.2	Denizli	16.2	Kastamonu	9.8	Samsun	14.5
Aksaray	12.1	Diyarbakır	15.8	Kayseri	10.7	Siirt	16.1
Amasya	13.8	Düzce	13.3	Kırıkkale	12.6	Sinop	14.2
Ankara	12.0	Edirne	13.7	Kırklareli	13.3	Sivas	9.1
Antalya	18.6	Elazığ	13.1	Kırşehir	11.4	Şanlıurfa	18.4
Ardahan	3.8	Erzincan	11.0	Kilis	17.1	Şırnak	14.7
Artvin	12.3	Erzurum	5.6	Kocaeli	14.9	Tekirdağ	14.1
Aydın	17.7	Eskişehir	11.0	Konya	11.6	Tokat	12.5
Balıkesir	14.6	Gaziantep	14.9	Kütahya	10.8	Trabzon	14.8
Bartın	12.8	Giresun	14.5	Malatya	13.7	Tunceli	12.8
Batman	16.4	Gümüşhane	9.7	Manisa	17.0	Uşak	12.5
Bayburt	7.0	Hakkâri	10.3	Mardin	16.1	Van	9.2
Bilecik	12.5	Hatay	18.3	Mersin	19.1	Yalova	14.7
Bingöl	12.1	Iğdır	12.1	Muğla	15.1	Yozgat	9.1
Bitlis	9.5	Isparta	12.2	Muş	9.8	Zonguldak	13.7
Bolu	10.5	İstanbul	13.9	Nevşehir	10.7		
Burdur	13.3	İzmir	17.9	Niğde	11.1		
Bursa	14.6	K.Maraş	16.9	Ordu	14.3		

Çizelge 3.5. IPCC 2006 - Tier 1 Yöntemi için Sıcaklık Değerleri ile Değişen Gübre Yönetimi Metan Emisyonu Faktörü [17]

Hayvan Türü	Emisyon Faktörü		
	kg CH <sub>4</sub> baş <sup>-1</sup> yıl <sup>-1</sup>		
	<15°C	15°C - 25°C	>25°C
Süt Sığırtı*	2	2	3
Diğer Sığırtılar*	1	1	1
Manda*	4	5	5
Koyun	0.1	0.15	0.2
Keçi	0.11	0.17	0.22
At	1.09	1.64	2.19
Eşek ve Katır	0.6	0.9	1.2
Et Tavuğu	0.01	0.02	0.02
Yumurta Tavuğu	0.01	0.02	0.02
Hindi	0.01	0.02	0.02
Ördek+Kaz	0.01	0.02	0.02

\*IPCC 2006 kılavuzuna göre Orta Doğu ülkesi değerleri alınmıştır

### 3.2. Biyogaz Enerjisi Potansiyeli Hesaplama Yöntemi

Bu çalışmada iki farklı senaryo üzerinden biyogaz potansiyeli hesaplamaları yapılmıştır. Birinci senaryoda gübre toplanabilirlik oranı 100% varsayılmış ve bunun sonucu olarak Türkiye'nin hayvansal gübre kaynaklı teorik biyogaz enerjisi potansiyeli hesaplanmıştır. Teorik potansiyel, belirlenmiş alan içerisindeki tüm biyokütleden sağlanabilecek biyoenerji potansiyelini ifade eder [5]. İkinci senaryoda ise her hayvan türü için belirlenen toplanabilir gübre oranları dâhil edilerek uygulanabilir biyogaz enerjisi potansiyeli hesaplanmıştır. Uygulanabilir potansiyel ise biyoenerjinin beklenen mevcut potansiyelini ifade eder [5].

Bu hesaplamalarda kullanılan materyaller başlıca şöyledir;

1. TÜİK 2015 il bazlı büyükbaş, küçükbaş, kümes ve tek tırnaklı hayvan sayıları,
2. IPCC 2006 kılavuzu Doğu Avrupa ülkesi standart hayvan ağırlıkları,
3. ASAE (Amerikan Ziraat Mühendisleri Topluluğu) standart gübre miktarları ve gübredeki katı ve uçucu katı içerikleri,
4. Farklı türdeki hayvan grupları için biyogaz verimlilikleri
5. Biyogaz içindeki metan yüzdesi (tipik değer alınmıştır.)
6. İkinci senaryo için her hayvan türünün gübre toplama oranları [7], [85].

Bu hesaplamalarda kullanılan parametreler Çizelge 3.6 ve Çizelge 3.7'de verilmiştir.

Çizelge 3.6. Biyogazın Özellikleri

1 m <sup>3</sup> Biyogazdaki CH <sub>4</sub> İçeriği	60%
1 m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> Isıl Değeri	35800 KJ.(m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>
1 m <sup>3</sup> Biyogaz içindeki CH <sub>4</sub> Isıl Değeri	21480 KJ.(m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>
	21.48 MJ.(m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>
3,6 MJ	1 kilovatsaat
21,48 MJ.(m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>	5.97 kilovatsaat.(m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>
Biyometan Elektrik Verimliliği	35%
1 m <sup>3</sup> Biyometanın Elektrik Potansiyeli	2.09 kilovatsaat

Çizelge 3.7. Biyogaz Enerjisi Hesaplamalarında Kullanılan Hayvan Gübresinin Özellikleri [17],[86],[87],[85]

Hayvan Adı	Hayvan Ağırlığı[17] kg	Gübre Miktarı[86] kg.baş.gün <sup>-1</sup>	Gübredeki Katı İçeriği[86]		Gübredeki Uçucu Katı İçeriği[86]		Gübrenin Biyogaz Verimliliği [87] m <sup>3</sup> .kg <sup>-1</sup>	Toplanabilir Hayvan Gübresi Oranları*[85],[7] %
			%	kg.baş.gün <sup>-1</sup>	%	kg.baş.gün <sup>-1</sup>		
Süt Sığırtı	550	47.30	14.0	6.60	83.3	5.50	0.30	50
Diğer Sığırtılar	391	22.68	14.7	3.32	84.7	2.82	0.30	50
Manda	380	22.04	14.7	3.23	84.7	2.74	0.30	50
Koyun	48.5	1.94	27.5	0.53	83.6	0.45	0.20	13
Keçi	38.5	1.58	31.7	0.50	73.1	0.37	0.20	13
At	377	19.23	29.4	5.66	66.7	3.77	0.30	29
Eşek ve Katır	130	6.63	29.4	1.95	66.7	1.30	0.30	29
Et Tavuğu	0.9	0.08	25.9	0.02	77.3	0.02	0.51	99
Yumurta Tavuğu	1.8	0.12	25.0	0.03	75	0.02	0.51	99
Hindi	6.8	0.32	25.5	0.08	75.8	0.06	0.51	26
Ördek ve Kaz	2.7	0.30	28.2	0.08	61.3	0.05	0.51	22

\* Toplanabilir hayvan gübresi oranları senaryo-2 hesaplaması için uygulanmıştır.

### 3.3. Türkiye’deki Çiftlik Hayvanlarının ve Gübrelerinin Özellikleri

Bu çalışmadaki hayvansal sera gazı emisyonları IPCC 2006 kılavuzu Tier 1 yöntemine göre hesaplanmıştır. Türkiye coğrafi olarak Doğu Avrupa ile Orta Doğu arasında kalan bir ülkedir. Bu nedenle her iki coğrafi bölgenin özelliklerini aynı anda barındırabilir. Kılavuza göre, hayvansal kaynaklı sera gazı emisyonlarının belirlenmesinde hayvanların fiziksel özellikleri ile hayvan gübrelerinin depolanma koşulları belirleyici faktörlerdir. Bu nedenle kılavuzda bu kriterler için ülkelerin bulunduğu coğrafi koşullara göre sınıflandırma yapılmıştır.

Bu çalışmada IPCC 2006 kılavuzuna göre Türkiye, sera gazı emisyonları hesaplamalarında, hayvan ağırlıklarının belirleyici faktör olduğu enterik metan emisyonları ve gübre yönetimi kaynaklı N<sub>2</sub>O emisyonları hesaplamalarında Doğu Avrupa ülke kategorisinde değerlendirilmiş iken hayvan gübrelerinin depolanma şeklinin ve depolandığı ortamın sıcaklık koşullarının belirleyici faktör olduğu gübre yönetimi kaynaklı CH<sub>4</sub> emisyonları hesaplamalarında Orta Doğu ülke kategorisinde değerlendirilmiştir.

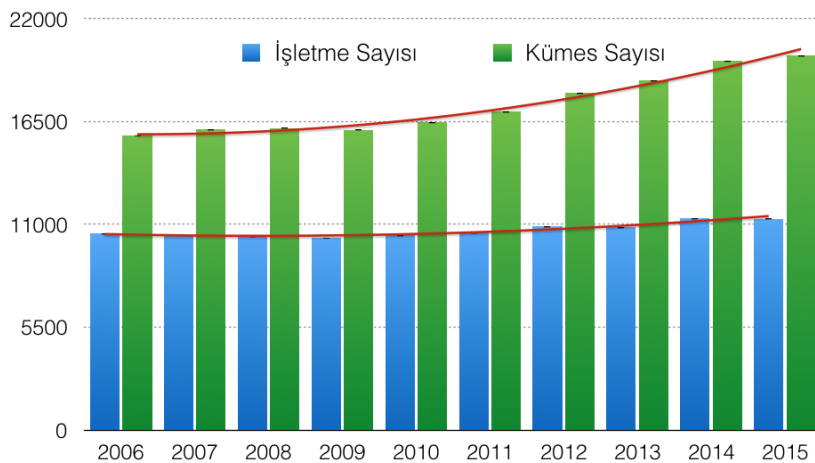
Bu çalışmadaki hayvan gübresi kaynaklı biyogaz enerjisi potansiyeli iki farklı senaryo üzerinden hesaplanmıştır. Birinci senaryoda gübre toplanabilirlik oranı 100% varsayılmış ve bunun sonucu olarak Türkiye’nin hayvansal gübre kaynaklı teorik biyogaz enerjisi



potansiyeli hesaplanmıştır. İkinci senaryoda ise her hayvan türü için belirlenen toplanabilir gübre oranları dâhil edilerek uygulanabilir biyogaz enerjisi potansiyeli hesaplanmıştır.

Ticari üretim sistemlerinde hayvanlar genellikle kapalı bir ortamda tutulurlar. Bu nedenle, böyle bir sistemde üretilen tüm gübreler toplanabilir. Fakat küçük ölçekli çiftliklerde veya köy yerlerinde yetiştirilen hayvanların sürekli kapalı bir ortamda tutulması her zaman mümkün olmaz ve hatta tercih edilmez. Böyle bir ortamda yetiştirilen hayvanlar zamanlarının önemli bir kısmını mera alanları gibi açık alanlarda geçirirler. Bu nedenden dolayı, gübrelerin büyük bir kısmı arazide depolanmakta ve toplanması güç olmaktadır [85].

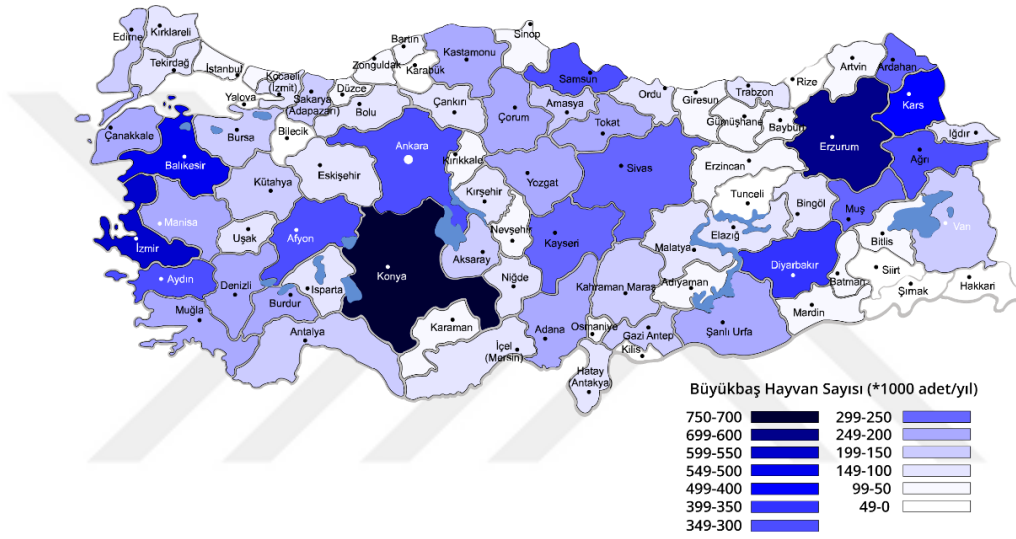
Farklı hayvan türlerine göre değişen bu oranlar, Türkiye için yapılan birçok akademik çalışmada benzerlik göstermektedir. Genel olarak birçok çalışmada kullanılan toplanabilir gübre oranları; büyükbaş hayvanlar için 50%, küçükbaş hayvanlar için 13% ve kümes hayvanları için ise 99% olarak belirtilmektedir. Bu çalışmadaki uygulanabilir biyogaz enerjisi potansiyelinin belirlendiği ikinci senaryo hesaplamalarında, Ekinci vd. (2010)'nin yapmış oldukları çalışmadaki [85] toplanabilir hayvan gübresi oranları kullanılmıştır. Ekinci vd. (2010)'ne göre Türkiye'deki et tavuğu ve yumurta tavuğu için kullanılan toplanabilir gübre oranları sırasıyla 19% ve 13% 'tür. Fakat son yıllarda Türkiye'deki mevcut tavuk üretim tesisi ve kümes sayısının arttığı (Şekil 3.1) ve bununla paralel olarak tavuk gübresi toplanabilirliğinin daha kolaylaşmış olması göz önüne alındığında bu oranların düşük olduğu sonucuna varılabilir. Bu nedenden dolayı uygulanabilir biyogaz enerjisi potansiyeli hesaplamasında et ve yumurta tavuğu için gübre toplanabilirlik oranı diğer birçok akademik çalışmada olduğu gibi 99% alınmıştır.



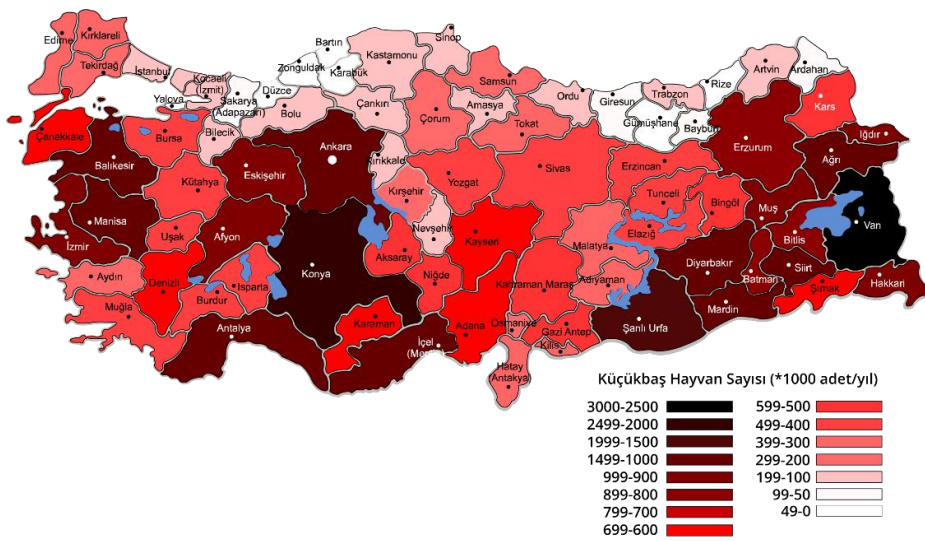
Şekil 3.1. Türkiye'deki Kanathı Hayvan İşletme ve Kümes Sayılarının Yıllara Göre Değişimi [88]

#### 4. TÜRKİYE’NİN HAYVANSAL KAYNAKLI SERA GAZI EMİSYONLARININ VE BİYOGAZ POTANSİYELİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

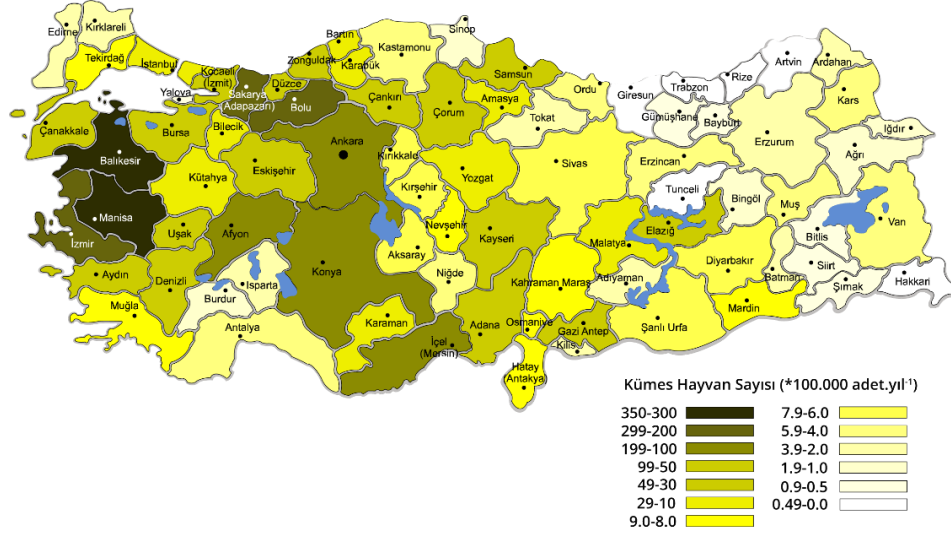
Hayvansal kaynaklı sera gazları olan N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> ve CO<sub>2</sub> emisyon miktarları ile çeşitli çiftlik hayvanlarının gübrelerinden elde edilebilecek biyogaz enerjisi potansiyelinin hesaplanmasında en önemli kriter olan hayvan sayıları TÜİK 2015 [82] verileri kullanılarak elde edilmiştir. Hesaplanan il bazlı hayvan sayıları EK-1’de verilmiştir. Her hayvan türünün il bazlı dağılımları ise Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4 ‘te gösterilmiştir.



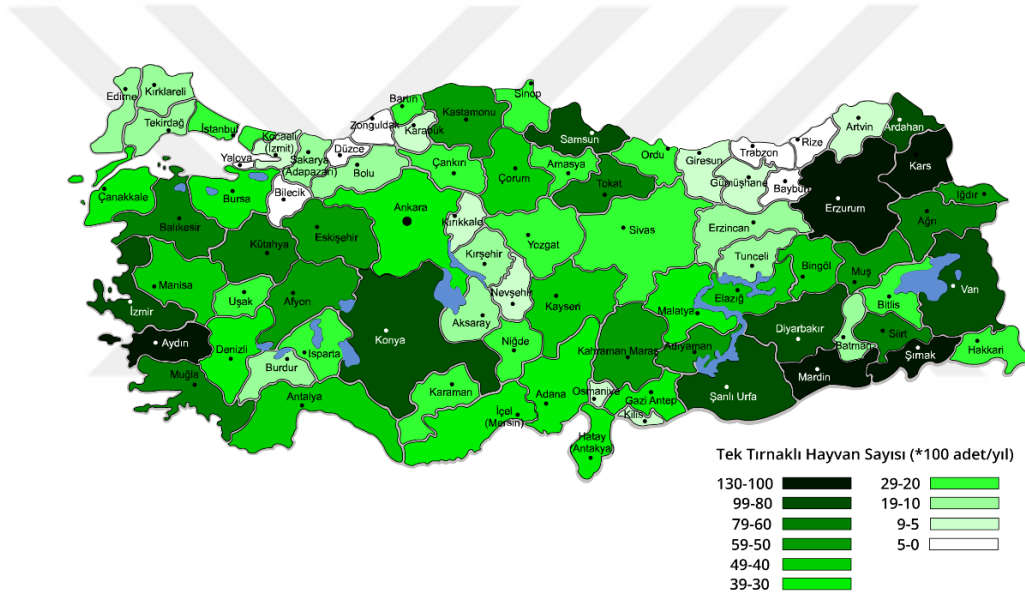
Şekil 4.1. Türkiye'nin 2015 yılı İl Bazlı Hesaplanan Büyükbaş Hayvan Sayısı Dağılımı[82]



Şekil 4.2. Türkiye'nin 2015 yılı İl Bazlı Hesaplanan Küçükbaş Hayvan Sayısı Dağılımı[82]



Şekil 4.3. Türkiye'nin 2015 yılı İl Bazlı Hesaplanan Kümes Hayvanları Sayısı Dağılımı[82]



Şekil 4.4. Türkiye'nin 2015 yılı İl Bazlı Hesaplanan Tek Tırnaklı Hayvan Sayısı Dağılımı[82]

TÜİK 2015 hayvan sayısı dağılımlarına bakıldığında Konya ilinin her tür çiftlik hayvanı sayısında önemli bir şehir olduğu görülmektedir. Bunun nedenleri olarak, Konya ilinin yüzölçümü bakımından Türkiye'nin en büyük ili olması, kırsal hayvan yetiştiriciliği için uygun iklim ve coğrafi koşullara sahip olması ve hayvan üretim tesislerinin fazla olması gösterilebilir. TÜİK 2015 hayvan sayıları verilerine göre;

- Büyükbaş hayvan sayısı sıralamasında; Konya, Erzurum, İzmir, Balıkesir ve Kars illeri (Şekil 4.1),

- Küçükbaş hayvan sayısı sıralamasında; Van, Konya, Şanlıurfa, Ağrı ve Mersin illeri (Şekil 4.2),
- Kümes hayvan sayısı sıralamasında; Manisa, Balıkesir, Bolu, Sakarya ve İzmir illeri (Şekil 4.3) ve
- Tek tırnaklı hayvan sayısı sıralamasında ise Kars, Aydın, Şırnak, Erzurum ve Mardin illeri ön plana çıkmaktadır (Şekil 4.4).

Çizelge 4.1. Türkiye'nin 2015 yılı İl Bazlı Hayvan Sayısı Sıralaması[82]

Büyükbaş Hayvan			Küçükbaş Hayvan		Kümes Hayvanı		Tek Tırnaklı Hayvan	
No.	İl	10 <sup>3</sup> .Adet	İl	10 <sup>6</sup> .Adet	İl	10 <sup>6</sup> .Adet	İl	10 <sup>3</sup> .Adet
1	Konya	740.15	Van	2.70	Manisa	32.35	Kars	12.76
2	Erzurum	641.81	Konya	2.12	Balıkesir	31.05	Aydın	11.23
3	İzmir	562.15	Şanlıurfa	1.75	Bolu	29.06	Şırnak	10.93
4	Balıkesir	526.64	Ağrı	1.39	Sakarya	21.59	Erzurum	10.64
5	Kars	442.58	Mersin	1.32	İzmir	20.02	Mardin	10.03
6	Diyarbakır	371.39	Diyarbakır	1.21	Afyon	18.96	Şanlıurfa	9.83
7	Afyon	347.78	Antalya	1.08	Mersin	18.44	İzmir	9.48
8	Ankara	340.11	Ankara	1.06	Ankara	15.16	Diyarbakır	8.83
9	Aydın	337.22	Siirt	1.03	Konya	12.39	Konya	8.66
10	Ağrı	327.07	Manisa	1.03	Bursa	9.98	Van	8.63
	<b>Türkiye</b>	<b>14127.84</b>		<b>41.92</b>		<b>316.33</b>		<b>320.39</b>

#### 4.1. Türkiye'deki Hayvansal Kaynaklı Sera Gazı Emisyonları Sonuçları

Sera gazı emisyonları IPCC 2006 kılavuzu Tier 1 yöntemine göre hesaplanmıştır. Tier 1 yöntemi sera gazı hesaplamalarında ülkeler için varsayılan değerlerin kullanıldığı bir yöntemdir (2.1.5'e bakınız).

##### 4.1.1. Hesaplanan Nitröz Oksit (N<sub>2</sub>O) Gazı Emisyonları Sonuçları

Türkiye'de hayvansal gübre kaynaklı toplam N<sub>2</sub>O emisyonu 2015 yılı için yaklaşık 15.30 bin ton/yıldır (Çizelge 4.2). N<sub>2</sub>O gazının CO<sub>2</sub>'den 310 kat daha fazla atmosferik etkisi olduğu düşünüldüğünde yılda yaklaşık 4.74 milyon ton/yıl CO<sub>2</sub> eşdeğerinde bir emisyon salınımı olduğu hesaplanmıştır. En fazla emisyon yaklaşık 782 ton/yıl ile Konya ilinde oluşmaktadır. Bunun nedeni olarak doğrudan hayvan sayısı ve bu hayvanların ürettikleri gübre miktarı fazlalığı ile açıklanabilir. Özellikle büyükbaş hayvanların günlük oluşturdukları gübre (idrar ve dışkı) miktarları diğer tür hayvanlardan fazla olması ve Konya'nın büyükbaş hayvan sayısı bakımından (Çizelge 4.1) ilk sırada yer alması, hayvan gübresi kaynaklı N<sub>2</sub>O emisyon oranının en fazla olduğu ilimiz olduğunu göstermektedir (Çizelge 4.2).

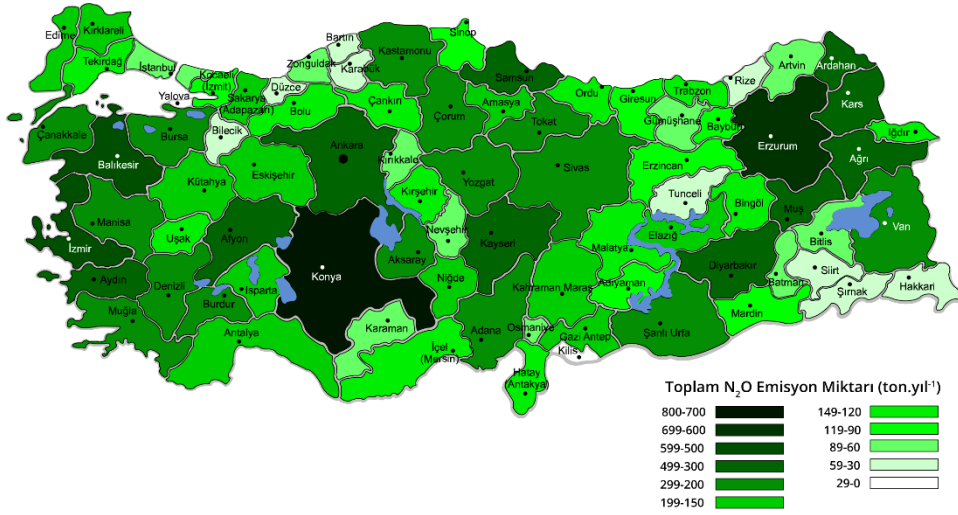
Çizelge 4.2. Türkiye'nin 2015 yılı İl Bazlı Hesaplanan Hayvansal Gübre Kaynaklı Toplam N<sub>2</sub>O Emisyonu Miktarları

No.	İl	N <sub>2</sub> O Emisyon Miktarı			CO <sub>2</sub> Eşdeğeri	
		Doğrudan N <sub>2</sub> O Emisyonu	Dolaylı N <sub>2</sub> O Emisyonu	Toplam	Kg N <sub>2</sub> O gün <sup>-1</sup>	Ton CO <sub>2</sub> e yıl <sup>-1</sup>
		<u>Ton N<sub>2</sub>O yıl<sup>-1</sup></u>			<u>Kg N<sub>2</sub>O gün<sup>-1</sup></u>	<u>Ton CO<sub>2</sub>e yıl<sup>-1</sup></u>
1	Konya	665	117	782	2143	242482
2	Erzurum	562	101	663	1816	205434
3	İzmir	507	89	597	1635	185018
4	Balıkesir	467	83	550	1508	170619
5	Kars	415	71	486	1331	150648
6	Diyarbakır	332	58	391	1070	121118
7	Ağrı	310	53	363	993	112379
8	Afyon	304	54	358	981	111010
9	Aydın	289	52	341	934	105713
10	Ankara	287	52	339	930	105226
11	Muş	276	47	323	886	100201
12	Ardahan	267	47	314	860	97285
13	Samsun	260	48	308	843	95348
14	Kayseri	253	46	299	819	92719
15	Sivas	252	43	295	807	91313
16	Şanlıurfa	234	37	271	742	84007
17	Yozgat	218	39	256	702	79461

No.	İl	N <sub>2</sub> O Emisyon Miktarı			CO <sub>2</sub> Eşdeğeri	
		Doğrudan N <sub>2</sub> O Emisyonu	Dolaylı N <sub>2</sub> O Emisyonu	Toplam	Ton N <sub>2</sub> O yıl <sup>-1</sup>	Ton CO <sub>2</sub> e yıl <sup>-1</sup>
18	Denizli	218	39	256	702	79416
19	Tokat	213	38	251	688	77802
20	Manisa	214	36	251	687	77738
21	Van	212	30	243	665	75195
22	Kastamonu	205	37	242	663	75033
23	Çanakkale	197	34	231	633	71614
24	Adana	196	34	229	628	71087
25	Burdur	191	33	224	613	69311
26	Çorum	186	34	220	603	68201
27	Muğla	182	32	214	587	66467
28	Aksaray	182	30	212	581	65733
29	Bursa	175	31	206	563	63718
30	K.Maraş	163	28	191	524	59236
31	Kütahya	161	28	189	517	58501
32	Antalya	156	25	182	498	56320
33	Niğde	148	24	172	473	53465
34	Amasya	145	27	172	471	53300
35	Edirne	146	25	171	469	53102
36	Gaziantep	140	24	165	451	51083
37	Kırklareli	138	24	162	442	50067
38	Sakarya	136	25	161	440	49822
39	Elazığ	137	23	160	438	49596
40	Isparta	131	23	153	420	47565
41	Eskişehir	131	21	152	416	47071
42	Tekirdağ	126	22	148	405	45845
43	Uşak	121	21	142	390	44167
44	Mersin	124	18	142	390	44075
45	Malatya	121	21	142	388	43917
46	Trabzon	120	21	141	386	43728
47	Iğdır	121	19	140	384	43477
48	Bolu	116	21	137	376	42514
49	Bingöl	115	19	134	368	41611
50	Kırşehir	112	21	134	366	41438
51	Ordu	113	20	133	365	41272
52	Hatay	113	20	133	363	41098
53	Çankırı	110	20	130	357	40425
54	Mardin	101	15	116	319	36046
55	Kocaeli	90	17	107	293	33152
56	Erzincan	91	15	107	292	33072
57	Sinop	86	15	101	277	31333

No.	İl	N <sub>2</sub> O Emisyon Miktarı			CO <sub>2</sub> Eşdeğeri	
		Doğrudan N <sub>2</sub> O Emisyonu	Dolaylı N <sub>2</sub> O Emisyonu	Toplam	Kg N <sub>2</sub> O gün <sup>-1</sup>	Ton CO <sub>2</sub> e yıl <sup>-1</sup>
		Ton N <sub>2</sub> O yıl <sup>-1</sup>				
58	Adıyaman	84	14	98	268	30294
59	Giresun	77	14	91	248	28100
60	Bayburt	77	14	90	247	27951
61	İstanbul	73	13	86	234	26507
62	Bitlis	70	10	80	220	24884
63	Karaman	68	10	78	215	24276
64	Batman	68	10	78	214	24196
65	Nevşehir	65	12	77	211	23827
66	Gümüşhane	64	12	76	208	23566
67	Osmaniye	64	11	75	205	23238
68	Zonguldak	59	11	70	191	21597
69	Kırıkkale	54	10	64	176	19908
70	Artvin	52	9	61	166	18828
71	Hakkâri	52	7	59	161	18248
72	Düzce	46	8	54	149	16875
73	Şırnak	47	6	54	147	16626
74	Bartın	45	8	53	145	16455
75	Siirt	44	5	49	134	15128
76	Karabük	36	7	43	118	13329
77	Tunceli	36	5	42	114	12934
78	Bilecik	34	6	40	109	12334
79	Rize	26	5	30	83	9397
80	Kilis	17	2	19	51	5823
81	Yalova	9	2	11	30	3436
	<b>Türkiye</b>	<b>13050</b>	<b>2258</b>	<b>15308</b>	<b>41939</b>	<b>4745353</b>

Çizelge 4.1’de görüldüğü gibi Türkiye’deki hayvan gübresi kaynaklı toplam yıllık N<sub>2</sub>O emisyonu 15 bin tonun üzerindedir. Şekil 4.5 ‘te görüldüğü gibi Batı Karadeniz, Doğu Karadeniz ve Doğu Anadolu Bölgesinin güney kısımları hariç Türkiye’nin tüm coğrafi bölgelerinde N<sub>2</sub>O emisyon miktarı bu bölgelere göre yüksek ve eşit bir dağılım göstermektedir. Özellikle Konya, Erzurum, İzmir, Balıkesir ve Kars gibi büyükbaş ve küçükbaş hayvancılığın gelişmiş olduğu illerde doğru bir gübre yönetimi sistemiyle bu emisyon miktarlarının azaltılabilmesi mümkündür.



Şekil 4.5. Türkiye'nin 2015 yılı İl Bazlı Hesaplanan Hayvansal Gübre Kaynaklı Toplam N<sub>2</sub>O Emisyon Miktarı Dağılımı

#### 4.1.2. Hesaplanan Metan (CH<sub>4</sub>) Gazı Emisyonları Sonuçları

Metan gazı emisyonları daha öncede belirtildiği üzere kümes hayvanları hariç tüm çiftlik hayvanlarının sindirimleri sırasında meydana gelen reaksiyon sonucu (enterik fermantasyon) ve uygun koşullar altında bekleyen gübrelerden ortaya çıkar. IPCC 2006 kılavuzu Tier 1 yöntemine göre yapılan hesaplamalarda Türkiye'nin 2015 yılı metan emisyonu miktarı toplam yaklaşık 1.38 milyon tondur. Bu da yaklaşık 29.1 milyon ton/yıl CO<sub>2</sub>'e eşdeğerdir. Konya 71.6 bin ton/yıl ile en fazla hayvansal kaynaklı metan emisyonu üreten il olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3. Türkiye'nin 2015 yılı İl Bazlı Hesaplanan Hayvansal Kaynaklı CH<sub>4</sub> Emisyonu Miktarları

No.	İl	CH <sub>4</sub> Emisyon Miktarı			CO <sub>2</sub> Eşdeğeri	
		Enterik Fermentasyon	Gübre Yönetimi*	Toplam		
		10 <sup>3</sup> ton CH <sub>4</sub> .yıl <sup>-1</sup>			10 <sup>3</sup> kg CH <sub>4</sub> .gün <sup>-1</sup>	10 <sup>3</sup> ton CO <sub>2</sub> e.yıl <sup>-1</sup>
1	Konya	70.04	1.56	71.60	196.18	1503.69
2	Erzurum	53.39	1.14	54.52	149.38	1144.98
3	İzmir	48.11	1.34	49.45	135.48	1038.45
4	Balıkesir	46.13	1.28	47.41	129.88	995.54
5	Kars	38.79	0.75	39.55	108.34	830.45
6	Diyarbakır	35.47	0.75	36.22	99.24	760.67
7	Ağrı	34.90	0.68	35.58	97.48	747.16
8	Van	33.59	0.55	34.14	93.53	716.88
9	Afyon	31.48	0.87	32.35	88.62	679.30
10	Ankara	31.29	0.86	32.15	88.09	675.20
11	Şanlıurfa	29.87	0.60	30.47	83.49	639.95



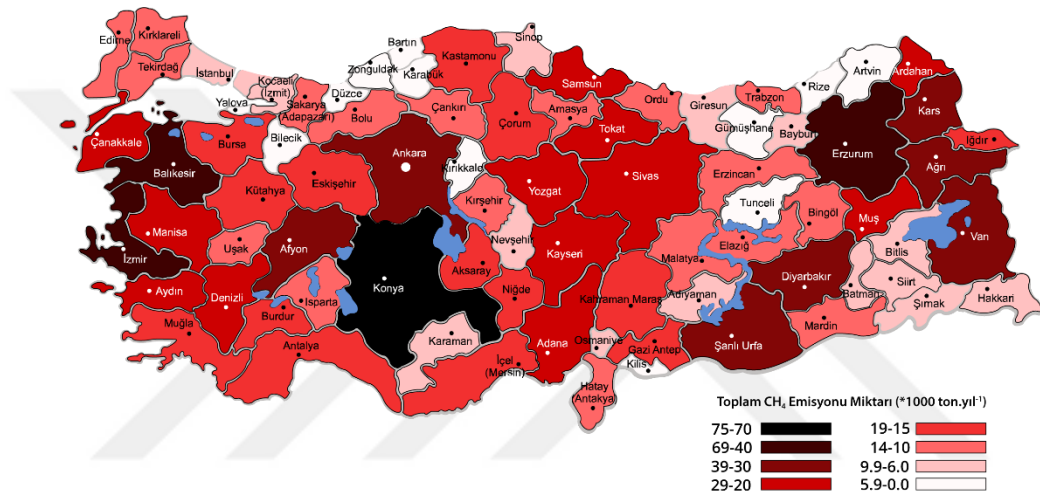
No.	İl	CH <sub>4</sub> Emisyon Miktarı			CO <sub>2</sub> Eşdeğeri	
		Enterik Fermentasyon	Gübre Yönetimi*	Toplam		
		$10^3$ ton CH <sub>4</sub> .yıl <sup>-1</sup>			$10^3$ kg CH <sub>4</sub> .gün <sup>-1</sup>	$10^3$ ton CO <sub>2</sub> e.yıl <sup>-1</sup>
12	Muş	29.30	0.58	29.88	81.85	627.39
13	Aydın	26.79	0.59	27.38	75.02	575.01
14	Kayseri	25.91	0.61	26.52	72.65	556.86
15	Manisa	24.06	1.12	25.18	68.99	528.79
16	Sivas	24.22	0.47	24.69	67.65	518.51
17	Samsun	24.03	0.62	24.65	67.53	517.62
18	Ardahan	23.18	0.48	23.66	64.82	496.87
19	Denizli	22.14	0.54	22.68	62.13	476.24
20	Yozgat	21.23	0.45	21.68	59.39	455.20
21	Çanakkale	20.48	0.53	21.02	57.58	441.35
22	Tokat	20.31	0.46	20.77	56.90	436.17
23	Adana	19.87	0.49	20.36	55.77	427.48
24	Burdur	18.60	0.37	18.97	51.97	398.33
25	Aksaray	18.44	0.33	18.77	51.43	394.21
26	Kastamonu	18.34	0.39	18.73	51.31	393.27
27	Antalya	18.15	0.41	18.55	50.84	389.65
28	Bursa	17.67	0.48	18.15	49.73	381.19
29	Muğla	17.64	0.37	18.01	49.34	378.22
30	Çorum	17.41	0.43	17.84	48.87	374.63
31	K.Maraş	16.78	0.36	17.13	46.94	359.79
32	Mersin	16.31	0.74	17.05	46.72	358.08
33	Kütahya	16.56	0.36	16.92	46.35	355.25
34	Eskişehir	15.77	0.34	16.10	44.12	338.18
35	Niğde	15.72	0.29	16.01	43.85	336.11
36	Iğdır	15.49	0.28	15.78	43.23	331.33
37	Gaziantep	14.74	0.34	15.08	41.32	316.70
38	Elazığ	14.48	0.32	14.80	40.56	310.87
39	Edirne	14.51	0.28	14.79	40.52	310.60
40	Kırklareli	14.05	0.28	14.34	39.28	301.08
41	Amasya	13.78	0.33	14.11	38.66	296.33
42	Isparta	13.74	0.28	14.02	38.41	294.40
43	Mardin	13.53	0.31	13.84	37.92	290.65
44	Uşak	13.22	0.36	13.58	37.19	285.09
45	Bingöl	12.70	0.24	12.94	35.44	271.64
46	Tekirdağ	12.47	0.26	12.73	34.89	267.42
47	Sakarya	12.23	0.48	12.71	34.82	266.92
48	Malatya	12.07	0.27	12.33	33.79	259.03
49	Hatay	11.43	0.25	11.68	32.01	245.32
50	Kırşehir	11.26	0.28	11.54	31.62	242.39
51	Bolu	10.86	0.54	11.40	31.23	239.35

No.	İl	CH <sub>4</sub> Emisyon Miktarı			CO <sub>2</sub> Eşdeğeri	
		Enterik Fermentasyon	Gübre Yönetimi*	Toplam		
		$10^3$ ton CH <sub>4</sub> .yıl <sup>-1</sup>			$10^3$ kg CH <sub>4</sub> .gün <sup>-1</sup>	$10^3$ ton CO <sub>2</sub> e.yıl <sup>-1</sup>
52	Trabzon	10.99	0.20	11.19	30.67	235.08
53	Ordu	10.51	0.21	10.73	29.39	225.25
54	Erzincan	10.46	0.21	10.67	29.23	224.02
55	Çankırı	10.32	0.26	10.58	28.97	222.08
56	Batman	9.59	0.20	9.79	26.83	205.63
57	Bitlis	9.45	0.18	9.64	26.40	202.35
58	Karaman	9.03	0.17	9.20	25.21	193.21
59	Hakkâri	8.95	0.14	9.09	24.90	190.88
60	Siirt	8.58	0.20	8.79	24.08	184.55
61	Kocaeli	8.50	0.28	8.78	24.05	184.38
62	Adıyaman	8.52	0.19	8.71	23.86	182.85
63	Sinop	8.03	0.17	8.20	22.45	172.10
64	Giresun	7.18	0.15	7.34	20.10	154.08
65	İstanbul	6.98	0.19	7.17	19.63	150.49
66	Bayburt	6.94	0.14	7.08	19.39	148.63
67	Şırnak	6.90	0.12	7.03	19.25	147.54
68	Osmaniye	6.44	0.15	6.59	18.04	138.29
69	Nevşehir	6.37	0.14	6.51	17.84	136.74
70	Gümüşhane	5.81	0.12	5.93	16.25	124.54
71	Kırkkale	5.40	0.12	5.52	15.13	115.98
72	Zonguldak	5.30	0.17	5.47	14.98	114.84
73	Tunceli	5.29	0.09	5.38	14.73	112.94
74	Artvin	5.04	0.10	5.14	14.09	107.97
75	Düzce	4.12	0.18	4.29	11.76	90.12
76	Bartın	3.93	0.10	4.03	11.04	84.61
77	Bilecik	3.56	0.10	3.65	10.01	76.69
78	Karabük	3.31	0.09	3.40	9.32	71.40
79	Kilis	3.00	0.07	3.08	8.43	64.58
80	Rize	2.33	0.05	2.38	6.52	49.97
81	Yalova	0.96	0.02	0.98	2.69	20.62
	<b>Türkiye</b>	<b>1354.31</b>	<b>31.79</b>	<b>1386.10</b>	<b>3797.55</b>	<b>29108.20</b>

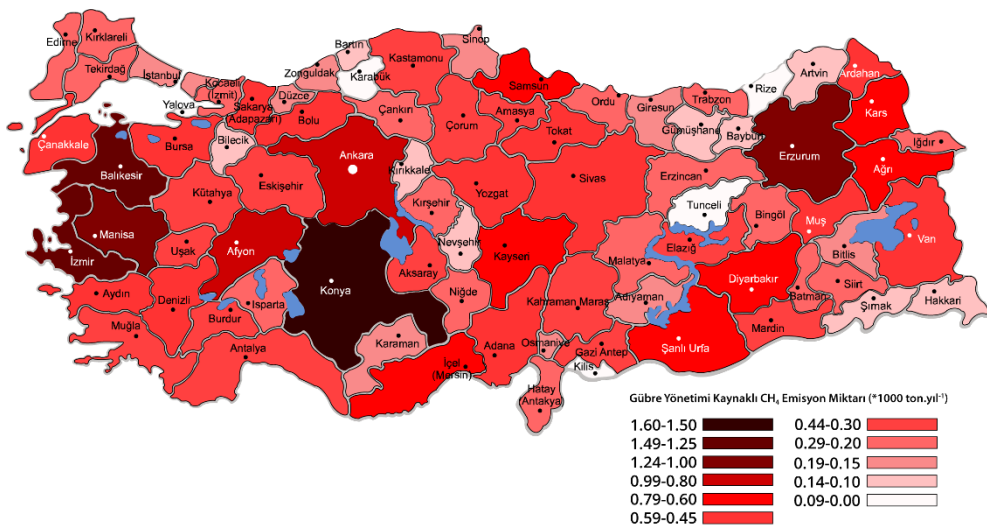
\* Gübre yönetimi emisyon hesaplamaları, IPCC 2006 kılavuzuna göre Türkiye'nin bir Orta Doğu ülkesi olduğu baz alınarak yapılmıştır.

Türkiye’de hayvansal kaynaklı metan gazı emisyonlarında enterik fermantasyon sonucu ortaya çıkan metan gazının (1.35 milyon ton) gübre yönetimi kaynaklı oluşan metan gazı emisyonuna (31.79 bin ton) kıyasla oldukça önemli bir emisyon nedeni olduğu gözükmektedir (Çizelge 4.3). Bunun en büyük nedeni olarak Türkiye’deki hayvan özelliklerinin (ağırlık, beslenme, süt üretimi) gelişmiş olmasına rağmen Türkiye’de halen

doğru bir hayvansal gübre yönetimi uygulamaması gösterilebilir. Türkiye'nin hayvansal kaynaklı CH<sub>4</sub> emisyon dağılım haritasına bakıldığında (Şekil 4.6) N<sub>2</sub>O emisyon haritasıyla (Şekil 4.5) benzer bir dağılım gösterdiği görülmektedir. Tek farklılık kümes hayvancılığının gelişmiş olduğu illerimizde gözlemlenmiştir. Nedeni ise kümes hayvanlarında enterik metan emisyonu olmamasıdır. Manisa, Sakarya, Samsun gibi illerde toplam metan emisyonu oranı normal seviyelerdeyken, gübre yönetimi kaynaklı metan emisyonları daha yüksek seviyelere ulaşmaktadır. Bu durum kümes hayvancılığının bu illerde diğer tür hayvancılığa göre daha gelişmiş olduğunu göstermektedir (Şekil 4.7).



Şekil 4.6. Türkiye'nin 2015 yılı İl Bazlı Hesaplanan Hayvansal Kaynaklı Toplam CH<sub>4</sub> Emisyon Miktarı Dağılımı



Şekil 4.7. Türkiye'nin 2015 yılı İl Bazlı Hesaplanan Hayvansal Gübre Kaynaklı CH<sub>4</sub> Emisyon Miktarı Dağılımı

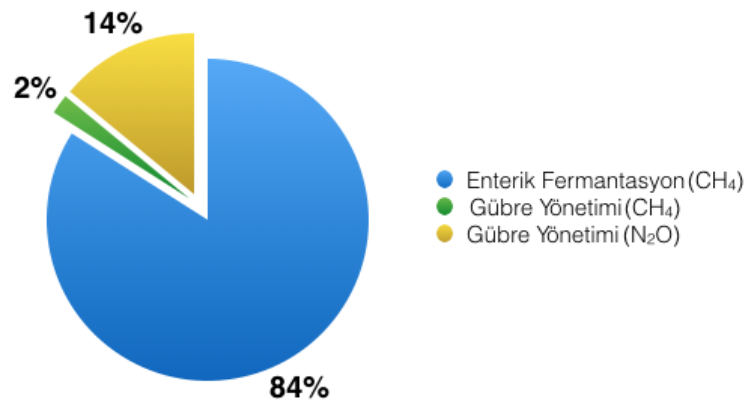
#### 4.1.3. Hesaplanan Toplam Sera Gazı Emisyonları Sonuçları

Türkiye'nin 2015 yılı hayvansal kaynaklı sera gazı emisyonlarının toplam değeri 33.85 milyon ton CO<sub>2</sub>e/yıl olarak hesaplanmıştır. Konya ili toplam yaklaşık 1.74 milyon ton CO<sub>2</sub>e/yıl ile en fazla emisyon salınımının olduğu ildir. Türkiye'deki en fazla hayvansal kaynaklı emisyonu neden olan ilk 5 il ve Türkiye'nin toplam emisyon miktarları Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Türkiye'nin 2015 yılı Hesaplanan Toplam Sera Gazı Emisyonları Sonuçları

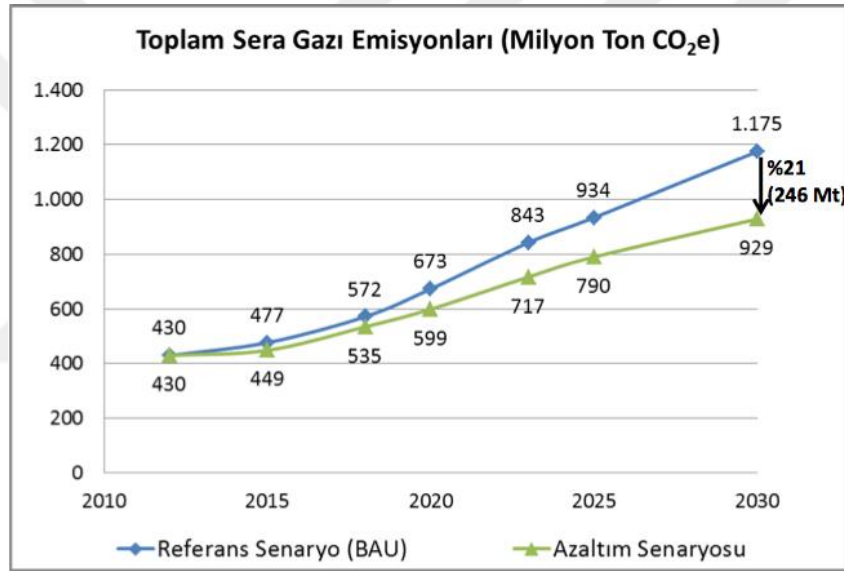
İl	CH <sub>4</sub>			N <sub>2</sub> O			CO <sub>2</sub> e
	Enterik Fermantasyon	Gübre Yönetimi	Toplam CH <sub>4</sub>	Doğrudan N <sub>2</sub> O Emisyon (Gübre Yönetimi)	Dolaylı N <sub>2</sub> O Emisyon (Gübre Yönetimi)	Toplam N <sub>2</sub> O	
	10 <sup>3</sup> .ton CH <sub>4</sub> .yıl <sup>-1</sup>	Ton CH <sub>4</sub> .yıl <sup>-1</sup>	10 <sup>3</sup> .ton CH <sub>4</sub> .yıl <sup>-1</sup>	Ton N <sub>2</sub> O.yıl <sup>-1</sup>	Ton N <sub>2</sub> O.yıl <sup>-1</sup>	Ton N <sub>2</sub> O.yıl <sup>-1</sup>	10 <sup>6</sup> .ton CO <sub>2</sub> e.yıl <sup>-1</sup>
Konya	70.04	1560	71.60	665	117	782	1.74
Erzurum	53.38	1135	54.52	562	101	663	1.35
İzmir	48.11	1335	49.45	507	89	597	1.22
Balıkesir	46.12	1281	47.40	467	83	550	1.16
Kars	38.79	753	39.54	415	71	486	0.98
<b>Türkiye</b>	<b>1354.3</b>	<b>31795</b>	<b>1386.1</b>	<b>13050</b>	<b>2258</b>	<b>15308</b>	<b>33.85</b>

Bu çalışmada hesaplanan enterik fermantasyon sonucu oluşan emisyon miktarı 28.44 milyon ton CO<sub>2</sub>e/yıldır ve bu değer hayvansal kaynaklı toplam emisyonların yaklaşık 84%'ünü oluşturmaktadır (Şekil 4.8). Geriye kalan 16%'lık kısım ise gübre yönetimi kaynaklı emisyonlardan oluşmaktadır. Bu emisyonlardan N<sub>2</sub>O kaynaklı emisyon miktarı toplam 4.74 milyon ton CO<sub>2</sub>e/yıl ve CH<sub>4</sub> kaynaklı emisyon miktarı ise 667.69 bin ton CO<sub>2</sub>e/yıldır.



Şekil 4.8. Türkiye'nin 2015 yılı Hesaplanan Hayvansal Kaynaklı Sera Gazı Emisyonlarının Dağılımı (CO<sub>2</sub>e)

Türkiye'nin 2014 yılı ulusal sera gazı emisyon envanteri sonuçlarına göre Türkiye'nin toplam CO<sub>2</sub> emisyonları miktarı 467.6 milyon ton CO<sub>2</sub>e/yıl olarak belirlenmiştir [89]. Tarımsal faaliyetler ise, bu emisyonların 10.6%'sını oluşturmaktadır. Türkiye'nin 2014 yılı toplam antropojenik CO<sub>2</sub> emisyonları miktarının 2015 yılı için de aynı kaldığı varsayıldığında bu çalışmada elde edilen toplam hayvansal kaynaklı emisyonlar, toplam antropojenik emisyonların yaklaşık 7.2%'sini oluşturmaktadır. Fakat bu emisyonların çok büyük bir kısmı (yaklaşık 84%'ü) enterik fermantasyon sonucu oluştuğu için bu emisyonları azaltmaya yönelik bazı yöntemler geliştirilse de kontrol altına almak oldukça zordur. Gübre yönetimi kaynaklı toplam sera gazı emisyonları yaklaşık 5.41 milyon ton CO<sub>2</sub>e/yıl olarak hesaplanmıştır. Bu da Türkiye'nin toplam antropojenik CO<sub>2</sub> emisyonlarının yaklaşık 1.16%'sini oluşturmaktadır.



Şekil 4.9. Türkiye'nin Sera Gazı Emisyonlarını Azaltma Hedefleri [90]

Türkiye, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC) kapsamında 2030 yılına kadar sera gazı emisyonlarını yaklaşık 21% oranında azaltmayı hedeflemektedir [90]. Referans senaryoya göre 2015 yılı için beklenen emisyon miktarı 477 milyon ton CO<sub>2</sub>e/yıl, azaltım hedefi ise 449 milyon ton CO<sub>2</sub>e/yıl olarak belirlenmiştir. Bu da 2015 yılı için azaltım hedefinin yaklaşık 5% oranında olduğunu göstermektedir (Şekil 4.9). Bu çalışmada 2015 yılı için belirlenen gübre yönetimi kaynaklı emisyon miktarının (5.41 milyon ton CO<sub>2</sub>e/yıl) giderilmesi durumunda, bu hedefin gerçekleştirilmesi doğrultusunda 1.13% oranında emisyon azaltım katkısı sağlayacağı belirlenmiştir.

## 4.2. Türkiye’de Hayvan Gübresinin Biyogaz Üretme Potansiyelinin Hesaplanması

Türkiye’nin il bazlı biyogaz enerjisi potansiyeli hesaplamaları iki farklı senaryo üzerinden yapılmıştır. Birinci senaryoda hayvan gübrelerinin 100% oranında toplandığı varsayılmış ve biyogazın Türkiye’deki teorik biyogaz enerjisi potansiyeli elde edilmiştir. İkinci senaryoda ise, her hayvan türü için farklı olan gübre toplanabilirlik oranları hesaba katılarak uygulanabilir biyogaz enerjisi potansiyeli hesaplanmıştır.

### 4.2.1. Birinci Senaryo Sonuçlarına Göre Biyogaz Enerjisi Potansiyeli

Birinci senaryo sonuçlarına göre, Türkiye’nin toplam biyogaz potansiyeli 2015 yılı için yaklaşık 8.41 milyar m<sup>3</sup>/yıl, biyogaz içindeki 60%’lık metan yüzdesi ile biyometan potansiyeli ise yaklaşık 5.04 milyar m<sup>3</sup>/yıl olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.5. Türkiye'nin 2015 yılı Hayvan Gübresi Kaynaklı Hesaplanan Biyogaz Enerjisi Teorik Potansiyeli Miktarları (Senaryo-1)

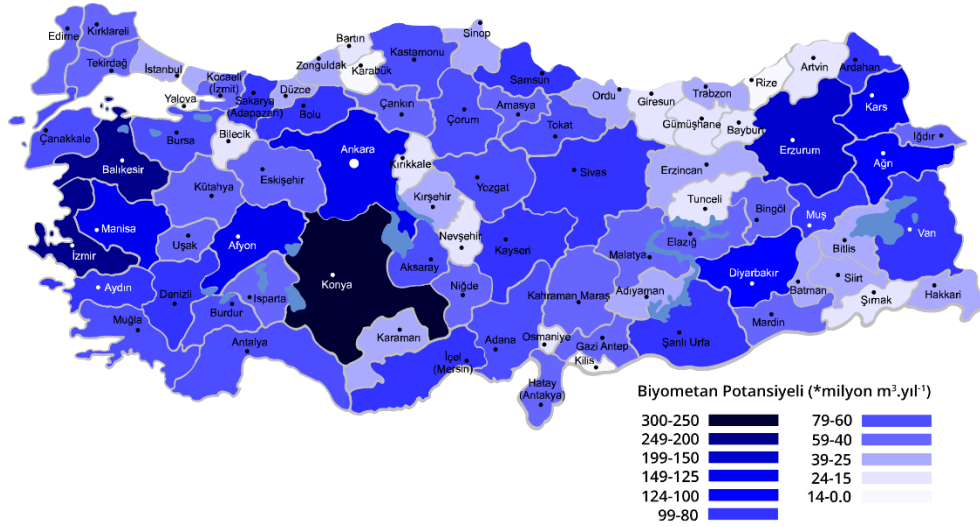
No.	İl	Biyogaz	CH <sub>4</sub>	Isıl Değer		Nüfus	Kişi Başına	Toplam
				Elektrik	Elektrik		Düşen	
		10 <sup>6</sup> .m <sup>3</sup> .yıl <sup>-1</sup>	10 <sup>6</sup> .m <sup>3</sup> .yıl <sup>-1</sup>	10 <sup>6</sup> .MJ.(m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup> .yıl <sup>-1</sup>	10 <sup>6</sup> .kWha.(m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup> .yıl <sup>-1</sup>	10 <sup>6</sup> .kişi	Potansiyeli	Oranı
							kWha.kişi <sup>-1</sup> .yıl <sup>-1</sup>	%
1	Konya	424.44	254.66	5470.16	532.25	2.13	249.82	7.40
2	Balıkesir	351.09	210.65	4524.80	440.26	1.19	371.00	10.99
3	İzmir	336.50	201.90	4336.82	421.97	4.17	101.23	3.00
4	Erzurum	298.81	179.28	3851.03	374.70	0.76	491.53	14.56
5	Afyon	245.60	147.36	3165.25	307.98	0.71	434.37	12.87
6	Manisa	230.16	138.10	2966.31	288.62	1.38	209.09	6.20
7	Kars	224.04	134.42	2887.45	280.95	0.29	959.98	28.44
8	Ankara	213.51	128.11	2751.70	267.74	5.27	50.80	1.51
9	Diyarbakır	193.90	116.34	2498.96	243.15	1.65	146.99	4.36
10	Ağrı	184.63	110.78	2379.46	231.52	0.55	423.09	12.54
11	Van	163.13	97.88	2102.39	204.56	1.10	186.58	5.53
12	Aydın	161.94	97.16	2087.05	203.07	1.05	192.76	5.71
13	Muş	161.14	96.69	2076.81	202.07	0.41	494.40	14.65
14	Şanlıurfa	156.22	93.73	2013.38	195.90	1.89	103.52	3.07
15	Kayseri	155.18	93.11	1999.91	194.59	1.34	145.10	4.30
16	Samsun	150.42	90.25	1938.57	188.62	1.28	147.37	4.37
17	Bolu	145.90	87.54	1880.36	182.96	0.29	628.52	18.62
18	Mersin	140.29	84.17	1808.01	175.92	1.75	100.80	2.99
19	Denizli	138.07	82.84	1779.40	173.14	0.99	174.28	5.16
20	Sivas	138.00	82.80	1778.52	173.05	0.62	279.74	8.29
21	Ardahan	136.68	82.01	1761.56	171.40	0.10	1726.69	51.16
22	Sakarya	134.00	80.40	1727.05	168.04	0.95	176.30	5.22
23	Bursa	130.89	78.53	1686.92	164.14	2.84	57.74	1.71
24	Çanakkale	129.51	77.70	1669.09	162.40	0.51	316.36	9.37

No.	İl	Biyogaz	CH <sub>4</sub>	Isıl Değer	Elektrik	Nüfus	Kişi Başına	Toplam
							Düşen	
							Elektrik	Oranı
							Potansiyeli	
		$10^6.m^3.yıl^{-1}$	$10^6.m^3.yıl^{-1}$	$10^6.MJ.(m^3)^{-1}.yıl^{-1}$	$10^6.kWsa.(m^3)^{-1}.yıl^{-1}$	$10^6.kişi$	$kWsa.kişi^{-1}.yıl^{-1}$	%
25	Adana	122.74	73.64	1581.88	153.92	2.18	70.50	2.09
26	Yozgat	121.56	72.94	1566.70	152.44	0.42	363.44	10.77
27	Çorum	115.86	69.52	1493.20	145.29	0.53	276.64	8.20
28	Tokat	114.16	68.50	1471.31	143.16	0.59	241.01	7.14
29	Kastamonu	106.93	64.16	1378.09	134.09	0.37	359.84	10.66
30	Burdur	104.27	62.56	1343.88	130.76	0.26	506.15	15.00
31	Aksaray	103.56	62.14	1334.68	129.86	0.39	335.99	9.96
32	Muğla	102.23	61.34	1317.60	128.20	0.91	141.06	4.18
33	Antalya	100.15	60.09	1290.75	125.59	2.29	54.88	1.63
34	Kütahya	97.00	58.20	1250.18	121.64	0.57	212.86	6.31
35	Eskişehir	96.20	57.72	1239.80	120.63	0.83	145.92	4.32
36	K.Maraş	95.83	57.50	1235.02	120.17	1.10	109.58	3.25
37	Uşak	93.89	56.34	1210.11	117.74	0.35	333.51	9.88
38	Gaziantep	93.12	55.87	1200.09	116.77	1.93	60.44	1.79
39	Elazığ	92.78	55.67	1195.72	116.34	0.57	202.58	6.00
40	Niğde	87.11	52.27	1122.69	109.24	0.35	315.61	9.35
41	Amasya	82.80	49.68	1067.16	103.83	0.32	322.30	9.55
42	Edirne	81.30	48.78	1047.75	101.95	0.40	253.26	7.50
43	Iğdır	79.24	47.55	1021.30	99.37	0.19	516.39	15.30
44	Kırklareli	78.00	46.80	1005.26	97.81	0.35	281.90	8.35
45	Isparta	75.95	45.57	978.88	95.25	0.42	225.83	6.69
46	Malatya	75.00	45.00	966.60	94.05	0.77	121.68	3.61
47	Mardin	74.48	44.69	959.95	93.40	0.80	117.25	3.47
48	Tekirdağ	72.29	43.37	931.63	90.65	0.94	96.65	2.86
49	Kocaeli	71.70	43.02	924.05	89.91	1.78	50.51	1.50
50	Bingöl	69.33	41.60	893.52	86.94	0.27	325.39	9.64
51	Çankırı	66.98	40.19	863.27	84.00	0.18	464.21	13.75
52	Hatay	65.84	39.51	848.58	82.57	1.53	53.84	1.60
53	Kırşehir	63.95	38.37	824.23	80.20	0.23	355.54	10.53
54	Trabzon	62.53	37.52	805.88	78.41	0.77	102.04	3.02
55	Ordu	60.98	36.59	785.85	76.46	0.73	104.89	3.11
56	Erzincan	56.60	33.96	729.41	70.97	0.22	318.38	9.43
57	Karaman	50.62	30.37	652.34	63.47	0.24	262.07	7.77
58	Adıyaman	49.34	29.60	635.89	61.87	0.60	102.65	3.04
59	Batman	49.25	29.55	634.74	61.76	0.57	108.99	3.23
60	Bitlis	48.73	29.24	628.09	61.11	0.34	179.51	5.32
61	İstanbul	45.84	27.50	590.79	57.48	14.66	3.92	0.12
62	Sinop	45.70	27.42	588.98	57.31	0.20	280.74	8.32
63	Düzce	45.52	27.31	586.67	57.08	0.36	158.39	4.69
64	Zonguldak	44.94	26.96	579.18	56.35	0.60	94.57	2.80

No.	İl	Biyogaz	CH <sub>4</sub>	Isıl Değer	Elektrik	Nüfus	Kişi Başına	Toplam
							Düşen	
							Potansiyeli	Oranı
		10 <sup>6</sup> .m <sup>3</sup> .yıl <sup>-1</sup>	10 <sup>6</sup> .m <sup>3</sup> .yıl <sup>-1</sup>	10 <sup>6</sup> .MJ.(m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup> .yıl <sup>-1</sup>	10 <sup>6</sup> .kWsa.(m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup> .yıl <sup>-1</sup>	10 <sup>6</sup> .kişi	kWsa.kişi <sup>-1</sup> .yıl <sup>-1</sup>	%
65	Hakkâri	42.94	25.77	553.45	53.85	0.28	193.17	5.72
66	Siirt	42.22	25.33	544.11	52.94	0.32	165.26	4.90
67	Giresun	40.53	24.32	522.39	50.83	0.43	119.12	3.53
68	Bayburt	39.75	23.85	512.31	49.85	0.08	634.60	18.80
69	Nevşehir	38.42	23.05	495.21	48.18	0.29	168.03	4.98
70	Osmaniye	38.11	22.87	491.16	47.79	0.51	93.18	2.76
71	Şırnak	36.62	21.97	471.90	45.92	0.49	93.67	2.78
72	Gümüşhane	33.32	19.99	429.39	41.78	0.15	275.87	8.17
73	Kırıkkale	32.18	19.31	414.77	40.36	0.27	149.32	4.42
74	Artvin	28.03	16.82	361.26	35.15	0.17	208.77	6.19
75	Tunceli	26.48	15.89	341.33	33.21	0.09	385.84	11.43
76	Bartın	26.17	15.70	337.25	32.81	0.19	172.07	5.10
77	Bilecik	24.55	14.73	316.37	30.78	0.21	144.96	4.30
78	Karabük	21.98	13.19	283.32	27.57	0.24	116.33	3.45
79	Kilis	15.44	9.27	199.02	19.36	0.13	148.21	4.39
80	Rize	13.41	8.05	172.85	16.82	0.33	51.12	1.51
81	Yalova	5.48	3.29	70.63	6.87	0.23	29.49	0.87
	<b>Türkiye</b>	<b>8414.0</b>	<b>5048.39</b>	<b>108439.45</b>	<b>10551.14</b>	<b>78.74</b>	<b>134.00</b>	<b>3.97</b>

Birinci senaryo sonucuna göre il bazında Türkiye'nin en yüksek biyogaz potansiyeline sahip illeri sırasıyla Konya, Balıkesir, İzmir, Erzurum, Afyon ve Manisa olarak belirlenmiştir. Konya ili 424 milyon m<sup>3</sup>/yıl biyogaz, 255 milyon m<sup>3</sup>/yıl biyometan potansiyeli ile en fazla hayvan gübresi kaynaklı biyoenerji potansiyeline sahip ilimizdir (Şekil 4.10). Bunun en büyük nedeni olarak Konya il genelindeki hayvan sayısı fazlalığı gösterilebilir. Ayrıca Konya'nın il yüzölçümü bakımından Türkiye'nin en büyük ili olması hayvan sayısını ve dolayısıyla biyogaz enerjisi potansiyelini doğrudan etkilemektedir. En düşük biyometan potansiyeline sahip ilimiz ise 3.29 milyon m<sup>3</sup>/yıl kapasitesi ile Yalova'dır. Şekil 4.10'da görüldüğü üzere Ege ve Kuzey Doğu Anadolu bölgeleri hayvan gübresi kaynaklı biyometan potansiyeli açısından zengin iken özellikle Doğu Karadeniz bölgesi en az potansiyele sahiptir.

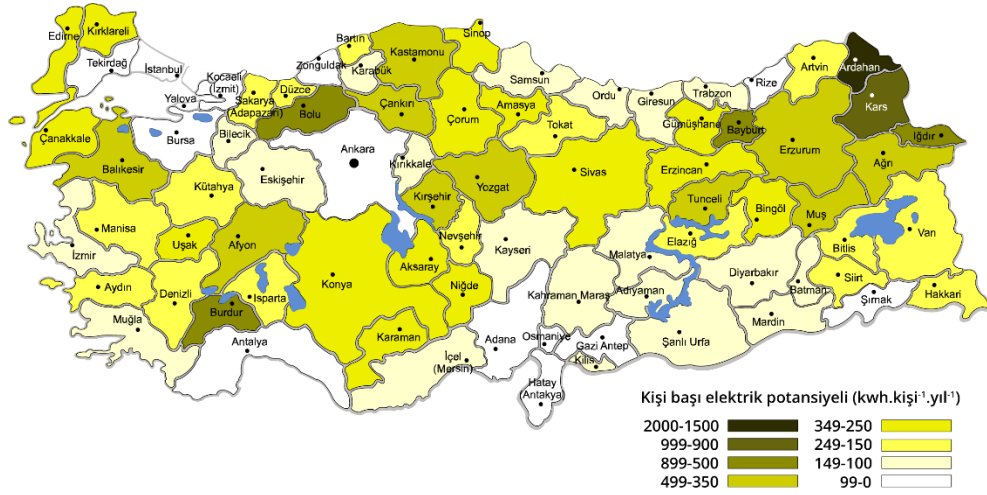




Şekil 4.10. Türkiye'nin 2015 yılı İl Bazlı Hesaplanan Hayvansal Gübre Kaynaklı Teorik Biyometan Potansiyeli Dağılımı (Senaryo-1)

1 m<sup>3</sup> biyometanın elektrik potansiyeli yaklaşık olarak 2.09 kilovatsaattir. Yapılan birinci senaryo hesaplamalarına göre Türkiye'nin hayvan gübresi kaynaklı yıllık elektrik potansiyeli yaklaşık 10.55 milyar kWsa/yıl olarak belirlenmiştir. Türkiye'de 2015 yılı sonu itibariyle brüt toplam 265.72 milyar kWsa/yıl elektrik tüketildiğine [91] göre birinci senaryo hesaplamalarına göre Türkiye nüfusunun yaklaşık 4%'lük kısmının elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayabilecek bir biyometan potansiyeli olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.5).

Türkiye'nin 2015 yılı nüfusu yaklaşık 78.74 milyon kişidir ve buna göre kişi başı elektrik tüketimi ise yaklaşık 3375 kilovatsaattir. Birinci senaryo hesaplamalarına göre hayvan gübresinden elektrik enerjisi elde edilmesi durumunda Türkiye'nin kişi başına düşen elektrik enerjisi potansiyeli yaklaşık 134 kWsa/kişi/yıl olarak belirlenmiştir. İl bazlı kişi başı elektrik enerjisi ihtiyacının biyometandan karşılama kapasitesi bakımından sırasıyla Ardahan, Kars, Bayburt, Bolu, Iğdır ve Burdur illeri diğer illere göre daha ön plana çıkmaktadır. Ardahan ilinin 2015 yılında biyometandan elde edilebilecek elektrik enerjisi potansiyeli (171 milyon kWsa/yıl) ve ilin 2015 yılı nüfusu (99265 kişi) birbiriyle oranlandığında kişi başına üretilebilecek enerji miktarı 1727 kWsa/kişi/yıl olarak hesaplanmıştır. Buradan Ardahan ilinin 2015 yılı kişi başı elektrik enerjisi ihtiyacının yaklaşık 51.2%'lik kısmının hayvan gübrelerinden sağlanabileceği sonucuna varılmıştır (Şekil 4.11).



Şekil 4.11. Türkiye'nin 2015 yılı İl Bazlı Hesaplanan Biyogaz Enerjisi Kaynaklı Kişi Başına Düşen Elektrik Potansiyeli Dağılımı (Senaryo-1)

2015 yılında Türkiye'deki 81 ile elektrik enerjisi dağıtımını yapan 21 farklı elektrik dağıtım şirketi vardır. 2015 yılı sonu itibariyle bu dağıtım şirketleri aracılığıyla faturalanan elektrik tüketim miktarı yaklaşık 193.42 milyar kWsa/yıl, kayıp-kaçak oranlarıyla birlikte toplam tüketim miktarı yaklaşık 229.86 milyar kWsa/yıl olarak belirlenmiştir [92]. Bu çalışmadaki birinci senaryo sonuçlarına göre Türkiye'nin 2015 yılı elektrik enerjisi potansiyeli 10.55 milyar kWsa/yıl olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değer, Türkiye'deki 2015 yılı dağıtım şirketleri aracılığıyla tüketilen toplam miktarın yaklaşık 4.59%'luk kısmını karşılayabileceği sonucuna varılmıştır (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.6. Birinci Senaryo Sonucu Belirlenen Elektrik Enerjisi Potansiyelinin Türkiye'nin 2015 yılı Toplam Elektrik Tüketimini (Dağıtım Şirketleri Aracılığıyla) Karşılama Kapasitesi [92]

No.	Elektrik Dağıtım Şirketleri	Bağlı İller	2015 yılı Faturalanan Toplam Tüketim		Kayıp Kaçak Oranı %	2015 yılı Toplam Tüketim		Senaryo-1 Elektrik Enerjisi Potansiyeli $10^6$ kWsa.yıl <sup>-1</sup>	Toplam Tüketimi Karşılama Kapasitesi %
			$10^6$ mWsa.yıl <sup>-1</sup>	$10^6$ kWsa.yıl <sup>-1</sup>		$10^6$ mWsa.yıl <sup>-1</sup>	$10^6$ kWsa.yıl <sup>-1</sup>		
1	Boğaziçi Edaş	İstanbul (Avrupa)	24.33	35552.87	9.44	26.85	38921.79	57.48	0.15
2	Ayedaş	İstanbul (Anadolu)	11.23		7.00	12.07			
3	Toroslar Edaş	Adana Mersin Hatay Osmaniye Gaziantep Kilis	20.59	20594.33	12.50	23.54	23536.38	596.33	2.53
4	Gediz Edaş	İzmir Manisa	17.95	17947.91	7.36	19.37	19373.83	710.59	3.67
5	Başkent Edaş	Ankara Çankırı Bartın Zonguldak Kastamonu Kırıkkale Karabük	15.75	15750.04	7.00	16.94	16935.53	642.92	3.80

No.	Elektrik Dağıtım Şirketleri	Bağlı İller	2015 yılı Faturalanan Toplam Tüketim		Kayıp Kaçak Oranı %	2015 yılı Toplam Tüketim		Senaryo-1 Elektrik Enerjisi Potansiyeli 10 <sup>6</sup> .kWsa.yıl <sup>-1</sup>	Toplam Tüketimi Karşılama Kapasitesi %
			10 <sup>6</sup> .mWsa.yıl <sup>-1</sup>	10 <sup>6</sup> .kWsa.yıl <sup>-1</sup>		10 <sup>6</sup> mWsa.yıl <sup>-1</sup>	10 <sup>6</sup> kWsa.yıl <sup>-1</sup>		
6	Uludağ Edaş	Bursa Balıkesir Yalova Çanakkale	15.18	15180.52	6.94	16.31	16312.62	773.67	4.74
7	Sakarya Edaş	Sakarya Bolu Kocaeli Düzce	13.75	13751.82	6.68	14.74	14736.20	497.99	3.38
8	Akdeniz Edaş	Antalya Isparta Burdur	9.09	9093.06	7.02	9.78	9779.59	351.59	3.60
9	ADM Edaş (Aydem)	Aydın Denizli Muğla	8.54	8543.39	7.03	9.19	9189.40	504.41	5.49
10	Meram Edaş	Konya Karaman Niğde Nevşehir Kırşehir Aksaray	8.48	8478.91	7.30	9.15	9146.62	963.20	10.53
11	Trakya Edaş	Kırklareli Tekirdağ Edirne	8.27	8271.18	7.39	8.93	8931.20	290.41	3.25
12	Osmangazi Edaş	Eskişehir Bilecik Kütahya Afyon Uşak	7.87	7868.00	7.62	8.52	8517.00	698.78	8.20
13	Dicle Edaş	Diyarbakır Şanlıurfa Batman Mardin Siirt Şırnak	6.63	6627.15	72.12	23.77	23770.28	693.07	2.92
14	Yeşilirmak Edaş	Samsun Ordu Sinop Amasya Çorum	5.42	5423.85	7.90	5.89	5889.09	571.52	9.70
15	Akedaş	Adıyaman K. Maraş	4.53	4533.32	4.98	4.77	4770.91	182.04	3.82
16	Çoruh Edaş	Trabzon Artvin Giresun Gümüşhane Rize	3.29	3290.31	9.28	3.63	3626.88	222.99	6.15
17	Fırat Edaş	Elazığ Malatya Bingöl Tunceli	3.03	3034.82	10.44	3.39	3388.59	330.54	9.75
18	KCETAŞ (Kayseri ve Civarı ETAŞ)	Kayseri	2.87	2869.43	5.25	3.03	3028.42	194.59	6.43
19	Çamlıbel Edaş	Sivas Tokat Yozgat	2.81	2806.30	7.06	3.02	3019.48	468.65	15.52
20	Aras Edaş	Erzurum Kars Ağrı Erzincan Ardahan Iğdır Bayburt	2.20	2203.29	26.60	3.00	3001.76	1278.77	42.60
21	Van Gölü Edaş	Van Bitlis Hakkâri Muş	1.61	1606.62	59.70	3.99	3986.64	521.60	13.08
		<b>Türkiye</b>	<b>193.43</b>	<b>193427.14</b>	<b>15.85</b>	<b>229.86</b>	<b>229862.21</b>	<b>10551.14</b>	<b>4.59</b>



Çizelge 4.7. Türkiye'nin Hayvan Türlerine Göre Hesaplanan 2015 yılı Biyogaz Enerjisi Teorik Potansiyeli Miktarları (Senaryo-1)

Hayvan Türü	2015 yılı Hayvan Sayısı [82]	Toplam Gübre Miktarı	Biyogaz Verimliliği [87]	Toplam Biyogaz Miktarı	Metan İçeriği	Toplam Metan Miktarı	Toplam Biyogaz Miktarındaki Payı
	Adet	ton.gün <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> .ton <sup>-1</sup>	10 <sup>6</sup> .m <sup>3</sup> .gün <sup>-1</sup>	%	10 <sup>6</sup> .m <sup>3</sup> .yıl <sup>-1</sup>	%
Süt Sığırı	5535779	30447	300	9.13	60	2000	39.6
Diğer Sığırlar	8458292	23812	300	7.14	60	1564	31.0
Manda	133766	366	300	0.11	60	24	0.5
Koyun	31507934	14059	200	2.81	60	616	12.2
Keçi	10416166	3809	200	0.76	60	167	3.3
At	122704	463	300	0.14	60	30	0.6
Eşek ve Katır	197681	257	300	0.08	60	17	0.3
Et Tavuğu	213658294	3269	510	1.67	60	365	7.2
Yumurta Tavuğu	98597340	2130	510	1.09	60	238	4.7
Hindi	2827731	175	510	0.09	60	20	0.4
Ördek+Kaz	1249081	64	510	0.03	60	7	0.1
<b>Toplam</b>				<b>23.05</b>		<b>5048.39</b>	

#### 4.2.2. İkinci Senaryo Sonuçlarına Göre Biyogaz Enerjisi Potansiyeli

Gübre toplanabilirlik oranlarının hesaba katıldığı İkinci senaryo sonuçlarına göre, Türkiye'nin toplam biyogaz enerjisi potansiyeli 2015 yılı için yaklaşık 4.18 milyar m<sup>3</sup>/yıl, biyogaz içindeki 60%'lık metan yüzdesi ile biyometan potansiyeli ise yaklaşık 2.51 milyar m<sup>3</sup>/yıl olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.8). Bu da birinci senaryo sonuçlarıyla kıyaslandığında biyoenerji potansiyelinde yaklaşık 49.7%'lik bir azalma olduğunu göstermektedir. İkinci senaryo sonuçları uygulanabilirlik açısından daha gerçekçi sonuçları ortaya koymaktadır.

Çizelge 4.8. Türkiye'nin 2015 yılı Hayvan Gübresi Kaynaklı Hesaplanan Biyogaz Enerjisi Uygulanabilir Potansiyeli Miktarları (Senaryo-2)

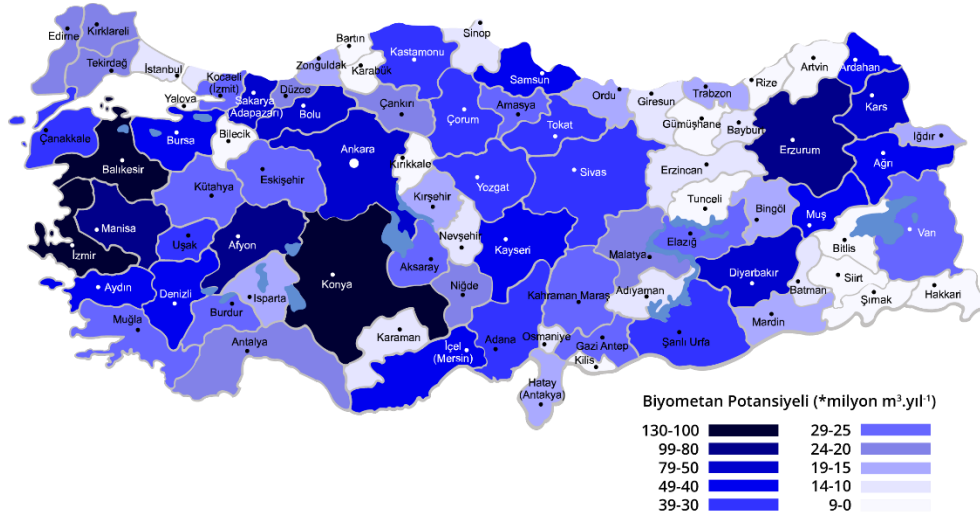
No.	İl	Biyogaz	CH <sub>4</sub>	Isıl Değer	Elektrik	Nüfus	Kişi Başına	Toplam
							Düşen	
							Elektrik	Oranı
		10 <sup>6</sup> .m <sup>3</sup> .yıl <sup>-1</sup>	10 <sup>6</sup> .m <sup>3</sup> .yıl <sup>-1</sup>	10 <sup>6</sup> .MJ.(m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup> .yıl <sup>-1</sup>	10 <sup>6</sup> .kWsa.(m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup> .yıl <sup>-1</sup>	10 <sup>6</sup> .kişi	Potansiyeli	%
							kWsa.kişi <sup>-1</sup> .yıl <sup>-1</sup>	
1	Konya	210.55	126.33	2713.50	264.02	2.13	123.92	3.67
2	Balıkesir	210.06	126.04	2707.30	263.42	1.19	221.98	6.58
3	İzmir	188.15	112.89	2424.84	235.94	4.17	56.60	1.68
4	Afyon	149.32	89.59	1924.38	187.24	0.71	264.09	7.82
5	Manisa	147.98	88.79	1907.11	185.56	1.38	134.43	3.98
6	Erzurum	139.73	83.84	1800.85	175.22	0.76	229.85	6.81
7	Ankara	117.84	70.70	1518.66	147.77	5.27	28.04	0.83
8	Bolu	111.20	66.72	1433.15	139.45	0.29	479.04	14.19
9	Kars	103.95	62.37	1339.76	130.36	0.29	445.43	13.20
10	Sakarya	96.11	57.66	1238.61	120.52	0.95	126.44	3.75
11	Diyarbakır	83.35	50.01	1074.28	104.53	1.65	63.19	1.87
12	Mersin	82.62	49.57	1064.80	103.60	1.75	59.36	1.76
13	Aydın	81.97	49.18	1056.48	102.80	1.05	97.57	2.89
14	Samsun	79.20	47.52	1020.79	99.32	1.28	77.60	2.30
15	Kayseri	77.14	46.29	994.24	96.74	1.34	72.14	2.14
16	Bursa	76.07	45.64	980.33	95.39	2.84	33.56	0.99
17	Ağrı	75.48	45.29	972.83	94.66	0.55	172.98	5.13
18	Denizli	70.27	42.16	905.59	88.11	0.99	88.70	2.63
19	Muş	68.74	41.25	885.97	86.20	0.41	210.91	6.25
20	Ardahan	67.07	40.24	864.38	84.10	0.10	847.26	25.10
21	Çanakkale	65.50	39.30	844.15	82.14	0.51	160.00	4.74
22	Sivas	64.66	38.80	833.36	81.09	0.62	131.08	3.88
23	Çorum	64.07	38.44	825.79	80.35	0.53	152.99	4.53
24	Adana	60.34	36.20	777.66	75.67	2.18	34.66	1.03
25	Yozgat	57.72	34.63	743.83	72.37	0.42	172.55	5.11
26	Şanlıurfa	57.50	34.50	741.10	72.11	1.89	38.11	1.13
27	Tokat	53.59	32.16	690.73	67.21	0.59	113.15	3.35

No.	İl	Biyogaz	CH <sub>4</sub>	Isıl Değer	Elektrik	Nüfus	Kişi Başına	Toplam
							Düşen	
							Potansiyeli	Oranı
		10 <sup>6</sup> .m <sup>3</sup> .yıl <sup>-1</sup>	10 <sup>6</sup> .m <sup>3</sup> .yıl <sup>-1</sup>	10 <sup>6</sup> .MJ.(m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup> .yıl <sup>-1</sup>	10 <sup>6</sup> .kWsa.(m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup> .yıl <sup>-1</sup>	10 <sup>6</sup> .kişi	kWsa.kişi <sup>-1</sup> .yıl <sup>-1</sup>	%
28	Uşak	53.02	31.81	683.31	66.49	0.35	188.32	5.58
29	Kastamonu	52.89	31.73	681.63	66.32	0.37	177.98	5.27
30	Van	49.66	29.80	640.06	62.28	1.10	56.80	1.68
31	Muğla	47.62	28.57	613.76	59.72	0.91	65.71	1.95
32	Elazığ	47.55	28.53	612.84	59.63	0.57	103.83	3.08
33	Burdur	47.34	28.41	610.18	59.37	0.26	229.82	6.81
34	Aksaray	46.64	27.98	601.08	58.48	0.39	151.31	4.48
35	Gaziantep	46.58	27.95	600.26	58.41	1.93	30.23	0.90
36	Kocaeli	45.73	27.44	589.31	57.34	1.78	32.21	0.95
37	Kütahya	45.22	27.13	582.78	56.70	0.57	99.23	2.94
38	Eskişehir	44.69	26.82	576.02	56.05	0.83	67.79	2.01
39	K.Maraş	42.66	25.59	549.76	53.49	1.10	48.78	1.45
40	Amasya	41.97	25.18	540.90	52.63	0.32	163.36	4.84
41	Antalya	39.01	23.41	502.74	48.92	2.29	21.38	0.63
42	Niğde	37.99	22.79	489.62	47.64	0.35	137.64	4.08
43	Malatya	37.91	22.74	488.55	47.54	0.77	61.50	1.82
44	Edirne	36.87	22.12	475.20	46.24	0.40	114.86	3.40
45	Çankırı	36.37	21.82	468.79	45.61	0.18	252.08	7.47
46	Kırklareli	34.79	20.88	448.41	43.63	0.35	125.74	3.73
47	Tekirdağ	34.17	20.50	440.32	42.84	0.94	45.68	1.35
48	Düzce	33.39	20.03	430.27	41.87	0.36	116.17	3.44
49	Isparta	32.70	19.62	421.48	41.01	0.42	97.23	2.88
50	Kırşehir	30.76	18.46	396.48	38.58	0.23	171.03	5.07
51	Hatay	30.36	18.22	391.32	38.07	1.53	24.83	0.74
52	Trabzon	29.94	17.97	385.91	37.55	0.77	48.87	1.45
53	Ordu	29.68	17.81	382.57	37.22	0.73	51.06	1.51
54	Zonguldak	29.33	17.60	378.07	36.79	0.60	61.73	1.83
55	Iğdır	29.05	17.43	374.46	36.43	0.19	189.34	5.61
56	Bingöl	28.32	16.99	364.99	35.51	0.27	132.92	3.94
57	Mardin	27.00	16.20	348.04	33.86	0.80	42.51	1.26
58	İstanbul	24.00	14.40	309.27	30.09	14.66	2.05	0.06
59	Erzincan	23.80	14.28	306.71	29.84	0.22	133.87	3.97
60	Sinop	21.75	13.05	280.33	27.28	0.20	133.62	3.96
61	Adıyaman	21.43	12.86	276.17	26.87	0.60	44.58	1.32
62	Karaman	20.37	12.22	262.54	25.55	0.24	105.47	3.13
63	Bayburt	19.37	11.62	249.61	24.29	0.08	309.19	9.16
64	Nevşehir	19.30	11.58	248.74	24.20	0.29	84.40	2.50
65	Giresun	19.24	11.55	247.99	24.13	0.43	56.55	1.68
66	Osmaniye	17.88	10.73	230.43	22.42	0.51	43.72	1.30
67	Bitlis	16.50	9.90	212.65	20.69	0.34	60.78	1.80

No.	İl	Biyogaz	CH <sub>4</sub>	Isıl Değer	Elektrik	Nüfus	Kişi Başına	Toplam
							Düşen	
							Potansiyeli	Oranı
		10 <sup>6</sup> .m <sup>3</sup> .yıl <sup>-1</sup>	10 <sup>6</sup> .m <sup>3</sup> .yıl <sup>-1</sup>	10 <sup>6</sup> .MJ.(m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup> .yıl <sup>-1</sup>	10 <sup>6</sup> .kWsa.(m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup> .yıl <sup>-1</sup>	10 <sup>6</sup> .kişi	kWsa.kişi <sup>-1</sup> .yıl <sup>-1</sup>	%
68	Batman	16.39	9.84	211.29	20.56	0.57	36.28	1.08
69	Gümüşhane	16.38	9.83	211.06	20.54	0.15	135.60	4.02
70	Kırkkale	15.97	9.58	205.78	20.02	0.27	74.08	2.20
71	Bartın	14.51	8.71	187.06	18.20	0.19	95.44	2.83
72	Bilecik	13.57	8.14	174.87	17.02	0.21	80.12	2.37
73	Artvin	12.78	7.67	164.77	16.03	0.17	95.22	2.82
74	Karabük	12.24	7.34	157.76	15.35	0.24	64.78	1.92
75	Hakkâri	11.63	6.98	149.89	14.58	0.28	52.31	1.55
76	Şırnak	11.19	6.71	144.18	14.03	0.49	28.62	0.85
77	Siirt	9.51	5.71	122.55	11.92	0.32	37.22	1.10
78	Tunceli	8.43	5.06	108.66	10.57	0.09	122.83	3.64
79	Rize	6.43	3.86	82.92	8.07	0.33	24.53	0.73
80	Kilis	4.53	2.72	58.34	5.68	0.13	43.44	1.29
81	Yalova	2.50	1.50	32.19	3.13	0.23	13.44	0.40
<b>Türkiye</b>		<b>4189.12</b>	<b>2513.47</b>	<b>53989.32</b>	<b>5253.15</b>	<b>78.74</b>	<b>66.71</b>	<b>1.98</b>

İkinci senaryo sonucuna göre il bazında Türkiye'nin en fazla potansiyele sahip illeri sırasıyla Konya, Balıkesir, İzmir, Afyon, Manisa ve Erzurum olarak belirlenmiştir. Konya ili 210.5 milyon m<sup>3</sup>/yıl biyogaz, 126.3 milyon m<sup>3</sup>/yıl biyometan ile en fazla potansiyele sahip ilimizdir (Çizelge 4.8). Balıkesir ili ise 210 milyon m<sup>3</sup>/yıl biyogaz, 126 milyon m<sup>3</sup>/yıl biyometan potansiyeli ile Konya ili ile yaklaşık aynı düzeyde potansiyele sahiptir. Bunun nedeni olarak bu ildeki kümes hayvancılığın ön plana çıkmış olması gösterilebilir. En düşük biyometan potansiyeline sahip ilimiz ise 1.5 milyon m<sup>3</sup>/yıllık potansiyeli ile Yalova'dır. Birinci senaryo sonuçlarına benzer şekilde Ege ve Kuzey Doğu Anadolu bölgeleri hayvan gübresi kaynaklı biyometan potansiyeli açısından diğer bölgelere göre daha zengindir. Özellikle Doğu Karadeniz Bölgesi (Artvin, Rize, Giresun, Gümüşhane ve Bayburt) illeri ve Doğu Anadolu Bölgesinin (Hakkâri, Şırnak, Siirt, Bitlis ve Batman) güney illeri biyogaz üretiminde önemli potansiyele sahip olan büyükbaş hayvancılığı bakımından diğer bölgelere göre daha az gelişmiş olduğundan düşük biyometan potansiyeline sahip yerler olarak ön plana çıkmaktadır (Şekil 4.13).

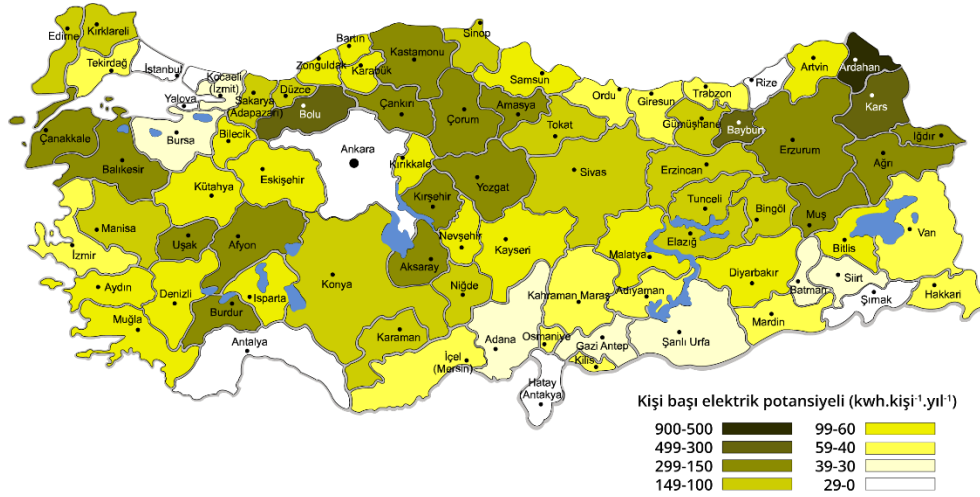




Şekil 4.13. Türkiye'nin 2015 yılı İl Bazlı Hesaplanan Hayvansal Gübre Kaynaklı Uygulanabilir Biyometan Potansiyeli Dağılımı (Senaryo-2)

1 m<sup>3</sup> biyometanın elektrik potansiyeli yaklaşık olarak 2.09 kilovatsaattir. Yapılan ikinci senaryo hesaplamalarına göre Türkiye'nin hayvan gübresi kaynaklı yıllık elektrik potansiyeli yaklaşık 5.25 milyar kWsa/yıl olarak belirlenmiştir. Türkiye'de 2015 yılı sonu itibariyle brüt toplam 265.72 milyar kWsa/yıl elektrik tüketildiğine göre [91] ikinci senaryo hesaplamalarına göre Türkiye nüfusunun yaklaşık 1.9%'luk kısmının elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayabilecek bir biyometan potansiyeli olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.8).

Türkiye'nin 2015 yılı nüfusu yaklaşık 78.74 milyon kişidir ve buna göre kişi başı elektrik tüketimi ise yaklaşık 3375 kilovatsaattir. İkinci senaryo hesaplamalarına göre hayvan gübresinden elektrik enerjisi elde edilmesi durumunda Türkiye'nin kişi başına düşen elektrik enerjisi potansiyeli yaklaşık 66.71 kWsa/kişi/yıl olarak belirlenmiştir. İl bazlı kişi başı elektrik enerjisi ihtiyacının biyometandan karşılama kapasitesi bakımından sırasıyla Ardahan, Bolu, Kars, Bayburt, Çankırı ve Erzurum illeri diğer illere göre daha ön plana çıkmaktadır. Ardahan ilinin 2015 yılında biyometandan elde edilebilecek elektrik enerjisi potansiyeli (84.1 milyon kWsa/yıl) ve ilin 2015 yılı nüfusu (99265 kişi) birbiriyle oranlandığında kişi başına üretilebilecek enerji miktarı 847 kWsa/kişi/yıl olarak hesaplanmıştır. Buradan Ardahan ilinin 2015 yılı kişi başı elektrik enerjisi ihtiyacının yaklaşık 25.1%'lik kısmının hayvan gübrelerinden sağlanabileceği sonucuna varılmıştır (Şekil 4.14).



Şekil 4.14. Türkiye'nin 2015 yılı İl Bazlı Hesaplanan Biyogaz Enerjisi Kaynaklı Kişi Başına Düşen Elektrik Potansiyeli Dağılımı (Senaryo-2)

Her iki senaryo sonucuna bakıldığında, biyogazın Türkiye'nin doğu bölgelerindeki illerinin kişi başı elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanmasında önemli bir potansiyele sahip olduğu görülmektedir. Bunun nedeni olarak bu illerdeki nüfus yoğunluğunun az olması ve biyogaz üretiminde diğer hayvan türlerine göre daha yüksek potansiyele sahip büyükbaş hayvan sayısının fazla olması gösterilebilir.

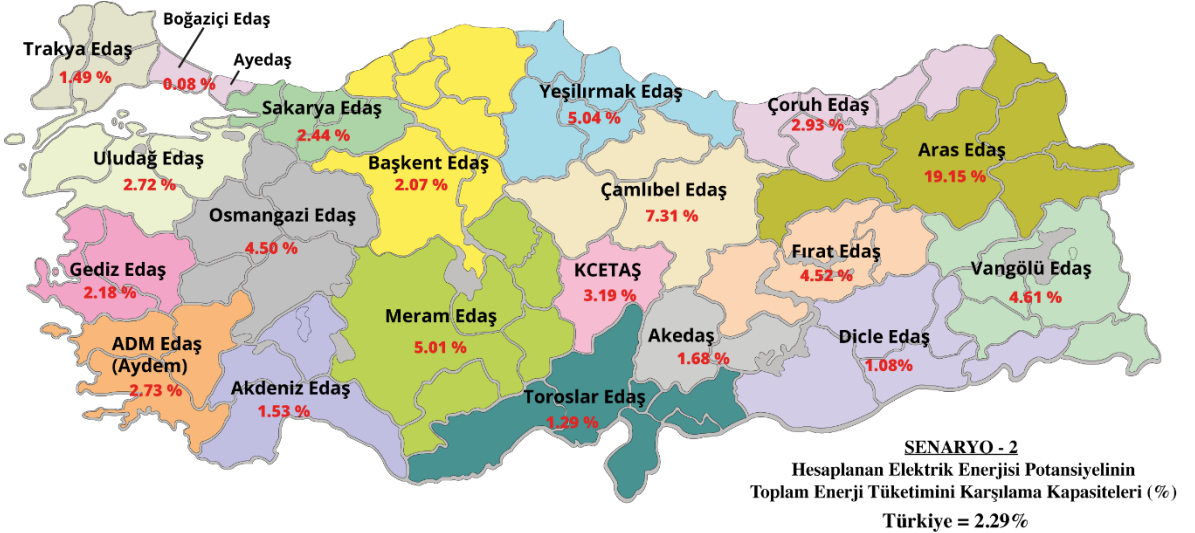
2015 yılında Türkiye'deki 81 ile elektrik enerjisi dağıtımını yapan 21 farklı elektrik dağıtım şirketi vardır. 2015 yılı sonu itibarıyla bu dağıtım şirketleri aracılığıyla faturalanan elektrik tüketim miktarı yaklaşık 193.42 milyar kWsa/yıl, kayıp-kaçak oranlarıyla birlikte toplam tüketim miktarı yaklaşık 229.86 milyar kWsa/yıl olarak belirlenmiştir [92]. Bu çalışmadaki ikinci senaryo sonuçlarına göre Türkiye'nin 2015 yılı elektrik enerjisi potansiyeli ise 5.25 milyar kWsa/yıl olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değer, Türkiye'deki 2015 yılı dağıtım şirketleri aracılığıyla tüketilen toplam elektrik enerjisi miktarının yaklaşık 2.29%'luk kısmını karşılayabileceği sonucuna varılmıştır (Çizelge 4.9).

Çizelge 4.9. İkinci Senaryo Sonucu Belirlenen Elektrik Enerjisi Potansiyelinin Türkiye'nin 2015 yılı Toplam Elektrik Tüketimini (Dağıtım Şirketleri Aracılığıyla) Karşılama Kapasitesi [92]

No.	Elektrik Dağıtım Şirketleri	Bağlı İller	2015 yılı Faturalanan Toplam Tüketim		Kayıp Kaçak Oranı %	2015 yılı Toplam Tüketim		Senaryo-2 Elektrik Enerjisi Potansiyeli 10 <sup>6</sup> .kWsa.yıl <sup>-1</sup>	Toplam Tüketimi Karşılama Kapasitesi %
			10 <sup>6</sup> .mWsa.yıl <sup>-1</sup>	10 <sup>6</sup> .kWsa.yıl <sup>-1</sup>		10 <sup>6</sup> mWsa.yıl <sup>-1</sup>	10 <sup>6</sup> kWsa.yıl <sup>-1</sup>		
1	Boğaziçi Edaş	İstanbul (Avrupa)	24.33	35552.87	9.44	26.85	38921.79	30.09	0.08
2	Ayedaş	İstanbul (Anadolu)	11.23		7.00	12.07			
3	Toroslar Edaş	Adana Mersin Hatay Osmaniye Gaziantep Kilis	20.59	20594.33	12.50	23.54	23536.38	303.85	1.29
4	Gediz Edaş	İzmir Manisa	17.95	17947.91	7.36	19.37	19373.83	421.50	2.18
5	Başkent Edaş	Ankara Çankırı Bartın Zonguldak Kastamonu Kırıkkale Karabük	15.75	15750.04	7.00	16.94	16935.53	350.06	2.07
6	Uludağ Edaş	Bursa Balıkesir Yalova Çanakkale	15.18	15180.52	6.94	16.31	16312.62	444.07	2.72
7	Sakarya Edaş	Sakarya Bolu Kocaeli Düzce	13.75	13751.82	6.68	14.74	14736.20	359.17	2.44
8	Akdeniz Edaş	Antalya Isparta Burdur	9.09	9093.06	7.02	9.78	9779.59	149.30	1.53
9	ADM Edaş (Aydem)	Aydın Denizli Muğla	8.54	8543.39	7.03	9.19	9189.40	250.63	2.73
10	Meram Edaş	Konya Karaman Niğde Nevşehir Kırşehir Aksaray	8.48	8478.91	7.30	9.15	9146.62	458.47	5.01
11	Trakya Edaş	Kırklareli Tekirdağ Edirne	8.27	8271.18	7.39	8.93	8931.20	132.71	1.49
12	Osmangazi Edaş	Eskişehir Bilecik Kütahya Afyon Uşak	7.87	7868.00	7.62	8.52	8517.00	383.49	4.50
13	Dicle Edaş	Diyarbakır Şanlıurfa Batman Mardin Siirt Şırnak	6.63	6627.15	72.12	23.77	23770.28	257.01	1.08
14	Yeşilirmak Edaş	Samsun Ordu Sinop Amasya Çorum	5.42	5423.85	7.90	5.89	5889.09	296.80	5.04
15	Akedaş	Adıyaman K. Maraş	4.53	4533.32	4.98	4.77	4770.91	80.36	1.68
16	Çoruh Edaş	Trabzon Artvin Giresun Gümüşhane Rize	3.29	3290.31	9.28	3.63	3626.88	106.31	2.93

No.	Elektrik Dağıtım Şirketleri	Bağlı İller	2015 yılı Faturalanan Toplam Tüketim		Kayıp Kaçak Oranı %	2015 yılı Toplam Tüketim		Senaryo-2 Elektrik Enerjisi Potansiyeli $10^6$ kWsa.yıl <sup>-1</sup>	Toplam Tüketimi Karşılama Kapasitesi %
			$10^6$ mWsa.yıl <sup>-1</sup>	$10^6$ kWsa.yıl <sup>-1</sup>		$10^6$ mWsa.yıl <sup>-1</sup>	$10^6$ kWsa.yıl <sup>-1</sup>		
17	Fırat Edaş	Elazığ Malatya Bingöl Tunceli	3.03	3034.82	10.44	3.39	3388.59	153.25	4.52
18	KCETAŞ (Kayseri ve Civarı ETAS)	Kayseri	2.87	2869.43	5.25	3.03	3028.42	96.74	3.19
19	Çamlıbel Edaş	Sivas Tokat Yozgat	2.81	2806.30	7.06	3.02	3019.48	220.67	7.31
20	Aras Edaş	Erzurum Kars Ağrı Erzincan Ardahan İğdır Bayburt	2.20	2203.29	26.60	3.00	3001.76	574.90	19.15
21	Van Gölü Edaş	Van Bitlis Hakkâri Muş Türkiye	1.61	1606.62	59.70	3.99	3986.64	183.76	4.61
			<b>193.43</b>	<b>193427.14</b>	<b>15.85</b>	<b>229.86</b>	<b>229862.21</b>	<b>5253.15</b>	<b>2.29</b>

Elektrik dağıtım şirketleri ve hizmet verdikleri iller bakımından Aras Edaş dağıtım şirketinin hizmet verdiği illerin (Erzurum, Erzincan, Kars, Ağrı, Ardahan, İğdır ve Bayburt) 2015 yılı toplam tüketiminin 19.15%'lik kısmının hayvan gübresi kaynaklı biyometandan elde edilebilecek elektrik enerjisiyle karşılanabileceği sonucu çıkmıştır (Şekil 4.15).



Şekil 4.15. İkinci Senaryo Sonucuna Göre Hesaplanan Elektrik Enerjisi Potansiyelinin Türkiye'nin 2015 Yılı Dağıtım Şirketleri Aracılığıyla Tükettiği Enerjiyi Karşılama Kapasitelerinin Gösterimi

İkinci senaryo sonuçlarına göre Türkiye'deki hayvan türlerinin biyogaz enerjisi potansiyelindeki paylarında süt sığırının payı 39.8%, diğer sığırların payı 31.1%, et ve yumurta tavuklarının toplam payı ise 23.8% olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.10). Birinci senaryoda küçükbaş hayvanların biyogaz enerji potansiyelleri 15.5% olarak hesaplanmışken, ikinci senaryo sonucuna göre bu oran 4.1%'e düşmüştür. Bunun temel sebebi küçükbaş hayvan gübrelerinin toplanabilirlik oranının diğer hayvan gruplarına göre daha düşük olmasıdır. Bunun aksine tavuk gübresinin kolay toplanabilir olması nedeniyle birinci senaryo sonuçlarına kıyasla Türkiye'deki biyogaz enerjisi potansiyelindeki payı (23.8%) önemli miktarda artmıştır. İkinci senaryodaki 50%'lik bir gübre toplanabilirlik oranına rağmen büyükbaş hayvanların biyogaz potansiyellerindeki payı birinci senaryoya göre neredeyse aynı oranda kalmıştır. Bu da Türkiye özelinde büyükbaş hayvanların biyogaz üretiminde öncelikli olarak değerlendirilmesi gerekliliğini göstermektedir.

Çizelge 4.10. Türkiye'nin Hayvan Türlerine Göre Hesaplanan 2015 yılı Biyogaz Enerjisi Uygulanabilir Potansiyeli Miktarları (Senaryo-2)

Hayvan Türü	2015 yılı Hayvan Sayısı [82]	Toplam Toplanabilir Gübre Miktarı	Biyogaz Verimliliği [87]	Toplam Biyogaz Miktarı	Metan İçeriği	Toplam Metan Miktarı	Toplam Biyogaz Miktarındaki Payı
	Adet	ton.gün <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> .ton <sup>-1</sup>	10 <sup>6</sup> .m <sup>3</sup> .gün <sup>-1</sup>	%	10 <sup>6</sup> .m <sup>3</sup> .yıl <sup>-1</sup>	%
Süt Sığırı	5535779	15223	300	4.57	60	1000	39.8
Diğer Sığırlar	8458292	11906	300	3.57	60	782	31.1
Manda	133766	183	300	0.05	60	12	0.5
Koyun	31507934	1828	200	0.37	60	80	3.2
Keçi	10416166	495	200	0.10	60	22	0.9
At	122704	134	300	0.04	60	9	0.4
Eşek ve Katır	197681	75	300	0.02	60	5	0.2
Et Tavuğu	213658294	3236	510	1.65	60	361	14.4
Yumurta Tavuğu	98597340	2108	510	1.08	60	235	9.4
Hindi	2827731	45	510	0.02	60	5	0.2
Ördek+Kaz	1249081	14	510	0.01	60	2	0.1
<b>Toplam</b>				<b>11.48</b>		<b>2513.47</b>	

#### 4.2.3. Biyogaz Enerjisi Potansiyelinin Maliyet Yönünden Ülke Ekonomisine Katkısı

Türkiye’deki dağıtım şirketleri aracılığıyla 2015 yılında faturalanan toplam elektrik enerjisi tüketim miktarı yaklaşık 193.43 milyar kWsa/yıl olarak belirlenmiştir [92]. Bu tüketim miktarı mesken, sanayi, ticarethane, tarımsal sulama ve aydınlatma olmak üzere 5 farklı abone türüne göre hesaplanmıştır. En fazla tüketim 79.04 milyar mWsa/yıl ile sanayi tüketimine aittir. Her abone türüne göre belirlenen elektrik satış fiyatları ile birlikte 2015 yılında tüm vergiler hariç yaklaşık toplam 56.93 milyar TL ülke ekonomisine katkı sağlanmıştır (Çizelge 4.11).

Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması (YEKDEM) kapsamında çıkarılan kanun ile yenilenebilir enerji kaynağına dayalı üretim tesisi tipine göre devlet teşvikleri belirlenmiştir. Biyokütleyle bağlı üretim tesisleri 13.3 ABD cent/kWsa ile en fazla teşvik alan yenilenebilir enerji tesisleridir [93]. 2010 yılında çıkarılan bu kanun düzenlemesi ile devlet 10 yıl boyunca elektrik dağıtım şirketleri aracılığıyla bu fiyattan satın alma garantisi vermektedir. Buna göre bu çalışmada birinci ve ikinci senaryoya göre belirlenen sırasıyla 10.55 ve 5.25 milyar kWsa/yıl elektrik enerjisi potansiyellerinin ülke ekonomisine katkıları sırasıyla 3.77 ve 1.88 milyar TL olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.11).

Türkiye’deki 2015 yılı ortalama elektrik satış fiyatı tüm vergiler hariç 0.29 TL/kWsa olarak belirlenmiştir. Birinci ve ikinci senaryo sonuçlarına göre belirlenen elektrik enerjisi potansiyelleri ile bu fiyattan elde edilebilecek gelirler sırasıyla 3.08 ve 1.53 milyar TL’dir. Buna göre biyogaz tesisleri için belirlenen elektrik satış fiyatından (0.35 TL/kWsa) birinci senaryo hesaplamasına göre 688 milyon TL, ikinci senaryo hesaplamasına göre ise 342.5 milyon TL ek kazanç sağlanabilir sonucuna varılmıştır (Çizelge 4.11).

Çizelge 4.11. Birinci ve İkinci Senaryoda Belirlenen Elektrik Enerjisi Potansiyellerinin Maliyet Yönünden Ülke Ekonomisine Katkıları

Abone Türü	2015 yılı Elektrik Satış Fiyatları[94]		2015 yılı Faturalanan Toplam Tüketim Miktarları[94]		2015 yılı Elde Edilen Toplam Gelir	
	kuruş/kWsa	TL/kWsa	10 <sup>6</sup> .mWsa/yıl	10 <sup>6</sup> .kWsa/yıl	milyon TL	milyar TL
Mesken	31.0485	0.310485	47.90	47897.23	14871.37	14.87
Sanayi	27.2358	0.272358	79.04	79044.86	21528.50	21.53
Ticarethane	31.3157	0.313157	57.31	57306.44	17945.91	17.95
Tarımsal Sulama	27.3972	0.273972	4.87	4869.15	1334.01	1.33
Aydınlatma	28.9495	0.289495	4.31	4309.48	1247.57	1.25
Toplam	-	-	193.43	193427.14	56927.36	56.93
Birim enerji bedeli+fonlar = 8% ve Vergi 18% hariç						

	2015 yılı Elektrik Üretim Potansiyeli	Yenilenebilir Enerji (Biyogaz) için Uygulanacak Satış Fiyatları[93]			Ülke Ekonomisine Katkısı	
		10 <sup>9</sup> .kWsa/yıl	ABD Cent/kWsa	ABD Dolar/kWsa	TL/kWsa	milyar TL
Senaryo-1	10.55	13.3	0.133	0.357105	3.77	
Senaryo-2	5.25	13.3	0.133	0.357105	1.88	
1 ABD Doları = 2.6850 TL (30 Haziran 2015 tarihli Dolar Alış kuru alınmıştır).						
	2015 yılı Elektrik Üretim Potansiyeli	2015 yılı Ortalama Elektrik Satış Fiyatı	Ortalama Elektrik Satış Fiyatı ile Elde Edilecek Gelir	Yenilenebilir Enerji (Biyogaz) Satış Fiyatı ile Elde Edilecek Gelir	Ülke Ekonomisine Katkı Farkı (Kazanç)	
					10 <sup>9</sup> .kWsa/yıl	TL/kWsa
Senaryo-1	10.55	0.2918934	3.08	3.77	0.69	688.06
Senaryo-2	5.25	0.2918934	1.53	1.88	0.34	342.57
Birim enerji bedeli+fonlar = 8% ve Vergi 18% hariç						

#### 4.2.4. Biyogaz Enerjisi Potansiyeli Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bu çalışmada iki farklı senaryo üzerinden biyogaz enerjisi potansiyeli hesaplanmıştır. Birinci senaryoda hayvan gübresi toplanabilirlik oranları hesaba katılmadan Türkiye'nin teorik yani hayvan gübresinden sağlanabilecek tüm biyogaz enerjisi potansiyeli hesaplanmıştır. Buna göre Türkiye'nin toplam biyogaz potansiyeli 8.14 milyar m<sup>3</sup>/yıl, biyometan potansiyeli ise 5.04 milyar m<sup>3</sup>/yıl olarak belirlenmiştir. İl bazında ise sırasıyla, Konya, Balıkesir, İzmir, Erzurum, Afyon ve Manisa en fazla biyogaz potansiyeline sahip illerdir. Bu hesaplama sonucuna göre büyükbaş hayvanlar 71.1%'lik üretim payı ile en fazla biyogaz potansiyeline sahiptir. Küçükbaş hayvanlar ise 15.5%'lik üretim payı ile ikinci sırada yer almaktadır.

İkinci senaryoda ise hayvan gübrelerinin toplanabilirlik oranları hesaplamalara dâhil edilmiş ve bunun sonucu olarak Türkiye'nin uygulanabilir yani beklenen mevcut potansiyeli belirlenmiştir. Buna göre Türkiye'nin biyogaz potansiyeli 4.18 milyar m<sup>3</sup>/yıl, biyometan potansiyeli ise 2.51 milyar m<sup>3</sup>/yıl olarak belirlenmiştir. İl bazında ise sırasıyla, Konya, Balıkesir, İzmir, Afyon, Manisa ve Erzurum en fazla biyogaz potansiyeline sahip illerdir. Bu hesaplama sonucuna göre büyükbaş hayvanlar 71.4%'lük üretim payı ile en fazla biyogaz potansiyeline sahiptir. Kümes hayvanları ise 24.1%'lik üretim payı ile ikinci sırada yer almaktadır. Küçükbaş hayvanların üretim payları ise 1.3% olarak belirlenmiştir. Bunun

başlıca nedeni olarak bu tür hayvanların gübre toplanabilirlik oranlarının çok düşük olmasıdır.

Birinci ve ikinci senaryo sonuçları kıyaslandığında üretim miktarları bakımından yaklaşık 49.7%'lik bir fark ortaya çıkmıştır. Özellikle tavuk sayısı bakımından zengin olan Manisa, Balıkesir, Bolu, Sakarya, İzmir ve Afyon gibi illerin biyogaz enerji potansiyellerinin önemi ikinci senaryoda daha da artmıştır. Bunun başlıca nedeni olarak tavukların çiftliklerde yetiştirilmesinden dolayı bu hayvanların gübrelerinin diğer tür hayvanlara göre daha kolay elde edilebilir olması gösterilebilir.

Her iki senaryoya göre Türkiye'deki biyogaz üretimi için büyükbaş hayvan gübreleri en fazla potansiyele sahiptir. Fakat bu hayvan türleri için doğru bir gübre yönetiminin oluşturulması bir o kadar da zordur. Özellikle kırsal hayvancılığın yaygın olduğu ülkemizde, bu hayvan gübrelerinin uygun koşullar altında toplanması, muhafaza edilmesi ve tesise ulaştırılması neredeyse imkansızdır. Bu hayvan türlerinin barınaklarda bekletilme oranları ne kadar yükseltirse, gübre toplanabilirlik oranları artacak ve dolayısıyla biyogaz potansiyeli de artacaktır. Küçükbaş hayvanların sayıları ülke genelinde oldukça fazla olmasına rağmen hem kırsal hayvancılık ve hem de bu tür hayvanların biyogaz verimliliğinin düşük olmasından dolayı her iki senaryo için biyogaz üretimdeki payları düşüktür. Tek tırnaklı hayvanların biyogaz verimliliği yüksek olsa da nüfus bakımından az sayıda olmaları üretimdeki payını düşürmektedir.

Bu nedenle biyogaz enerjisi potansiyeli açısından Türkiye için en önemli çiftlik hayvan grupları, gübrelerinin kolay toplanabilir olması ve ülke genelindeki yüksek popülasyonundan dolayı et ve yumurta tavukları ile uzun otlama süreleri nedeniyle tavuk yetiştiriciliğine oranla daha düşük gübre toplanabilirliğine sahip (50%) olmasına rağmen gübre miktarının fazlalığı ve gübre kompozisyonunun biyogaz üretimi açısından uygunluğu ve aynı zamanda ülke genelindeki yüksek popülasyonu nedenleriyle sığırlardır.

Türkiye'de 2015 yılı sonu itibarıyla 265.72 milyar kWsa/yıl elektrik tüketilmiştir [91] ve bu da kişi başı yıllık elektrik tüketimin yaklaşık 3375 kWsa/yıl olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada Türkiye'nin 2015 yılı biyometan potansiyeli miktarı birinci senaryo için 5.04 milyar m<sup>3</sup>/yıl, ikinci senaryo için 2.51 milyar m<sup>3</sup>/yıl olarak hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalarda bu değerlerin yaklaşık sırasıyla 10.55 milyar kWsa/yıl ve 5.25 milyar kWsa/yıl elektrik üretim potansiyellerine eşit olduğu sonucu çıkarılmıştır. Buradan,



Türkiye'nin 2015 yılı kişi başı toplam elektrik ihtiyacının yaklaşık 4%'ü ile 2%'sini karşılayabilecek bir potansiyeli olduğu çıkarılabilir.

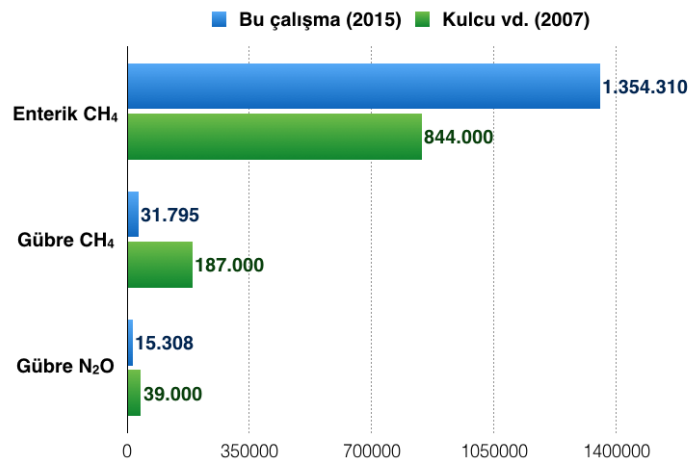
2015 yılında Türkiye'deki 81 ile elektrik enerjisi dağıtımını yapan 21 farklı elektrik dağıtım şirketi vardır. 2015 yılı sonu itibariyle bu dağıtım şirketleri aracılığıyla faturalanan elektrik tüketim miktarı yaklaşık 193.42 milyar kWsa/yıl, kayıp-kaçak oranlarıyla birlikte toplam tüketim miktarı yaklaşık 229.86 milyar kWsa/yıl olarak belirlenmiştir [92]. Bu çalışmadaki birinci ve ikinci senaryo sonuçlarına göre belirlenen Türkiye'nin 2015 yılı elektrik enerjisi potansiyelleri sırasıyla 10.55 ve 5.25 milyar kWsa/yıl olduğuna göre, hesaplanan bu değerlerin Türkiye'deki 2015 yılı dağıtım şirketleri aracılığıyla tüketilen toplam enerji miktarının sırasıyla yaklaşık 4.59% ve 2.29%'luk kısmını karşılayabileceği sonucuna varılmıştır. Her iki senaryoda da hayvan gübresi kaynaklı biyometan gazından elde edilebilecek elektrik enerjisi potansiyelinin en yüksek olduğu bölge Aras Edaş dağıtım şirketinin hizmet verdiği iller olan Erzurum, Erzincan, Kars, Ağrı, Ardahan, Iğdır ve Bayburt olarak belirlenmiştir.

Yapılan literatür araştırmalarına göre 2016 yılı ortası itibariyle Türkiye'de hayvan gübresini hammadde olarak kullanan biyogaz tesislerinin sayısı 15 ve toplam kapasiteleri 34.65 mW olarak belirlenmiştir (Şekil 2.18). Bu tesislerin tam kapasiteyle çalıştıklarında toplam elektrik üretim kapasiteleri ise yaklaşık 303.534 milyon kWsa/yıldır. Bu değer, birinci senaryo sonucuna göre hesaplanan elektrik üretim potansiyelinin yaklaşık 2.8%'ine, ikinci senaryo sonucuna göre hesaplanan elektrik üretim potansiyelinin ise yaklaşık 5.7%'sine denk gelmektedir. Sonuç olarak toplam kapasitenin birinci ve ikinci senaryo sonuçlarına göre sırasıyla 97.1%'i ile 94.3%'ü kullanılmamaktadır. Bu tesislerin çoğunda hayvan gübresi dışında diğer tür organik hammaddelerin kullanılıyor olması da dikkate alınmalıdır.

### 4.3. Tartışmalar

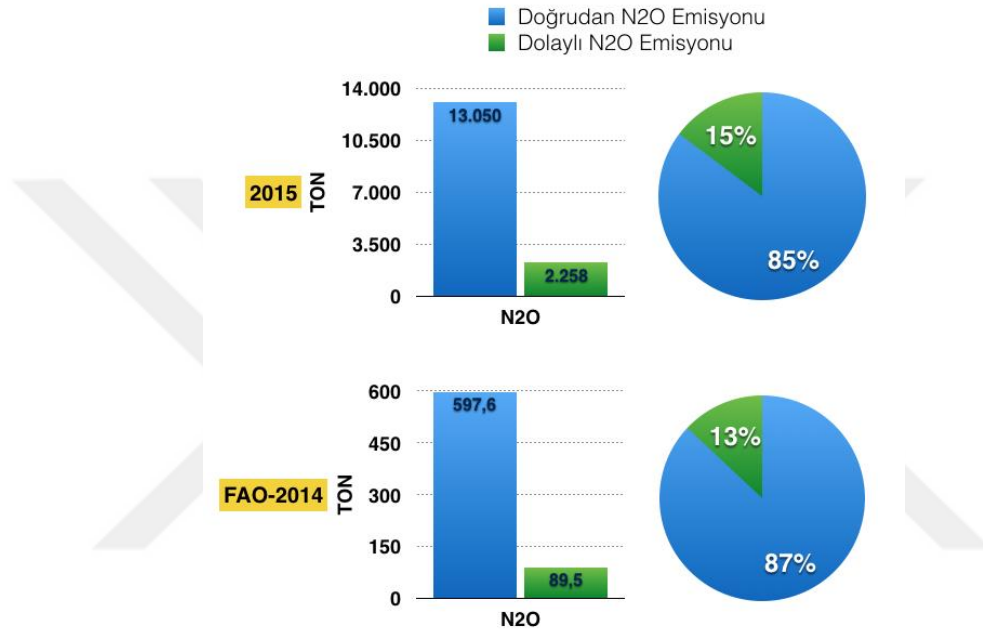
Bu çalışmada sera gazı emisyonları hesaplamalarında IPCC 2006 kılavuzu kullanılmıştır. Türkiye, hayvan ağırlıklarının belirleyici faktör olduğu enterik metan ve gübre yönetimi kaynaklı N<sub>2</sub>O emisyonları hesaplamalarında Doğu Avrupa ülke kategorisinde değerlendirilmiş iken hayvan gübrelerinin depolanma şeklinin ve depolandığı ortamın sıcaklık koşullarının belirleyici faktör olduğu gübre yönetimi kaynaklı CH<sub>4</sub> emisyonları hesaplamalarında ise Orta Doğu ülke kategorisinde değerlendirilmiştir. Bunun sonucu olarak hesaplanan sera gazı emisyonları sonuçlarına bakıldığında Türkiye'nin gübre yönetimi kaynaklı 2015 yılı N<sub>2</sub>O emisyon miktarı 15.30 bin ton/yıl, enterik CH<sub>4</sub> emisyon miktarı 1.35 milyon ton ve gübre yönetimi kaynaklı CH<sub>4</sub> emisyonu 31.79 bin tondur. 2015 yılı hayvansal kaynaklı sera gazı emisyonlarının toplam değeri ise 33.85 milyon ton CO<sub>2</sub>e/yıl olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada hesaplanan sera gazı emisyonları sonuçlarının, IPCC metodolojisini kullanarak Türkiye'de veya Türkiye için yapılmış diğer çalışmaların emisyon sonuçlarıyla kıyaslandığında;

Kulcu vd.'ne [95] göre, 2007 yılındaki enterik metan ile gübre yönetimi kaynaklı metan ve nitröz oksit emisyonları sırasıyla 844 bin, 187 bin ve 39 bin tondur. Bu çalışmada hesaplanan sera gazı emisyon sonuçlarıyla kıyaslandığında özellikle gübre yönetimi kaynaklı metan emisyonları farkının oldukça yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 4.16). Bunun sebebi olarak hesaplamalarda kullanılan parametrelerdeki (emisyon faktörleri, hayvan ağırlıkları) ve hesaplama yılından dolayı hayvan sayılarındaki farklılıklar gösterilebilir.



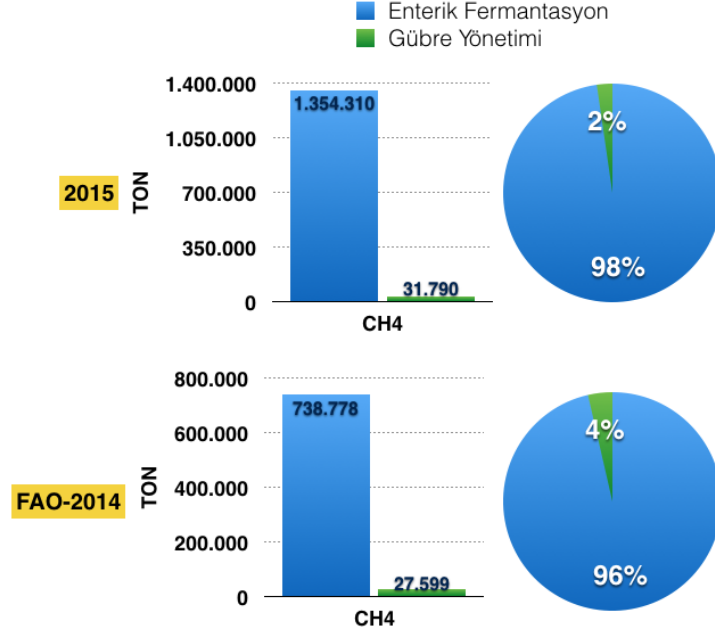
Şekil 4.16. Türkiye'nin 2015 yılı Hesaplanan Sera Gazı Emisyonları ile Kulcu vd.'nin [95] 2007 yılı Sonuçlarının Karşılaştırılması

Benzer şekilde Gıda ve Tarım Örgütü (FAO)'nın 2014 yılı Türkiye için yaptığı emisyon hesaplamalarında gübre yönetimi kaynaklı doğrudan N<sub>2</sub>O emisyonu yaklaşık toplam 597.6 ton/yıl, dolaylı N<sub>2</sub>O emisyonu ise 89.5 ton/yıldır (Şekil 4.17). Bu çalışmada belirlenen N<sub>2</sub>O emisyon sonuçları ile FAO'nun 2014 yılı sonuçları ile kıyaslandığında yaklaşık 22 katı oranında bir fark belirlenmiştir. Bunun başlıca sebebi daha öncede belirtildiği üzere IPCC 2006 kılavuzuna göre seçilen hayvan gruplarıdır. FAO bu çalışmasında Türkiye'yi Orta Doğu ülke kategorisinde değerlendirmiştir.



Şekil 4.17. Türkiye'nin 2015 yılı Hesaplanan N<sub>2</sub>O Emisyonları ile FAO'nun 2014 Yılı N<sub>2</sub>O Emisyonları Sonuçlarının Karşılaştırılması

Yine FAO'nun 2014 yılı Türkiye için yaptığı CH<sub>4</sub> emisyonları sonuçlarına bakıldığında, enterik CH<sub>4</sub> emisyonu yaklaşık toplam 738.778 ton/yıl ve gübre yönetimi kaynaklı CH<sub>4</sub> emisyonu ise 27.59 bin ton/yıl olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada belirlenen CH<sub>4</sub> emisyonu sonuçları (Şekil 4.18) ile FAO'nun 2014 yılı sonuçları ile kıyaslandığında enterik metan emisyonu miktarlarında yaklaşık iki katı bir fark olduğu, gübre yönetimi kaynaklı metan emisyonlarında benzer değerler bulunduğu görülmektedir. Enterik metan emisyonu sonuçlarındaki bu önemli farkın nedeni FAO'nun Türkiye'yi Afrika ve Orta Doğu kategorisinde değerlendirmiş olmasıdır. Gübre yönetimindeki benzer metan emisyonlarının nedeni ise, FAO gibi bu çalışmada da Türkiye'nin IPCC 2006 kılavuzuna göre Afrika ve Orta Doğu ülkesi kategorisinde değerlendirilmiş olmasıdır.



Şekil 4.18. Türkiye'nin 2015 yılı Hesaplanan CH<sub>4</sub> Emisyonları ile FAO'nun 2014 Yılı CH<sub>4</sub> Emisyonları Sonuçlarının Karşılaştırılması

Özellikle N<sub>2</sub>O ve enterik CH<sub>4</sub> emisyon miktarlarına bakıldığında, bu çalışmada hesaplanan değerler ile önemli bir fark olduğu görülmektedir. Bunun nedeni FAO tarafından yapılan hesaplamalarda Türkiye'nin hayvan karakterinin IPCC 2006 kılavuzuna göre Orta Doğu ülkesi varsayılmasıdır. Bu çalışmada ise hayvan karakteri olarak Türkiye'nin bir Doğu Avrupa ülkesi olduğu, fakat gübre yönetiminin henüz yeterince gelişmemesinden dolayı gübre kaynaklı CH<sub>4</sub> emisyonu hesaplamasında tipik bir Orta Doğu ülkesi olduğu varsayılmış ve hesaplamalar bu yönde yapılmıştır.

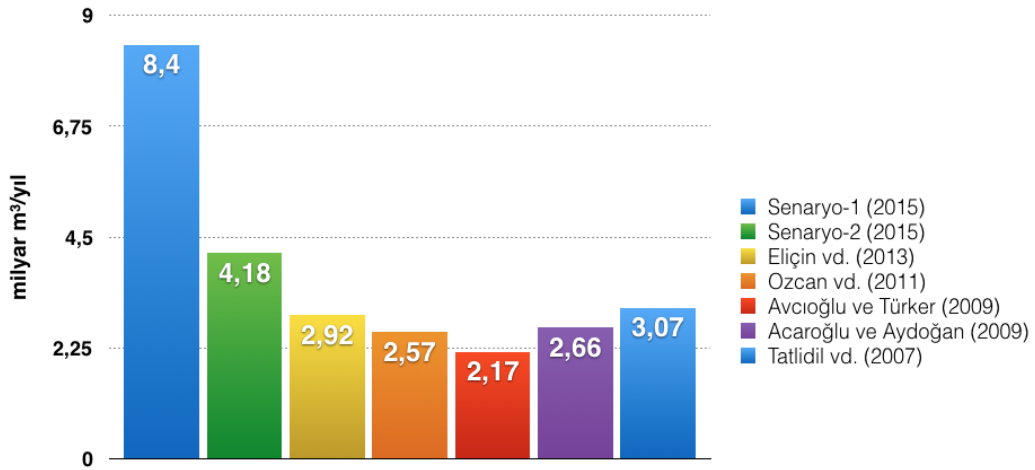
Biyogaz enerjisi potansiyeli hesaplamalarında iki farklı senaryo üzerinden hesaplamalar yapılmıştır. Birinci senaryoda gübre toplanabilirlik oranları 100% olarak kabul edilerek Türkiye'nin teorik biyogaz enerjisi potansiyeli hesaplanmıştır. Buna göre Türkiye'nin toplam teorik biyogaz enerjisi potansiyelinin 2015 yılı için 8.4 milyar m<sup>3</sup>/yıl, 60%'lık metan verimi ile biyometan potansiyelinin ise 5.04 milyar m<sup>3</sup>/ton olduğu hesaplanmıştır. Bu biyometan miktarı ile yaklaşık 10.5 milyar kWsa/yıl elektrik elde edilebilir sonucu çıkmıştır. Bu da bir kişinin yıllık elektrik tüketiminin yaklaşık 4%'lük kısmının hayvan gübresi kaynaklı biyogaz enerjisi ile sağlanabileceğini göstermektedir.

Her hayvan türü için farklı gübre toplama oranlarının hesaba katıldığı İkinci senaryo sonuçlarına göre hesaplanan biyogaz miktarı uygulanabilir biyogaz enerjisi potansiyeli olarak düşünülebilir. Buna göre Türkiye'nin toplam biyogaz potansiyelinin 2015 yılı için

4.18 milyar m<sup>3</sup>/yıl, 60%'lık metan verimi ile hayvansal kaynaklı biyometan potansiyelinin ise 2.51 milyar m<sup>3</sup>/yıl olduğu hesaplanmıştır. Bu biyometan miktarı ile yaklaşık 5.25 milyar kWsa/yıl elektrik elde edilebilir sonucu ortaya çıkmıştır ve bu da bir kişinin yıllık elektrik tüketiminin yaklaşık 1.9%'luk kısmının hayvan gübresi kaynaklı biyogaz enerjisi ile sağlanabileceğini göstermektedir.

İkinci senaryo sonuçları, Türkiye'nin uygulanabilir biyogaz enerjisi potansiyelini ortaya koyması açısından birinci senaryo sonuçlarına göre daha gerçekçidir. Türkiye'de İkinci senaryoda uygulanan hesaplama yöntemine benzer olarak hayvan gübresi kaynaklı biyogaz enerjisi potansiyelinin belirlenmesine yönelik bazı akademik çalışmalar da yapılmıştır.

Bu çalışmalardan, Eliçin vd. [7] Türkiye'nin 2013 yılına ait hayvan gübresi kaynaklı biyogaz potansiyelini 2.92 milyar m<sup>3</sup>/yıl, Ozcan vd. [96] Türkiye'nin 2011 yılına ait hayvan verilerini kullanarak yaptıkları çalışmada biyogaz enerjisi potansiyelini 2.57 milyar m<sup>3</sup>/yıl, Avcioğlu ve Türker [97] Türkiye'nin 2009 yılı hayvan gübresi kaynaklı biyogaz enerjisi potansiyelini 2.17 milyar m<sup>3</sup>/yıl, Acaroğlu ve Aydoğan [98] Türkiye'nin 2009 yılı hayvan gübresi kaynaklı biyogaz enerjisi potansiyelini 2.66 milyar m<sup>3</sup>/yıl ve Tatlıdil vd. [99] Türkiye'nin 2007 yılına ait hayvan gübresi kaynaklı biyogaz enerjisi potansiyelini 3.07 milyar m<sup>3</sup>/yıl olarak hesaplamışlardır (Şekil 4.19).



Şekil 4.19. Hesaplama Sonuçları ile Türkiye için Farklı Yıllarda Yapılan Hayvan Gübresi Kaynaklı Biyogaz Enerjisi Potansiyeli Sonuçlarının Karşılaştırılması

İkinci senaryoda elde edilen biyogaz potansiyeli miktarı (4.18 milyar m<sup>3</sup>/yıl), benzer kapsamda yapılmış diğer akademik çalışmalarla kıyaslandığında daha yüksek biyogaz enerjisi potansiyelinin ortaya çıktığı görülmektedir (Şekil 4.16). Bu farklılığın nedenleri olarak;

1. Diğer yapılan çalışmaların çoğunda sadece büyükbaş, küçükbaş ve kümes (tavuk) hayvanlarının biyogaz potansiyelleri hesaplanırken, bu çalışmada bu hayvan türlerine ek olarak tek tırnaklı hayvanların (at, eşek ve katır) ve diğer kümes hayvanlarının (hindi, ördek ve kaz) biyogaz potansiyelleri de hesaplanmıştır.
2. Bu çalışmadaki biyogaz potansiyeli hesaplamaları TÜİK 2015 yılı hayvan sayıları kullanılarak yapılmıştır. Diğer çalışmaların daha eski yıllara ait olması ve buna bağlı olarak hayvan sayılarındaki farklılıklar (özellikle kümes hayvanlarındaki artış miktarı) bir diğer gerekçe olarak gösterilebilir.
3. Biyogaz potansiyeli hesaplamalarında kritik parametreler olan hayvanların tipik ağırlıklarına göre değişen günlük üretilen gübre miktarları, gübrelerin katı ve uçucu katı içerikleri önemli farklılık nedenleridir.
4. Hesaplamalarda kullanılan hayvan gübrelerinin toplanabilirlik oranları veya hayvanların barınaklarda ve kümeslerde kalma yüzdeleri biyogaz potansiyeli sonuçlarını etkileyen bir diğer parametredir.
5. Hesaplamalarda kullanılan hayvan gübrelerinin hayvan türüne göre değişen biyogaz verimlilikleri arasındaki farklar yine sonucu etkileyen bir diğer parametredir.

Çizelge 4.12’de, bu çalışmada ve diğer akademik çalışmalarda kullanılan ve biyogaz potansiyeli farklılıklarına neden olan kritik parametreler verilmiştir. Buna göre bu çalışmanın ikinci senaryosunda hesaplanan biyogaz potansiyelinin diğer çalışmalardaki sonuçlara göre daha yüksek çıkmasının temel nedenleri olarak;

1. Diğer çalışmaların çoğunda kullanılan düşük biyogaz verimlilikleri
2. Hayvan sayılarındaki farklılıklardır.

Çizelge 4.12. Bu çalışmada ve Diğer Akademik Çalışmalarda Kullanılan Biyogaz Potansiyeli Hesaplama Parametreleri [7],[96],[97],[98],[99]

Hayvan Türü	Akademik Çalışmalar	Hayvan Sayısı	Gübre Miktarı	Gübredeki Katı İçeriği	Gübredeki Uçucu Katı İçeriği	Toplanabilir Hayvan Gübresi Oranları veya Hayvanların Barınaklarda Kalma Yüzdeleri	Biyogaz Verimliliği
		10 <sup>6</sup> adet	Kg.baş <sup>-1</sup> .gün <sup>-1</sup>	%	%	%	m <sup>3</sup> .ton <sup>-1</sup>
Büyükbaş (Sığır ve Manda)	Senaryo -1 (2015)	14.12	Süt sığır = 47.3	Süt sığır = 14	Süt sığır = 83.3	100	300
			Diğer sığırlar = 22.68	Diğer sığırlar = 14.7	Diğer sığırlar = 84.7		
	Senaryo-2 (2015)		Manda = 22.3	Manda = 14.7	Manda = 84.7	50	
	Eliçin vd. (2013)	14.53	25.77 (ortalama)	15	80	50	275
	Ozcan vd. (2011)	12.48	27.26	12.7	Veri yok	65	200
	Avcıoğlu ve Türker (2009)	10.81	15	15	80	Süt sığır = 65 Diğer sığırlar = 25	275
	Acaroğlu ve Aydoğan (2009)	12.93	27.23	Süt sığır = 12.7 Diğer sığırlar = 11.6	Veri yok	Süt sığır = 65 Diğer sığırlar = 25	200
	Tatlıdil vd. (2007)	11.12	9.86	Veri yok	Veri yok	Veri yok	330
	Küçükbaş (Koyun ve Keçi)	Senaryo -1 (2015)	41.92	Koyun = 1.94	Koyun = 27.5	Koyun = 83.6	100
Senaryo-2 (2015)		Keçi = 1.58		Keçi = 31.7	Keçi = 73.1	13	
Eliçin vd. (2013)		38.50	1.06 (ortalama)	30	21	13	205
Ozcan vd. (2011)		32.30	2.24	25	Veri yok	13	200
Avcıoğlu ve Türker (2009)		26.87	2	30	20	13	205
Acaroğlu ve Aydoğan (2009)		30.03	2.25	25	Veri yok	13	200
Tatlıdil vd. (2007)		31.76	1.91	Veri yok	Veri yok	Veri yok	580
Kümes Hayvanları (Et ve Yumurta Tavuğu)	Senaryo -1 (2015)	312.2	Et Tavuğu = 0.08	Et Tavuğu = 25.9	Et Tavuğu = 77.3	100	510
	Senaryo-2 (2015)		Yumurta Tavuğu = 0.12	Yumurta Tavuğu = 25	Yumurta Tavuğu = 75	99	510

Hayvan Türü	Akademik Çalışmalar	Hayvan Sayısı	Gübre Miktarı	Gübredeki Katı İçeriği	Gübredeki Uçucu Katı İçeriği	Toplanabilir Hayvan Gübresi Oranları veya Hayvanların Barınaklarda Kalma Yüzdeleri	Biyogaz Verimliliği
		10 <sup>6</sup> adet	Kg.baş <sup>-1</sup> .gün <sup>-1</sup>	%	%	%	m <sup>3</sup> .ton <sup>-1</sup>
	Eliçin vd. (2013)	270.2	0.1 (ortalama)	Et Tavuğu = 22.5 Yumurta Tavuğu = 70	Et Tavuğu = 72.5 Yumurta Tavuğu = 70	99	Et Tavuğu = 465 Yumurta Tavuğu = 600
	Ozcan vd. (2011)	241.4	0.082	25	Veri yok	99	200
	Avcıoğlu ve Türker (2009)	234	0.09	Et Tavuğu = 22.5 Yumurta Tavuğu = 70	Et Tavuğu = 70 Yumurta Tavuğu = 72.5	99	Et Tavuğu = 465 Yumurta Tavuğu = 600
	Acaroğlu ve Aydoğan (2009)	265.6	0.08	25	Veri yok	99	200
	Tatlıdil vd. (2007)	272.9	0.06	Veri yok	Veri yok	Veri yok	780
	Tek Tırnaklılar (At, Eşek ve Katır)	Senaryo -1 (2015)	0.32	At = 19.23	31.7	66.7	100
Senaryo-2 (2015)		Eşek ve Katır = 6.63		29			
Eliçin vd. (2013)		Hesaplanmamıştır.					
Ozcan vd. (2011)		Hesaplanmamıştır.					
Avcıoğlu ve Türker (2009)		Hesaplanmamıştır.					
Acaroğlu ve Aydoğan (2009)		Veri yok	Veri yok	21	Veri yok	29	Veri yok
Tatlıdil vd. (2007)		Hesaplanmamıştır.					
Diğer Kümes Hayvanları (Hindi, Ördek ve Kaz)	Senaryo -1 (2015)	0.04	Hindi = 0.32	Hindi = 25.5	Hindi = 75.8	100	510
	Senaryo-2 (2015)		Ördek ve Kaz = 0.30	Ördek ve Kaz = 28.2	Ördek ve Kaz = 61.3	Hindi = 26 Ördek ve Kaz = 22	
	Eliçin vd. (2013)	Kümes hayvanları içinde hesaplanmıştır.					
	Ozcan vd. (2011)	Hesaplanmamıştır.					
	Avcıoğlu ve Türker (2009)	Hesaplanmamıştır.					
	Acaroğlu ve Aydoğan (2009)	Veri yok	Veri yok	Hindi - 25	Veri yok	Hindi - 68	200
	Tatlıdil vd. (2007)	Hesaplanmamıştır.					



## 5. GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmada 2015 yılına ait hayvan sayıları kullanılarak Türkiye'nin hayvansal kaynaklı sera gazı emisyonları durumu ve hayvan gübresinden elde edilebilecek toplam biyogaz enerjisi potansiyeli hesaplanmıştır. Buna göre aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Hayvansal kaynaklı sera gazı emisyonları  $N_2O$  ve  $CH_4$ 'tür. Bu emisyonlar IPCC 2006 metodolojisi kullanılarak hesaplanmıştır. Bu metodolojiye göre Türkiye'nin hayvansal kaynaklı toplam  $N_2O$  emisyonu miktarı 15.30 bin ton  $N_2O$ /yıl, toplam  $CH_4$  emisyonu 1.38 milyon ton  $CH_4$ /yıl olarak hesaplanmıştır. Bu emisyonların toplam  $CO_2$  eşdeğeri ise 33.85 milyon ton  $CO_2e$ /yıla denk geldiği belirlenmiştir.
- Hayvansal kaynaklı sera gazı emisyonlarının en fazla olduğu iller sırasıyla Konya, Erzurum, İzmir, Balıkesir ve Kars olarak belirlenmiştir.
- Türkiye'nin 2015 yılı hesaplanan enterik fermantasyon kaynaklı metan emisyonları miktarı yaklaşık 28.44 milyon ton  $CO_2e$ /yıldır. Bu da hesaplanan toplam emisyonların yaklaşık 84%'ünü oluşturmaktadır.
- Türkiye'nin 2015 yılı hesaplanan gübre yönetimi kaynaklı emisyon sonuçlarına göre,  $N_2O$  emisyonu miktarı toplam 4.74 milyon ton  $CO_2e$ /yıl,  $CH_4$  emisyon miktarı ise 667.69 bin ton  $CO_2e$ /yıldır. Bu da hesaplanan toplam emisyonların yaklaşık 16%'sini oluşturmaktadır.
- Türkiye 2014 yılı ulusal sera gazı emisyon envanteri sonuçlarının 2015 yılında da değişmediği varsayıldığında bu çalışmada elde edilen sera gazı emisyon sonuçları Türkiye'nin toplam antropojenik  $CO_2$  emisyonlarının yaklaşık 7.2%'sini oluşturmaktadır. Fakat bu emisyonların çok büyük bir kısmı (yaklaşık 84%'ü) enterik fermantasyon sonucu olduğu için bu emisyonları azaltmaya yönelik bazı yöntemler geliştirilse de kontrol altına almak oldukça zordur.
- Gübre yönetimi kaynaklı toplam sera gazı emisyonları yaklaşık 5.41 milyon ton  $CO_2e$ /yıl olarak hesaplanmıştır. Bu da Türkiye'nin toplam antropojenik  $CO_2$  emisyonlarının yaklaşık 1.16%'sini oluşturmaktadır. Bu gübrelerin yenilenebilir enerji üretiminde kullanılması yaklaşık 1.16% oranında sera gazı azaltımına neden olacaktır.
- UNFCCC kapsamında Türkiye'nin 2015 yılı için beklenen emisyon miktarı 477 milyon ton  $CO_2e$ /yıl, azaltım hedefi ise 449 milyon ton  $CO_2e$ /yıl olarak belirlenmiştir. Bu da 2015 yılı için azaltım hedefinin yaklaşık 5% oranında olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada 2015 yılı için belirlenen gübre yönetimi kaynaklı

emisyona miktarının (5.41 milyon ton CO<sub>2</sub>e/yıl) giderilmesi durumunda, bu hedefin gerçekleştirilmesi doğrultusunda 1.13% oranında emisyona azaltım katkısı sağlayacağı belirlenmiştir.

- Bu çalışmada biyogaz enerjisi potansiyeli iki farklı senaryo üzerinden hesaplanmıştır. Teorik biyogaz enerjisi potansiyelinin hesaplandığı birinci senaryo sonuçlarına göre; Türkiye'nin biyogaz potansiyeli 8.41 milyar m<sup>3</sup>/yıl, biyometan potansiyeli ise 5.04 milyar m<sup>3</sup>/yıl olarak hesaplanmıştır.
- Birinci senaryo sonuçlarına göre en yüksek hayvan gübresi kaynaklı biyogaz potansiyeline sahip ilk 5 ilimiz sırasıyla Konya, Balıkesir, İzmir, Erzurum ve Afyon olarak belirlenmiştir.
- Uygulanabilir biyogaz enerjisi potansiyelinin hesaplandığı ikinci senaryo sonuçlarına göre, Türkiye'nin biyogaz potansiyeli 4.18 milyar m<sup>3</sup>/yıl, biyometan potansiyeli ise 2.51 milyar m<sup>3</sup>/yıl olarak hesaplanmıştır.
- İkinci senaryo sonuçlarına göre en yüksek hayvan gübresi kaynaklı biyogaz potansiyeline sahip ilk 5 ilimiz sırasıyla Konya, Balıkesir, İzmir, Afyon ve Manisa olarak belirlenmiştir. İki senaryodaki il sıralamasındaki değişim tavuk gübresi toplanabilirlik oranı (99%) farklılığından kaynaklanmaktadır.
- Normal sıcaklık ve basınç koşullarında metanın yoğunluğu 0.75 kg/m<sup>3</sup> olarak düşünüldüğünde bu çalışmada hesaplanan gübre yönetimi kaynaklı açığa çıkan metan emisyonu miktarının (31.79 bin ton/yıl) m<sup>3</sup> cinsinden değeri yaklaşık 42.39 milyon m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/yıldır. Bu değer aynı zamanda Türkiye'nin mevcut gerçek biyometan enerjisi potansiyeli olarak da yorumlanabilir. Fakat bu değer mevcut hayvan sayısı ile oranlandığında oldukça düşük bir rakamdır.
- Bu çalışmada yapılan biyogaz hesaplamalarında Türkiye'nin 2015 yılı elektrik üretim potansiyelleri sırasıyla 10.55 ve 5.25 milyar kWsa/yıl olarak hesaplanmıştır. Türkiye'nin 2015 yılında tükettiği brüt toplam elektrik enerjisi miktarı 265.72 milyar kWsa/yıl olduğu düşünüldüğünde bu değer kişi başı tüketimde birinci senaryo sonucuna göre yaklaşık 4%'ü, ikinci senaryo sonucuna göre ise yaklaşık 2%'si hayvan gübresi kaynaklı biyometan üretiminden karşılanabileceği belirlenmiştir.
- Birinci senaryo sonucuna göre il bazlı kişi başı elektrik enerjisi ihtiyacının biyometandan karşılama kapasitesi bakımından sırasıyla Ardahan, Kars, Bayburt, Bolu, Iğdır ve Burdur illeri diğer illere göre daha ön plana çıkmaktadır. Ardahan

ilinin elektrik ihtiyacının yaklaşık %51.2'lik kısmı il genelinde bulunan hayvanların gübrelerinden karşılanabilir sonucu çıkmıştır.

- İkinci senaryo sonucuna göre il bazlı kişi başı elektrik enerjisi ihtiyacının biyometandan karşılama kapasitesi bakımından sırasıyla Ardahan, Bolu, Kars, Bayburt, Çankırı ve Erzurum illeri diğer illere göre daha ön plana çıkmaktadır. Ardahan ilinin elektrik ihtiyacının yaklaşık 25.1%'lik kısmı il genelinde bulunan hayvanların gübrelerinden karşılanabilir sonucu çıkmıştır.
- Türkiye'de 2015 yılında elektrik dağıtım şirketleri aracılığıyla (kayıp-kaçak oranları dahil) toplam 229.86 milyar kWsa/yıl elektrik enerjisi tüketilmiştir. Bu çalışmada birinci ve ikinci senaryo hesaplamalarında belirlenen sırasıyla 10.55 ve 5.25 milyar kWsa/yıl enerji miktarlarının, toplam tüketilen miktarın yaklaşık sırasıyla 4.59% ve 2.29%'luk kısımlarını karşılayabilecek potansiyellerde oldukları sonucuna varılmıştır.
- Elektrik dağıtım şirketleri özelinde ise Aras Edaş şirketinin dağıtım yaptığı bölge illerinin (Erzurum, Erzincan, Kars, Ağrı, Ardahan, Iğdır ve Bayburt) 2015 yılı tükettiği toplam elektrik enerjisinin yaklaşık sırasıyla 42.60% ve 19.15%'lik kısımları birinci ve ikinci senaryo hesaplamalarında belirlenen enerji potansiyelleri ile karşılanabileceği sonucuna varılmıştır.
- Türkiye'de biyokütleyle bağlı enerji üretim tesislerinin alacakları teşvik miktarı 13.3 ABD cent/kWsa olarak belirlenmiştir. Buna göre bu çalışmada birinci ve ikinci senaryoya göre belirlenen sırasıyla 10.55 ve 5.25 milyar kWsa/yıl elektrik enerjisi potansiyellerinin ülke ekonomisine katkıları sırasıyla 3.77 ve 1.88 milyar TL olarak belirlenmiştir.
- Türkiye'de 2016 yılı sonu itibarıyla belirlenen 70 adet biyogaz ve çöp gazı tesisi bulunmaktadır (EK-2). Bu tesislerden hayvan gübresini hammadde olarak kullanan biyogaz tesisi sayısı 15 adet ve toplam enerji kurulu güçleri ise yaklaşık 34.65 mW olduğu belirlenmiştir. Bu tesislerin toplam kapasitelerinin 303.53 milyon kWsa/yıl olduğu düşünüldüğünde toplam üretimin birinci senaryo sonucuna göre 2.8%'inin, ikinci senaryo sonucuna göre ise 5.7%'sinin kullanıldığı belirlenmiştir.

## KAYNAKLAR

- [1] Anonim, “Sera Gazı Emisyonları.” [Online]. Available: [http://unfccc.int/ghg\\_data/ghg\\_data\\_unfccc/items/4146.php](http://unfccc.int/ghg_data/ghg_data_unfccc/items/4146.php) (**Ocak, 2017**).
- [2] Anonim, “Sera Gazı Emisyonlarının Antropojenik Kaynakları.” [Online]. Available: <http://whatsyourimpact.org/greenhouse-gases> (**Ocak, 2017**).
- [3] Intergovernmental Panel on Climate Change, “IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual,” vol. 4, pp. 1–20, **1996**.
- [4] Anonim, “FAOSTAT - 2014 yılı Hayvansal Kaynaklı Sera Gazları Emisyonları Miktarı.” [Online]. Available: <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QA/E> (**Kasım, 2016**).
- [5] DBFZ - Deutsches Biomasse Forschungs Zentrum gemeinnützige GmbH, “Türkiye’de biyogaz yatırımları için geçerli koşulların ve potansiyelin değerlendirilmesi,” Ankara, **2011**.
- [6] Safley, L. M., Casada, M. E., Woodbury, J. W., and Roos, K. F., “Global Methane Emissions From Livestock and Poultry Manure,” **1992**.
- [7] Eliçin, K., Gezici, M., Tutkun, M., Şireli, H. D., Öztürk, F., Koser Eliçin, M., and Gürhan, R., “Potential of biogas from animal wastes of Turkey and determination of suitable reactor size,” *Agriculture & Forestry*, vol. 60, no. 4, pp. 189–197, **2014**.
- [8] Tubiello, F. N., Salvatore, M., Rossi, S., Ferrara, A., Fitton, N., and Smith, P., “The FAOSTAT database of greenhouse gas emissions from agriculture,” *Environmental Research Letters*, vol. 8, no. 1, p. 15009, **2013**.
- [9] Liebig, M. A., Franzluebbbers, A. J., and Follett, R. F., *Agriculture and climate change: Mitigation opportunities and adaptation imperatives*, no. C. **2012**.
- [10] Anonim, “Sera Gazlarının Küresel İklim Potansiyelleri.” [Online]. Available: [http://unfccc.int/ghg\\_data/items/3825.php](http://unfccc.int/ghg_data/items/3825.php) (**Ocak, 2017**).
- [11] Sejian, V., Hyder, I., Ezeji, T., Lakritz, J., Bhatta, R., Ravindra, J. P., Prasad, C. S., and Lal, R., *Climate Change Impact on Livestock: Adaptation and Mitigation*. **2015**.
- [12] Hristov, A. N., Oh, J., Lee, C., Meinen, R., Montes, F., Ott, T., Firkins, J., Rotz, A., Dell, C., Adesogan, A., *et al.*, “Mitigation of Greenhouse Gas Emissions in Livestock Production,” **2014**.
- [13] De Boer, I. J. M., Cederberg, C., Eady, S., Gollnow, S., Kristensen, T., Macleod, M.,

- Meul, M., Nemecek, T., Phong, L. T., Thoma, G., *et al.*, “Greenhouse gas mitigation in animal production: Towards an integrated life cycle sustainability assessment,” *Current Opinion in Environmental Sustainability*, vol. 3, no. 5, pp. 423–431, **2011**.
- [14] Topp, C. F. E., Wang, W., Cloy, J. M., Rees, R. M., and Hughes, G., *Emissions from Agricultural Soils*, vol. 48, no. 1. **2013**.
- [15] Oenema, O., Wrage, N., Velthof, G. L., Van Groenigen, J. W., Dolfing, J., and Kuikman, P. J., “Trends in global nitrous oxide emissions from animal production systems,” *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, vol. 72, no. 1, pp. 51–65, **2005**.
- [16] Bouwman, A. F., and Boumans, L. J. M., “Emissions of N<sub>2</sub>O and NO from fertilized fields: Summary of available measurement data,” *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 16, no. 4, pp. 1–13, **2002**.
- [17] Dong, H., Mangino, J., McAllister, T. A., Hatfield, J. L., Johnson, D. E., Lassey, K. R., de Lima, M. A., and Romanovskaya, A., “2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - Emissions From Livestock and Manure Management,” **2006**.
- [18] Asman, W. A. H., Sutton, M. A., Schjorring, J. K., Asmen, W., Sutton, M. A., and Schorring, J., “Ammonia: emission, atmospheric transport and deposition,” *New Phytologist*, vol. 139, no. 1, pp. 27–48, **1998**.
- [19] Monteny, G. J., and Erisman, J. W., “Ammonia emission from dairy cow buildings: A review of measurement techniques, influencing factors and possibilities for reduction,” *Netherlands Journal of Agricultural Science*, vol. 46, no. 3–4, pp. 225–247, **1998**.
- [20] Smith, K., *Nitrous Oxide and Climate Change*. London: Earthscan Ltd., **2010**.
- [21] Davidson, E. A., “The contribution of manure and fertilizer nitrogen to atmospheric nitrous oxide since 1860,” *Nature Geosci*, vol. 2, no. 9, pp. 659–662, **Sep. 2009**.
- [22] Tiedje, J. M., “Ecology of denitrification and dissimilatory nitrate reduction to ammonium,” *Environmental Microbiology of Anaerobes*, no. April, pp. 179–244, **1988**.
- [23] Eichner, M. J., “Nitrous Oxide Emissions from Fertilized Soils: Summary of Available Data,” *Journal of Environment Quality*, vol. 19, no. 2, p. 272, **1990**.

- [24] Storm, I. M. L. D., Hellwing, A. L. F., Nielsen, N. I., and Madsen, J., “Methods for measuring and estimating methane emission from ruminants,” *Animals*, vol. 2, no. 2, pp. 160–183, **2012**.
- [25] Kebreab, E., Clark, K., Wagner, R. C., and France, J., “Methane and nitrous oxide emissions from Canadian animal agriculture: A review,” *Canadian-Journal-of-Animal-Science*, vol. 86, no. 2, pp. 135–158, **2006**.
- [26] Westberg, H., Lamb, B., Johnson, K. A., and Huyler, M., “Inventory of methane emissions from U.S. cattle,” *Journal of Geophysical Research*, vol. 106, no. D12, p. 12,633-12,642, **2001**.
- [27] Flessa, H., Ruser, R., Dörsch, P., Kamp, T., Jimenez, M. A., Munch, J. C., and Beese, F., “Integrated evaluation of greenhouse gas emissions (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) from two farming systems in southern Germany,” *Agriculture, Ecosystems & Environment*, vol. 91, no. 1–3, pp. 175–189, **2002**.
- [28] Külling, D. R., Menzi, H., Kröber, T. F., Neftel, a., Sutter, F., Lischer, P., and Kreuzer, M., “Emissions of ammonia, nitrous oxide and methane from different types of dairy manure during storage as affected by dietary protein content,” *The Journal of Agricultural Science*, vol. 137, no. 2, pp. 235–250, **2001**.
- [29] Koneswaran, G., and Nierenberg, D., “Global Farm Animal Production and Global Warming: Impacting and Mitigating Climate Change,” *Environmental Health Perspectives*, vol. 116, no. 5, pp. 578-582, **2008**.
- [30] Burke, M., Oleson, K., McCullough, E., and Gaskell, J., “A global model tracking water, nitrogen, and land inputs and Virtual transfers from industrialized meat production and trade,” *Environmental Modeling and Assessment*, vol. 14, no. 2, pp. 179–193, **2009**.
- [31] McAllister, T. A., and Newbold, C. J., “Redirecting rumen fermentation to reduce methanogenesis,” *Australian Journal of Experimental Agriculture*, vol. 48, no. 1–2, pp. 7–13, **2008**.
- [32] Reay, D., Smith, P., and Van Amstel, A., *Methane and Climate Change*. London: Earthscan Ltd., **2010**.
- [33] Janzen, H. H., Desjardins, R. L., Rochette, P., Boehm, M., and Worth, D., *Better Farming Better Air*. Agriculture and Agri-Food Canada, **2008**.

- [34] Tomasula, P. M., and Nutter, D. W., *Mitigation of Greenhouse Gas Emissions in the Production of Fluid Milk*, 1st ed., vol. 62. Elsevier Inc., **2011**.
- [35] Samer, M., Mostafa, E., and Hassan, A. M., “Slurry treatment with food industry wastes for reducing methane, nitrous oxide and ammonia emissions,” *Misr J. Ag. Eng.*, vol. 31, no. 4, pp. 1523–1548, **2014**.
- [36] Novak, S. M., and Fiorelli, J. L., “Greenhouse gases and ammonia emissions from organic mixed crop-dairy systems: A critical review of mitigation options,” *Sustainable Agriculture*, vol. 2, pp. 529–556, **2009**.
- [37] Chadwick, D., Sommer, S., Thorman, R., Fanguero, D., Cardenas, L., Amon, B., and Misselbrook, T., “Manure management: Implications for greenhouse gas emissions,” *Animal Feed Science and Technology*, vol. 166–167, pp. 514–531, **2011**.
- [38] Jiunn-Jyi, L., Yu-You, L., and Noike, T., “Influences of pH and moisture content on the methane production in high-solids sludge digestion,” *Water Research*, vol. 31, no. 6, pp. 1518–1524, **1997**.
- [39] Berg, W., Brunsch, R., and Pazsiczki, I., “Greenhouse gas emissions from covered slurry compared with uncovered during storage,” *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 112, no. 2–3, pp. 129–134, **2006**.
- [40] Penman, J., Gytarsky, M., Hiraishi, T., Irving, W., and Krug, T., “Draft 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories,” *Unep*, pp. 1–12, **2006**.
- [41] Thamsiroj, T., and Murphy, J. D., *Fundamental science and engineering of the anaerobic digestion process for biogas production 104*. **2013**.
- [42] Anonim, “Biyogaz | Türk-Alman Biyogaz Projesi.” [Online]. Available: <http://biyogaz.web.tr/tr/biyogaz-nedir> (**Ekim, 2016**).
- [43] Berglund, M., and Börjesson, P., “Assessment of energy performance in the life-cycle of biogas production,” *Biomass and Bioenergy*, vol. 30, no. 3, pp. 254–266, **2006**.
- [44] Weiland, P., “Biogas production: Current state and perspectives,” *Applied Microbiology and Biotechnology*, vol. 85, no. 4, pp. 849–860, **2010**.
- [45] Seadi, T. A., Rutz, D., Prassl, H., Köttner, M., Finsterwalder, T., Volk, S., and Janssen, R., *Biogas Handbook*, no. 1. Esbjerg: University of Southern Denmark, **2008**.

- [46] Jørgensen, P. J., *Biogas - Green Energy*, 2nd ed. Digisource Danmark A/S, **2009**.
- [47] Vij, S., “Biogas Production From Kitchen Waste,”, p. 48, **2011**.
- [48] Debruyne, J., and Hilborn, D., “Anaerobic Digestion Basics,”, p. 6, **2014**.
- [49] Braun, R., “Anaerobic digestion: A multi-faceted process for energy, environmental management and rural development,” *Improvement of Crop Plants for Industrial End Uses*, pp. 335–416, **2007**.
- [50] Deublein, D., and Steinhauser, A., *Biogas from Waste and Renewable Resources. An Introduction*. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, **2008**.
- [51] Korres, N. E., Kiely, P. O., Jonathan, S. W., and Benzie, J. A. H., *Bioenergy Anaerobic by Digestion and wastes: Using agricultural biomass and organic wastes*. **2013**.
- [52] Ward, A. J., Hobbs, P. J., Holliman, P. J., and Jones, D. L., “Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources,” *Bioresource Technology*, vol. 99, no. 17, pp. 7928–7940, **2008**.
- [53] Ryckebosch, E., Drouillon, M., and Vervaeren, H., “Techniques for transformation of biogas to biomethane,” *Biomass and Bioenergy*, vol. 35, no. 5, pp. 1633–1645, **2011**.
- [54] Khanal, S. K., *Anaerobic Biotechnology for Bioenergy Production Principles and Applications*, 1st ed. Wiley-Blackwell, **2008**.
- [55] Lehtomäki, A., *Biogas Production from Energy Crops and Crop Residues*. Publishing Unit, University of Jyväskylä, **2006**.
- [56] İlkiliç, C., and Deviren, H., “Biyogazın Oluşumunu Etkileyen Fiziksel Ve Kimyasal Parametreler,” *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, pp. 123–131, **2011**.
- [57] Yadvika, Santosh, Sreekrishnan, T. R., Kohli, S., and Rana, V., “Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques - A review,” *Bioresource Technology*, vol. 95, no. 1, pp. 1–10, **2004**.
- [58] Alçiçek, A., “Çiftlik Gübrelerinin Biyogaz Teknolojisinde Kullanılması,” *Ekoloji Çevre Dergisi*, pp. 5–9, **1994**.
- [59] World Bioenergy Association, “WBA fact sheet: BIOGAS – An Important Renewable Energy Source,” **2013**.



- [60] Nachtmann, K., Hofmann, N., Paetzold, J., Baum, S., Pérez, C. M., Falk, O., and Bernhardt, H., “Dry Ice and Liquefied Biomethane — Two Products from Biogas for an Energetic and Economical Upgrading of Biogas Plants,” *Modern Agricultural Science and Technology*, vol. 1, no. 1, pp. 1–7, **2015**.
- [61] Budzianowski, W. M., and Brodacka, M., “Biomethane storage: Evaluation of technologies, end uses, business models, and sustainability,” *Energy Conversion and Management*, **2016**.
- [62] Dalkiliç, K., and Uğurlu, A., “Tavuk Gübresinden Biyogaz Üretimi,” *Tavukçuluk Araştırma Dergisi*, no. 10, pp. 14–19, **2013**.
- [63] Anonim, “Anaerobic Digestion of Biomass.” [Online]. Available: <http://www.alternative-energy-news.info/anaerobic-digestion-biomass> (**Ekim, 2016**).
- [64] Hadin, Å., and Eriksson, O., “Horse manure as feedstock for anaerobic digestion,” *Waste Management*, p. 13, **2016**.
- [65] Cestonaro, T., Costa, M. S. S. de M., Costa, L. A. de M., Rozatti, M. A. T., Pereira, D. C., Lorin, H. E. F., and Carneiro, L. J., “The anaerobic co-digestion of sheep bedding and 50% cattle manure increases biogas production and improves biofertilizer quality,” *Waste Management*, vol. 46, pp. 612–618, **2015**.
- [66] Bujoczek, G., Oleszkiewicz, J., Sparling, R., and Cenkowski, S., “High Solid Anaerobic Digestion of Chicken Manure,” *Journal of Agricultural Engineering Research*, vol. 76, pp. 51–60, **2000**.
- [67] Dalkilic, K., and Ugurlu, A., “Biogas production from chicken manure at different organic loading rates in a mesophilic-thermophilic two stage anaerobic system,” *Journal of Bioscience and Bioengineering*, vol. 120, no. 3, pp. 315–322, **2015**.
- [68] Abouelenien, F., Nakashimada, Y., and Nishio, N., “Dry mesophilic fermentation of chicken manure for production of methane by repeated batch culture,” *Journal of Bioscience and Bioengineering*, vol. 107, no. 3, pp. 293–295, **2009**.
- [69] Cantrell, K. B., Ducey, T., Ro, K. S., and Hunt, P. G., “Livestock waste-to-bioenergy generation opportunities,” *Bioresource Technology*, vol. 99, no. 17, pp. 7941–7953, **2008**.
- [70] Marañón, E., Castrillón, L., Quiroga, G., Fernández-Nava, Y., Gómez, L., and García,

- M. M., “Co-digestion of cattle manure with food waste and sludge to increase biogas production,” *Waste Management*, vol. 32, no. 10, pp. 1821–1825, **2012**.
- [71] Angelidaki, I., and Ellegaard, L., “Codigestion of manure and organic wastes in centralized biogas plants: status and future trends.,” *Applied biochemistry and biotechnology*, vol. 109, no. 1–3, pp. 95–105, **2003**.
- [72] Özer, Y. E., “Türkiye’nin Yenilenebilir ve Temiz Enerji Konusunda ABD, Çin ve Avrupa Birliği İle Karşılaştırmalı Analizi,” *Hitit Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, vol. 1, pp. 137–156, **2016**.
- [73] World Bioenergy Association, “WBA Global Bioenergy Statistics 2014,” p. 40, **2014**.
- [74] Dumitru, M., “Development Trends of Biogas,” vol. 15, no. 1, pp. 165-168, **2015**.
- [75] ACAROGLU, M., KOCAR, G., and HEPBASLI, A., “The Potential of Biogas Energy,” *Energy Sources*, vol. 27, no. January 2015, pp. 251–259, **2005**.
- [76] Taşdemiroğlu, E., “Review of the biogas technology in Turkey,” *Biomass*, vol. 17, no. 2, pp. 137–148, **1988**.
- [77] Hepbasli, A., and Ozgener, O., “Turkey’s Renewable Energy Sources: Part 1. Historical Development,” *Energy Sources*, vol. 26, no. 10, pp. 961–969, **2004**.
- [78] Anonim, “Türkiye’nin 2015 yılı sonu Kurulu Gücü.” [Online]. Available: [www.teias.gov.tr/yukdagitim/2015YILSONUKURULUGÜÇ.xlsx](http://www.teias.gov.tr/yukdagitim/2015YILSONUKURULUGÜÇ.xlsx) (**Ekim, 2016**).
- [79] Anonim, “Türkiye Kurulu Enerji Gücü İstatistikleri.” [Online]. Available: <http://enerjienstitusu.com/turkiye-kurulu-elektrik-enerji-gucu-mW/> (**Aralık, 2016**).
- [80] Anonim, “Türkiye’deki Biyogaz Enerji Santralleri.” [Online]. Available: <http://www.enerjiatlası.com/biyogaz/> (**Eylül, 2016**).
- [81] Anonim, “Türkiye’deki Biyogaz tesisleri.” [Online]. Available: <http://www.biyogaz.web.tr/tr/turkiyedeki-biyogaz-tesisleri> (**Eylül, 2016**).
- [82] Anonim, “TUİK 2015 - Hayvancılık İstatistikleri.” [Online]. Available: <https://biruni.tuik.gov.tr/hayvancilikapp/hayvancilik.zul> (**Temmuz, 2016**).
- [83] Intergovernmental Panel on Climate Change, “Revised 1996 IPCC - Guideline for National Greenhouse Gas Inventories. Manual4. 41-50,” **1996**.
- [84] Anonim, “MGM - Türkiye’deki İllerin Sıcaklık Ortalamaları.” [Online]. Available: <http://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx>. (**Eylül, 2016**).

- [85] Ekinci, K., Kulcu, R., Kaya, D., Yıldız, O., Ertekin, C., and Ozturk, H. H., “The prospective of potential biogas plants that can utilize animal manure in Turkey,” *Energy, Exploration & Exploitation*, vol. 28, no. 3, pp. 187–206, **2010**.
- [86] ASAE, “Manure Production and Characteristics American Society of Agricultural Engineers,” *American Society of Agricultural Engineers*, pp. 682–685, **2003**.
- [87] Plume, I., Dubrovskis, V., and Plume, B., “Specified Evaluation of Manure Resources for Production of Biogas in Planning Region Latgale,” *Renewable Energy and Energy Efficiency*, pp. 103–108, **2012**.
- [88] Anonim, “Hayvancılık Verileri, HAYGEM,” 2013. [Online]. Available: <http://www.tarim.gov.tr/sgb/Belgeler/SagMenuVeriler/HAYGEM.pdf> (**Ocak, 2017**).
- [89] Anonim, “Türkiye İstatistik Kurumu, Seragazı Emisyon Envanteri, 2014.” [Online]. Available: <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=21582> (**Aralık, 2016**).
- [90] Anonim, “Türkiye Cumhuriyeti Niyet Edilen Ulusal Olarak Belirlenmiş Katkı (INDC),” pp. 1–5, **2012**.
- [91] TEİAŞ, “Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ) Faaliyet Raporu 2015,” Ankara, **2016**.
- [92] EPDK, “Elektrik Piyasası 2015 Yılı Piyasa Gelişim Yılı Raporu,” Ankara, **2016**.
- [93] Anonim, “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanıma İlişkin Kanun.” **2010**.
- [94] Anonim, “2015 yılı Elektrik Satış Fiyat Tarifeleri.” [Online]. Available: <http://www.epdk.org.tr/TR/Dokumanlar/TDB/Elektrik> (**Ocak, 2017**).
- [95] Kulcu, R., Ekinci, K., Evrendilek, F., and Ertekin, C., “Long-term spatiotemporal patterns of CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O emissions from livestock and poultry production in Turkey,” *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 167, no. 1–4, pp. 545–558, **2010**.
- [96] Ozcan, M., Öztürk, S., and Oguz, Y., “Potential evaluation of biomass-based energy sources for Turkey,” *Engineering Science and Technology, an International Journal*, vol. 18, no. 2, pp. 178–184, **2015**.
- [97] Avcioglu, A. O., and Türker, U., “Status and potential of biogas energy from animal wastes in Turkey,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, no. 3, pp. 1557–1561, **2012**.

- [98] Acaroğlu, M., and Aydoğan, H., “Biofuels energy sources and future of biofuels energy in Turkey,” *Biomass and Bioenergy*, vol. 36, pp. 69–76, **2012**.
- [99] Tatlidil, F., Bayramoglu, Z., and Akturk, D., “Animal Manure as One of the Main Biogas Production Resources: Case of Turkey,” *Journal of Animal and Veterinary Advances*, vol. 8, no. 12. pp. 2473–2476, **2009**.



## EKLER

### EK-1 – Türkiye'nin 2015 yılı Hayvan Sayıları [82]

No.	İl	Süt sığırı	Diğer Sığırlar	Manda	Koyun	Keçi	At	Eşek+Katır	Et Tavuğu	Yumurta Tavuğu	Hindi	Ördek+Kaz
1	Adana	83897	126650	126	287379	372328	1300	2339	3500310	725267	2510	5314
2	Adıyaman	42414	38874		144861	165506	2957	2754	42000	220300	2886	2599
3	Afyon	115414	227187	5183	778118	58619	1775	4083	415000	18468607	38870	40726
4	Ağrı	122735	203595	737	1288490	99000	3608	3116		127399	42027	19397
5	Aksaray	96660	83988	722	459145	53857	527	1222	360000	290120	12495	12506
6	Amasya	57606	111271	3871	129459	68892	459	1979	124000	1404352	3061	9090
7	Ankara	87251	251550	1311	879187	183335	925	2772	10606693	4529764	13601	14475
8	Antalya	60004	94052	290	426494	654351	1334	2969		465516	59130	5147
9	Ardahan	132324	164240		50121	1851	8010	287		135655	11155	68847
10	Artvin	25177	30208	3	92829	9365	449	229		14148	129	487
11	Aydın	119895	216800	528	205569	106326	3807	7424	2776180	631682	6478	5955
12	Balıkesir	198026	324996	3622	792896	207334	2906	4023	24274239	6621065	88695	67316
13	Bartın	21187	29025	1663	3014	767	740	1647	871000	194500	1085	3005
14	Batman	27618	27956	355	536909	180605	313	1120		135624	58197	8310
15	Bayburt	37993	46404	1062	47904	7378	203	100		87670	1773	1977
16	Bilecik	11870	26864	7	76427	41093	115	342	1540140	253577	1429	1137
17	Bingöl	51701	63131	122	376185	169157	1338	2982		101395	36014	13325
18	Bitlis	27360	25885	7594	430224	271533	422	1668	4400	53476	6340	2964
19	Bolu	46330	90054	1604	97884	32849	516	541	28330812	482672	224177	19899
20	Burdur	90035	114988		246428	204766	435	1198		155900	8900	3276
21	Bursa	69322	126550	1247	351444	107379	2052	1747	5449065	4450390	76200	5871
22	Çanakkale	85236	124791	641	442621	237228	1335	2215	5860808	245250	7450	13895
23	Çankırı	47483	79416	1477	98008	24257	396	1792	2633500	384613	5829	9382
24	Çorum	80190	133569	2687	160427	48470	548	4162	337000	4229074	11383	15978
25	Denizli	87729	156237	98	422629	192822	1184	2271	3146628	2049853	5708	4725
26	Diyarbakır	124960	234921	11510	885722	329158	2413	6416	27500	498220	73234	31775
27	Düzce	19650	32440	3160	12994	864	306	196	7228115	377850	440	3005
28	Edirne	69985	85327	155	288917	57717	907	711	58720	201588	14170	24107
29	Elazığ	61729	81048	45	400646	81943	643	3938	3732980	921070	14187	4374
30	Erzincan	36562	56582	1892	402102	42944	882	670		448022	3345	2577
31	Erzurum	243110	397110	1591	697564	92928	6007	4637		203574	12855	20318

No.	İl	Süt sığırı	Diğer Sığırlar	Manda	Koyun	Keçi	At	Eşek+Katır	Et Tavuğu	Yumurta Tavuğu	Hindi	Ördek+Kaz
32	Eskişehir	51659	76482	325	693412	114980	2370	3473	3124100	1136324	58700	14799
33	Gaziantep	54331	99189	135	307243	216622	2325	1502	338000	2889184	16384	4947
34	Giresun	36254	47195	3175	72558	18640	263	421		37550	1326	344
35	Gümüşhane	30115	43637	119	32677	3883	220	386		92620	239	424
36	Hakkari	17232	17120	45	675684	160731	1343	1529		34362	3728	2236
37	Hatay	43600	82462	821	182140	156919	1326	2259	518850	339080	2252	6423
38	Iğdır	45627	68644	1879	804345	78092	1891	3191		96860	7866	4496
39	Isparta	54473	85778	284	277439	219635	597	2362		217103	17672	6337
40	İstanbul	31550	39609	11518	100255	15666	2329	190	477600	1096102	59924	5105
41	İzmir	234088	328009	54	574289	236701	4952	4526	14021052	5646680	345616	6248
42	K.Maraş	74276	95822	39	309485	263761	1943	3232	172535	595086	16235	9402
43	Karabük	14887	27785	905	18674	3325	224	753	845000	198167	5100	2355
44	Karaman	27988	31218		447207	169769	367	1914		1133348	3454	1858
45	Kars	206998	235551	26	531704	35444	9650	3110		240000	35800	281530
46	Kastamonu	98376	133586	1306	70074	30369	1064	4608	251960	251495	12749	4852
47	Kayseri	96635	191126	5313	574417	64125	845	3643		3727429	10934	6903
48	Kırıkkale	22171	40020	232	94499	21759	59	622	70250	594350	2620	3387
49	Kırklareli	61298	85626	1613	303426	95490	714	1170	21780	260572	4552	15580
50	Kırşehir	33268	108207	139	189600	29297	154	1761		752940	11274	9444
51	Kilis	4489	5798		200730	121366	311	375	220000	82500	2400	600
52	Kocaeli	33358	74458	2129	77104	25653	710	59	7588450	419550	102960	3626
53	Konya	264532	475301	315	1862022	255168	1486	7178	757800	11557230	49218	22853
54	Kütahya	69240	101901	2965	352724	144644	1221	6421	411500	1140055	16885	29732
55	Malatya	54577	75794		236428	65771	1328	2370	2412986	373891	3047	1373
56	Manisa	86292	136981	592	784462	240916	1451	3067	27390125	4314944	640334	3568
57	Mardin	42270	40457		605754	405560	2709	7320		833172	38270	4988
58	Mersin	48033	56592	52	552311	763447	935	2087	16499004	1934104	4251	3039
59	Muğla	77507	125865		175655	234340	2522	4398	210610	545092	19168	10475
60	Muş	122418	162016	6087	815046	169024	2677	3079		262650	61182	134601
61	Nevşehir	27602	46479	22	108506	11706	476	495		808650	4829	4800
62	Niğde	73016	74836	27	462026	84742	396	2245	7500	501963	11272	10064
63	Ordu	56075	67135	1030	121097	2593	755	1537	231200	241898	1155	1218
64	Osmaniye	31466	33909	479	100329	103371	409	344	409000	275290	1066	3507
65	Rize	12897	15423		5212	23684	38	30		15544	209	312
66	Sakarya	61088	96193	1266	53081	18128	685	372	20166050	1219862	191882	8721
67	Samsun	106806	187000	17043	182866	21302	2145	6284	2990999	1429480	20837	55518

No.	İl	Süt sığırı	Diğer Sığırlar	Manda	Koyun	Keçi	At	Eşek+Katır	Et Tavuğu	Yumurta Tavuğu	Hindi	Ördek+Kaz
68	Siirt	10509	10221		573745	454461	1560	6022		74774	7684	2980
69	Sinop	39983	55335	1078	84344	18652	303	2606		111164	3034	1724
70	Sivas	129074	131172	5109	391977	76983	599	2354		669755	11884	6522
71	Şanlıurfa	86475	134981	279	1519357	230096	7648	2181	62170	474051	82723	32816
72	Şırnak	17289	16934	160	340292	270083	2143	8791		74850	12962	5807
73	Tekirdağ	55101	82955	997	227771	60257	1188	387	1100	803528	23065	16618
74	Tokat	90721	146157	8839	251224	58147	956	5132		200071	4364	11142
75	Trabzon	65044	62475	272	105445	13552	51	45		46072	270	449
76	Tunceli	12465	17895		298788	120889	636	724		31860	577	142
77	Uşak	44446	90735		408907	50047	630	2288	8151583	140140	7265	5455
78	Van	69956	96988	444	2456493	247088	4744	3887		381285	18933	9749
79	Yalova	3616	6949		20340	6169	258	143	12500	38950	354	1056
80	Yozgat	96529	145340	2481	344159	63708	183	2776	33000	964481	24625	25599
81	Zonguldak	26626	41242	869	18014	14789	103	482	4942500	183039	848	1598

**EK-2 – Türkiye’deki Mevcut Biyogaz ve Çöp Gazı Üretim Tesisleri ve Kapasiteleri [80], [81]**

No.	Tesis Adı	Yer	Firma	Kurulu Güç (mW)	Atık Kaynak Türü
1	Sofulu Çöplüğü Biyogaz Santrali	Adana	ITC Katı Atık Enerji	16	Belediye Atıkları
2	Adana Batı Atıksu Biyogaz Santrali	Adana	Adana Büyükşehir Belediyesi	0.8	AAT Çamuru
3	Adana Doğu Atıksu Biyogaz Santrali	Adana	Adana Büyükşehir Belediyesi	0.8	AAT Çamuru
<b>4</b>	<b>Afyon Enerji Gübre Biyogaz Enerji Santrali</b>	<b>Afyon</b>	<b>Afyon Enerji</b>	<b>4.02</b>	<b>Hayvan Gübresi ve Tarım Atıkları</b>
5	Afyon - Arel Enerji Biyokütle Tesisi	Afyon	Arel Enerji	2.4	Belediye Atıkları
<b>6</b>	<b>Sütaş Aksaray OSB Gübre Gazı Elektrik Santrali</b>	<b>Aksaray</b>	<b>Enfaş Enerji</b>	<b>6.4</b>	<b>Hayvan Gübresi ve Fabrika Atıkları</b>
7	Aksaray Çöp Gazı Elektrik Santrali	Aksaray	ITC Katı Atık Enerji	1.42	Belediye Atıkları
8	Amasya Çöp Gazı Elektrik Üretim Santrali	Amasya	Boğazköy Enerji Elektrik Üretim	1.2	Belediye Atıkları
<b>9</b>	<b>Sigma Suluova Biyogaz Tesisi</b>	<b>Amasya</b>	<b>Sigma Elektrik</b>	<b>1</b>	<b>Hayvan Gübresi ve Tarım Atıkları</b>
10	Mamak Çöplüğü Biyogaz Tesisi	Ankara	ITC Katı Atık Enerji	25	Belediye Atıkları
11	Sincan Çadırtepe Biyokütle Santrali	Ankara	ITC Katı Atık Enerji	23	Belediye Atıkları
12	ITC-KA Sincan Biyokütle Gazlaştırma Tesisi	Ankara	ITC Katı Atık Enerji	11	Belediye Atıkları
13	Belka Çöp Gazı Biyogaz	Ankara	Ankara Büyükşehir Belediyesi	3.2	AAT Çamuru
<b>14</b>	<b>Albe Biyogaz Santrali</b>	<b>Ankara</b>	<b>Era Grup</b>	<b>3</b>	<b>Hayvan Gübresi (Tavuk Gübresi)</b>
<b>15</b>	<b>Polatlı Biyogaz Tesisi</b>	<b>Ankara</b>	<b>Polres Elektrik</b>	<b>1.47</b>	<b>Hayvan Gübresi ve Tarım Atıkları</b>



No.	Tesis Adı	Yer	Firma	Kurulu Güç (mW)	Atık Kaynak Türü
16	Manavgat - Arel Enerji Biyokütle Santrali	Antalya	Arel Enerji	2.4	Belediye Atıkları
17	<b>Sezer Bio Enerji (Rani Çiftliği - Manavgat)</b>	<b>Antalya</b>	<b>Kalemirler Enerji</b>	<b>0.5</b>	<b>Hayvan Gübresi ve Tarım Atıkları</b>
18	<b>Senkron Efeler Biyogaz Santrali</b>	<b>Aydın</b>	<b>Senkron Enerji</b>	<b>2.4</b>	<b>Hayvan Gübresi</b>
19	Bağfaş Gübre Fabrikası Biyogaz Santrali	Balıkesir	Bağfaş Gübre Fabrikası	9.92	Fabrika Atıkları
20	<b>Gönen Biyogaz Tesisi</b>	<b>Balıkesir</b>	<b>Gönen Yenilenebilir Enerji</b>	<b>3.62</b>	<b>Hayvan Gübresi, Tarım Atıkları, Organik Endüstriyel Atıklar</b>
21	Mauri Maya Bandırma Biyogaz Santrali	Balıkesir	Mauri Maya	2.33	Fabrika Atıkları
22	<b>Bandırma Edincik Biyogaz Santrali</b>	<b>Balıkesir</b>	<b>Telko Enerji</b>	<b>2.13</b>	<b>Hayvan Gübresi (Tavuk Gübresi) ve Mısır Silajı</b>
23	Teksüt Biyogaz Tesisi	Balıkesir	Teksüt		AAT Çamuru
24	Bolu Çöplüğü Biyogaz Santrali	Bolu	CEV Enerji	1.13	Belediye Atıkları
25	Hamitler Çöplüğü Biyogaz Santrali	Bursa	ITC Katı Atık Enerji	9.8	Belediye Atıkları
26	<b>Sütaş Karacabey Biyogaz Tesisi</b>	<b>Bursa</b>	<b>Enfaş Enerji</b>	<b>2.13</b>	<b>Hayvan Gübresi ve Fabrika Atıkları</b>
27	Cargill Tarım Bursa Bioenerji Santrali	Bursa	Cargill Tarım	0.12	AAT Çamuru ve Fabrika Atıkları
28	Kumkısık Çöplüğü Biyogaz Santrali	Denizli	Bereket Enerji	0.64	Belediye Atıkları
29	Denizli AAT Biyogaz Elektrik Üretim Santrali	Denizli	Denizli Büyükşehir Belediyesi	0,48	AAT Çamuru
30	Pak Gıda Düzce Biyogaz Tesisi	Düzce	Pak Gıda	2.096	AAT Çamuru
31	ITC-KA Elazığ Çöp Gazı Santrali	Elazığ	ITC Katı Atık Enerji	2.83	Belediye Atıkları

No.	Tesis Adı	Yer	Firma	Kurulu Güç (mW)	Atık Kaynak Türü
32	Eses Enerji Biyogaz Santrali	Eskişehir	Eses Enerji	2.04	AAT Çamuru
33	Gaziantep Çöp Gazı Tesisi	Gaziantep	CEV Enerji	5.66	Belediye Atıkları
34	GASKİ Atıksu Biyogaz Elektrik Santrali	Gaziantep	Gaziantep Büyükşehir Belediyesi	1.66	AAT Çamuru
35	İskenderun Çöp Gazı Elektrik Üretim Tesisi	Hatay	Novtek Enerji	2.83	Belediye Atıkları
36	Odayeri Çöp Gazı Santrali	İstanbul	Ortadoğu Enerji	34	Belediye Atıkları
37	Kömürcüoda Çöplüğü Biyogaz Santrali	İstanbul	Ortadoğu Enerji	14	Belediye Atıkları
38	Hasdal Biyogaz Tesisi	İstanbul	İstanbul Büyükşehir Belediyesi	4.02	Belediye Atıkları
39	Kemerburgaz Çöplüğü Biyogaz Santrali	İstanbul	Ekolojik Enerji	0.98	Belediye Atıkları
<b>40</b>	<b>Karaman Biyogaz Tesisi</b>	<b>Karaman</b>	<b>Karaman Yenilebilir Enerji A.Ş.</b>	<b>1.41</b>	<b>Hayvan Gübresi (Tavuk ve Büyükbaş Gübresi) ve Mısır Silajı</b>
41	Eman Enerji Karaman Biyokütle Enerji Santrali	Karaman	Eman Enerji	0.95	Belediye Atıkları
42	Kayseri Çöplüğü Biyogaz Elektrik Santrali	Kayseri	Her Enerji	5.78	Belediye Atıkları
43	Kırıkkale Çöp Gazı Enerji Santrali	Kırıkkale	Mustafa Mодоđlu Holding	1	Belediye Atıkları
<b>44</b>	<b>Ovacık Biyogaz Enerji Santrali</b>	<b>Kırklareli</b>	<b>İşıt Biyokütle</b>	<b>4.8</b>	<b>Hayvan Gübresi</b>
<b>45</b>	<b>İlci Tarım Biyogaz Tesisi</b>	<b>Kırşehir</b>	<b>İlci Tarım</b>	<b>0.249</b>	<b>Hayvan Gübresi (Sığır Gübresi)</b>
46	Kocaeli Çöplüğü Biyogaz Santrali	Kocaeli	Ortadoğu Enerji	5.09	Belediye Atıkları
47	Hayat Biyokütle Elektrik Üretim Santrali	Kocaeli	Hayat Enerji	0.96	Belediye Atıkları
48	Frito Lay Gıda Biyogaz Santrali	Kocaeli	Frito Lay	0.7	AAT Çamuru ve Gıda Endüstri Atıkları

No.	Tesis Adı	Yer	Firma	Kurulu Güç (mW)	Atık Kaynak Türü
<b>49</b>	<b>Solaklar İzaydaş Çöp Gazı</b>	<b>Kocaeli</b>	<b>Kocaeli Büyükşehir Belediyesi</b>	<b>0.33</b>	<b>Hayvan Gübresi ve Bitki Atıkları</b>
50	Konya Aslım Çöplüğü Elektrik Üretim Santrali	Konya	ITC Katı Atık Enerji	5.66	Belediye Atıkları
51	Konya Atıksu Biyogaz Santrali	Konya	Konya Büyükşehir Belediyesi	2.44	AAT Çamuru
<b>52</b>	<b>Ekim Grup Gübre Gazı</b>	<b>Konya</b>	<b>Ekim Grup</b>	<b>1.2</b>	<b>Hayvan Gübresi</b>
53	Malatya BŞB Çöp Gazı Elektrik Üretim Santrali	Malatya	Malatya Büyükşehir Belediyesi	2.4	Belediye Atıkları
54	Eman Enerji Mersin Biyokütle Enerji Santrali	Mersin	Eman Enerji	6.02	Belediye Atıkları
55	Karaduvar Atıksu Arıtma Tesisi Biyogaz Santrali	Mersin	Mersin Büyükşehir Belediyesi	1.9	AAT Çamuru
56	Eman Enerji Silifke Biyokütle Enerji Santrali	Mersin	Eman Enerji	1.2	Belediye Atıkları
57	Frito Lay Gıda Kojenerasyon Santrali	Mersin	Frito Lay	0.66	AAT Çamuru ve Gıda Endüstri Atıkları
58	Karma Gıda Biyogaz Santrali	Sakarya	Karma Gıda	1.49	Fabrika Atıkları
59	Pamukova Katı Atık Biyogaz Santrali	Sakarya	Biosun Pamukova	1.4	Belediye Atıkları
60	Samsun Avdan Biyogaz Tesisi	Samsun	Avdan Enerji	6	Belediye Atıkları
61	Sivas Biyogaz Elektrik Santrali	Sivas	Nov Enerji	2.4	Belediye Atıkları
62	Şanlıurfa Biyokütle Enerji Santrali	Şanlıurfa	Full Force Enerji	6.24	Belediye Atıkları
63	Modern Biyokütle Enerji Santrali	Tekirdağ	Eren Enerji	6	Kağıt Fabrikası Atıkları
64	Efes Bira Fabrikası Biyogaz Tesisi	Tekirdağ	Anadolu Grup		AAT Çamuru ve Fabrika Atıkları

No.	Tesis Adı	Yer	Firma	Kurulu Güç (mW)	Atık Kaynak Türü
65	Tokat Çöp Gazı Elektrik Üretim Santrali	Tokat	Tokat Belediyesi	2.3	Belediye Atıkları
66	Erbaa Biyogaz Elektrik Santrali	Tokat	Navas Enerji	1	Belediye Atıkları
67	Trabzon Rize Çöp Gazı Santrali	Trabzon	Mustafa Modoğlu Holding	2.83	Belediye Atıkları
68	Uşak Çöp Gazı Enerji Santrali	Uşak	Uşak Belediyesi	1.2	Belediye Atıkları
69	Zonguldak - Arel Enerji Biyogaz Santrali	Zonguldak	Arel Enerji	2.4	Belediye Atıkları
70	Ereğli Şeker Fabrikası Biyogaz Santrali	Zonguldak	Ereğli Şeker	1	AAT Çamuru

**EK-3- Türkiye'deki Süt Sığırlarının 2015 yılı Süt Üretim Miktarları [82]**

No.	İl	Süt Sığırı	Toplam Süt Üretim Miktarı	Hayvan Başına Süt Üretim Miktarı	
		Adet	ton.yıl <sup>-1</sup>	ton.baş <sup>-1</sup> .yıl <sup>-1</sup>	kg.baş <sup>-1</sup> .gün <sup>-1</sup>
1	Adana	83.897	236862	2.82	7.73
2	Adıyaman	42.414	115874	2.73	7.48
3	Afyon	115.414	399100	3.46	9.47
4	Ağrı	122.735	261200	2.13	5.83
5	Aksaray	96.660	322753	3.34	9.15
6	Amasya	57.606	152709	2.65	7.26
7	Ankara	87.251	243024	2.79	7.63
8	Antalya	60.004	179576	2.99	8.20
9	Ardahan	132.324	354798	2.68	7.35
10	Artvin	25.177	73360	2.91	7.98
11	Aydın	119.895	425992	3.55	9.73
12	Balıkesir	198.026	708364	3.58	9.80
13	Bartın	21.187	56243	2.65	7.27
14	Batman	27.618	72519	2.63	7.19
15	Bayburt	37.993	105715	2.78	7.62
16	Bilecik	11.870	38128	3.21	8.80
17	Bingöl	51.701	121758	2.36	6.45
18	Bitlis	27.360	60421	2.21	6.05
19	Bolu	46.330	147854	3.19	8.74
20	Burdur	90.035	347963	3.86	10.59
21	Bursa	69.322	245510	3.54	9.70
22	Çanakkale	85.236	316396	3.71	10.17
23	Çankırı	47.483	141244	2.97	8.15
24	Çorum	80.190	252700	3.15	8.63
25	Denizli	87.729	337750	3.85	10.55
26	Diyarbakır	124.960	333614	2.67	7.31
27	Düzce	19.650	44424	2.26	6.19
28	Edirne	69.985	258169	3.69	10.11
29	Elazığ	61.729	172843	2.80	7.67

No.	İl	Süt Sığırı	Toplam Süt Üretim Miktarı	Hayvan Başına Süt Üretim Miktarı	
		<u>Adet</u>	<u>ton.yıl<sup>-1</sup></u>	<u>ton.baş<sup>-1</sup>.yıl<sup>-1</sup></u>	<u>kg.baş<sup>-1</sup>.gün<sup>-1</sup></u>
30	Erzincan	36.562	108668	2.97	8.14
31	Erzurum	243.110	698721	2.87	7.87
32	Eskişehir	51.659	170497	3.30	9.04
33	Gaziantep	54.331	173926	3.20	8.77
34	Giresun	36.254	91440	2.52	6.91
35	Gümüşhane	30.115	83059	2.76	7.56
36	Hakkâri	17.232	31051	1.80	4.94
37	Hatay	43.600	131186	3.01	8.24
38	İğdır	45.627	111088	2.43	6.67
39	Isparta	54.473	181515	3.33	9.13
40	İstanbul	31.550	103498	3.28	8.99
41	İzmir	234.088	862089	3.68	10.09
42	K.Maraş	74.276	230874	3.11	8.52
43	Karabük	14.887	34611	2.32	6.37
44	Karaman	27.988	90189	3.22	8.83
45	Kars	206.998	611642	2.95	8.10
46	Kastamonu	98.376	288428	2.93	8.03
47	Kayseri	96.635	306738	3.17	8.70
48	Kırıkkale	22.171	61423	2.77	7.59
49	Kırklareli	61.298	224434	3.66	10.03
50	Kırşehir	33.268	91077	2.74	7.50
51	Kilis	4.489	14058	3.13	8.58
52	Kocaeli	33.358	104268	3.13	8.56
53	Konya	264.532	930548	3.52	9.64
54	Kütahya	69.240	223210	3.22	8.83
55	Malatya	54.577	163183	2.99	8.19
56	Manisa	86.292	251047	2.91	7.97
57	Mardin	42.270	104688	2.48	6.79
58	Mersin	48.033	151344	3.15	8.63
59	Muğla	77.507	266625	3.44	9.42
60	Muş	122.418	290935	2.38	6.51

No.	İl	Süt Sığırı	Toplam Süt Üretim Miktarı	Hayvan Başına Süt Üretim Miktarı	
		<u>Adet</u>	<u>ton.yıl<sup>-1</sup></u>	<u>ton.baş<sup>-1</sup>.yıl<sup>-1</sup></u>	<u>kg.baş<sup>-1</sup>.gün<sup>-1</sup></u>
61	Nevşehir	27.602	84043	3.04	8.34
62	Niğde	73.016	272212	3.73	10.21
63	Ordu	56.075	153494	2.74	7.50
64	Osmaniye	31.466	92545	2.94	8.06
65	Rize	12.897	35203	2.73	7.48
66	Sakarya	61.088	187787	3.07	8.42
67	Samsun	106.806	278714	2.61	7.15
68	Siirt	10.509	21561	2.05	5.62
69	Sinop	39.983	88376	2.21	6.06
70	Sivas	129.074	409860	3.18	8.70
71	Şanlıurfa	86.475	213214	2.47	6.76
72	Şırnak	17.289	33913	1.96	5.37
73	Tekirdağ	55.101	209575	3.80	10.42
74	Tokat	90.721	254509	2.81	7.69
75	Trabzon	65.044	186125	2.86	7.84
76	Tunceli	12.465	34412	2.76	7.56
77	Uşak	44.446	169938	3.82	10.48
78	Van	69.956	153544	2.19	6.01
79	Yalova	3.616	10945	3.03	8.29
80	Yozgat	96.529	262247	2.72	7.44
81	Zonguldak	26.626	68387	2.57	7.04
<b>Toplam</b>		<b>5.535.779</b>	<b>16.933.527</b>		

#### EK-4- Türkiye'nin 2015 yılı Hayvan Türüne Göre Hesaplanan Teorik Biyogaz Potansiyeli Ayrıntılı Gösterimi (Senaryo-1)

Hayvan Türü	2015 yılı Hayvan Sayısı [82]	Hayvan Ağırlığı[17]	Hayvan Başına Uçucu Katı Gübre Miktarı[86]	Toplam Gübre Miktarı		Biyogaz Verimliliği[87]	Toplam Biyogaz Miktarı	Metan İçeriği	Toplam Metan Miktarı		Toplam Biyogaz Miktarındaki Payı
	<u>Adet</u>	<u>kg</u>	<u>kg.baş.gün<sup>-1</sup></u>	<u>kg.gün<sup>-1</sup></u>	<u>ton.gün<sup>-1</sup></u>	<u>m<sup>3</sup>.ton<sup>-1</sup></u>	<u>10<sup>6</sup>.m<sup>3</sup>.gün<sup>-1</sup></u>	<u>%</u>	<u>10<sup>6</sup>.m<sup>3</sup>.gün<sup>-1</sup></u>	<u>10<sup>6</sup>.m<sup>3</sup>.yıl<sup>-1</sup></u>	<u>%</u>
Süt Sığırı	5535779	550	5.50	30446785	30447	300	9.13	60	5.48	2000	39.6
Diğer Sığırlar	8458292	391	2.82	23811784	23812	300	7.14	60	4.29	1564	31.0
Manda	133766	380	2.74	365984	366	300	0.11	60	0.07	24	0.5
Koyun	31507934	48.5	0.45	14058840	14059	200	2.81	60	1.69	616	12.2
Keçi	10416166	38.5	0.37	3808830	3809	200	0.76	60	0.46	167	3.3
At	122704	377	3.77	462594	463	300	0.14	60	0.08	30	0.6
Eşek ve Katır	197681	130	1.30	256985	257	300	0.08	60	0.05	17	0.3
Et Tavuğu	213658294	0.9	0.02	3268972	3269	510	1.67	60	1.00	365	7.2
Yumurta Tavuğu	98597340	1.8	0.02	2129703	2130	510	1.09	60	0.65	238	4.7
Hindi	2827731	6.8	0.06	174980	175	510	0.09	60	0.05	20	0.4
Ördek+Kaz	1249081	2.7	0.05	64078	64	510	0.03	60	0.02	7	0.1
<b>Toplam</b>							<b>23.05</b>		<b>13.83</b>	<b>5048.39</b>	



**EK-5- Türkiye'nin 2015 yılı Hayvan Türüne Göre Hesaplanan Uygulanabilir Biyogaz Potansiyeli Ayrıntılı Gösterimi (Senaryo-2)**

Hayvan Türü	2015 yılı Hayvan Sayısı [82]	Hayvan Ağırlığı[17]	Hayvan Başına Uçucu Katı Gübre Miktarı[86]	Toplam Gübre Miktarı		Biyogaz Verimliliği[87]	Toplam Biyogaz Miktarı	Biyogazdaki Metan (CH <sub>4</sub> ) Yüzdesi	Toplam Metan Miktarı		Toplam Biyogaz Miktarındaki Payı
	<u>Adet</u>	<u>kg</u>	<u>kg.baş.gün<sup>-1</sup></u>	<u>kg.gün<sup>-1</sup></u>	<u>ton.gün<sup>-1</sup></u>	<u>m<sup>3</sup>.ton<sup>-1</sup></u>	<u>10<sup>6</sup>.m<sup>3</sup>.gün<sup>-1</sup></u>	<u>%</u>	<u>10<sup>6</sup>.m<sup>3</sup>.gün<sup>-1</sup></u>	<u>10<sup>6</sup>.m<sup>3</sup>.yıl<sup>-1</sup></u>	<u>%</u>
Süt Sığırı	5535779	550	2.750	15223392	15223	300	4.57	60	2.74	1000	39.8
Diğer Sığırlar	8458292	391	1.408	11905892	11906	300	3.57	60	2.14	782	31.1
Manda	133766	380	1.368	182992	183	300	0.05	60	0.03	12	0.5
Koyun	31507934	48.5	0.058	1827649	1828	200	0.37	60	0.22	80	3.2
Keçi	10416166	38.5	0.048	495148	495	200	0.10	60	0.06	22	0.9
At	122704	377	1.093	134152	134	300	0.04	60	0.02	9	0.4
Eşek ve Katır	197681	130	0.377	74526	75	300	0.02	60	0.01	5	0.2
Et Tavuğu	213658294	0.9	0.015	3236282	3236	510	1.65	60	0.99	361	14.4
Yumurta Tavuğu	98597340	1.8	0.021	2108406	2108	510	1.08	60	0.65	235	9.4
Hindi	2827731	6.8	0.016	45495	45	510	0.02	60	0.01	5	0.2
Ördek+Kaz	1249081	2.7	0.011	14097	14	510	0.01	60	0.00	2	0.1
<b>Toplam</b>							<b>11.48</b>		<b>6.89</b>	<b>2513.47</b>	

## ÖZGEÇMİŞ

### Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı : Ali Erdiñç ERSOY  
Doğum Yeri : Bolu  
Medeni Hali : Bekar  
E-posta : [a.erdincersoy@gmail.com](mailto:a.erdincersoy@gmail.com)  
Adresi : Birlik Mah. 450. cad. No: 61/29 Çankaya-Ankara

### Eğitim

Lise : Çankaya İncesu Anadolu Lisesi  
Lisans : Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü  
Yüksek Lisans : Hacettepe Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü  
Doktora : -

### Yabancı Dil Düzeyi

İngilizce, ileri seviye

### İş Deneyimi

2011-2015 Akvadem Danışmanlık

### Deneyim Alanları

Çevresel Proje Yönetimi, İhale Yönetimi

### Tezden Üretilmiş Projeler ve Bütçesi

-

### Tezden Üretilmiş Yayınlar

-

### Tezden Üretilmiş Tebliğ ve/veya Poster Sunumu ile Katıldığı Toplantılar

-



HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
YÜKSEK LİSANS/DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ  
GEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 02/02/2017

Tez Başlığı / Konusu: Türkiye'nin Hayvansal Gübre Kaynaklı Sera Gazı  
Emisyonları Durumu ve Biyogaz Enerjisi Potansiyeli

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler d) Sonuç ve e) Kaynakça kısımlarından oluşan toplam 122 sayfalık kısmına ilişkin, 02./02./2017 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 3'tür.

Uygulanan filtrelemeler:

- 1- Kaynakça hariç
- 2- Alıntılar hariç/dâhil
- 3- 5 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

Tarih ve İmza

Adı Soyadı: Ali Erdiğ ERSOY  
Öğrenci No: N12127764  
Anabilim Dalı: Gevre Mühendisliği  
Programı: Tezli Yüksek Lisans  
Statüsü:  Y.Lisans  Doktora  Bütünleşik Dr.

02/02/2017

**DANIŞMAN ONAYI**

UYGUNDUR.

Prof. Dr. Ayşenur Uyarlı  
(Unvan, Ad Soyad, İmza)