

**ERZİNCAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ERZİNCAN İLİNDEKİ HAYVANSAL ATIKLARIN BİYOGAZ
POTANSİYELİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Anıl BADEM

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ERZİNCAN
2017**

Her Hakkı Saklıdır


Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Adı-Soyadı : Anıl BADEM

İmza



Erzincan İlindeki Hayvansal Atıkların Biyogaz Potansiyelinin Değerlendirilmesi adlı Yüksek Lisans tezi, Erzincan Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi'ne uygun olarak hazırlanmıştır.



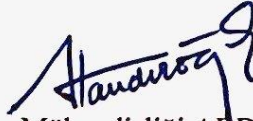
Tezi Hazırlayan

Anıl BADEM



Danışman

Yrd. Doç. Dr. Aslıhan KURNUÇ SEYHAN



Makine Mühendisliği ABD Başkanı

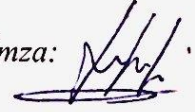
Prof. Dr. Ahmet TANDIROĞLU

Yrd. Doç. Dr. Aslıhan KURNUÇ SEYHAN danışmanlığında, Anıl BADEM tarafından hazırlanan bu çalışma 03/05/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Şükran EFE

İmza: 

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hadi GANJAHSARABI


İmza: 

Üye : Yrd. Doç. Dr. Aslıhan KURNUÇ SEYHAN

İmza: 

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

03/05/2017


Prof. Dr. Paşa YALÇIN
Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ERZİNCAN İLİNDEKİ HAYVANSAL ATIKLARIN BİYOGAZ POTANSİYELİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Anıl BADEM

Erzincan Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Aslıhan KURNUÇ SEYHAN

Fosil kökenli enerji kaynaklarının tükenebilir olması, çevreye olan olumsuz etkileri ve enerji ihtiyacının gün geçtikçe artması mevcut kaynakların daha etkin kullanımı yerli ve yenilebilir enerji kaynaklarına yönelimi gerekli kılmıştır.

Temel geçim kaynağı tarım ve hayvancılık olan Erzincan ili yüzölçümünün %37'si çayır ve meralardan oluşmaktadır. Bu durum, yem bitkisi çeşitlerinin geniş alanlarda yetiştirilmesine ve beraberinde hayvansal üretiminde gelişmesine neden olmuştur. Büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvan yetiştiriciliği yapılan Erzincan ilinde yılda 434469 ton hayvansal atık elde edilmektedir. Bu atıkların sürdürülebilir ve etkin bir biçimde kullanımının en iyi yolu biyogaz üretimidir.

Bu çalışmada, Erzincan Damızlık Sığır Yetiştiricileri Birliği ve Gıda, Tarım ve Hayvancılık İl Müdürlüğü verileri kullanılarak, Erzincan ili hayvansal atıklardan elde edilebilir yıllık biyogaz miktarı 15 511 011 m³, elektrik enerjisi 38 025 864 kWh_e ve ısı enerjisi 35 818 027 112 kcal olarak hesaplanmıştır. Ayrıca ilçeler arası mesafeler göz önünde bulundurularak, 528 kW_e, 1299 kW_e ve 2463 kW_e kurulu güce sahip 3 adet merkezi sistem biyogaz enerji santrali fizibilitesi hazırlanmıştır.

2017, 99 sayfa

Anahtar Kelimeler: Biyogaz, Biyogaz Potansiyeli, Hayvansal Atık, Sürdürülebilirlik, Yenilenebilir Enerji

ABSTRACT

Master Thesis

EVALUATION OF BIOGAS POTENTIAL OF ANIMAL WASTES IN ERZINCAN PROVINCE

Anıl BADEM

Erzincan University
Institute of Science and Technology Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Assist. Assoc. Dr. Aslıhan KURNUÇ SEYHAN

The fossil-based energy resources are consumable, the negative effects on the environment, and the ever-increasing need for energy, the more efficient use of existing resources is required to be directed to domestic and renewable energy sources.

The main livelihood of agriculture and animal husbandry is 37% of Erzincan province's surface area is composed of meadow and merald. This has led to the cultivation of feed plant varieties in large areas and the development of animal production. In Erzincan province where cattle, sheep and poultry are grown, 434469 tons of animal waste is obtained annually. Biogas production is the best way to ensure sustainable and efficient use of these wastes.

In this study, the amount of biogas available per year from Erzincan province animal wastes was calculated as 15 511 011 m³, electric energy 38 025 864 kWh_e and heat energy 35 818 027 112 kcal using data from Erzincan Cattle Breeders Association and Food, Agriculture and Livestock Provincial Directorate. In addition, considering the distances between the districts, the feasibility of 3 centralized system biogas power plants with 528 kW_e, 1299 kW_e and 2463 kW_e installed power was prepared.

2017, 99 pages**Keywords:** Biogas, Biogas Potential, Animal Waste, Sustainability, Renewable Energy

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimin ve tez çalışmalarım süresince katkı, ilgi ve hoşgörüsünü esirgemeyen saygıdeğer tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Aslıhan KURNUÇ SEYHAN'a, bilimsel alanda yetiştirme ve gelişmeye katkıda bulunan saygıdeğer hocam Prof. Dr. Gazanfer ERGÜNEŐ'e, tez çalışmamdan önce derslerini aldığım değerli öğretim üyelerine, destek ve yardımlarını esirgemeyen arkadaşlarıma ve hayatımdaki başarılarımlaın temeli olan aileme teşekkürlerimi sunarım.

Anıl BADEM

Mayıs, 2017

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Kaynak Özetleri.....	3
2. KURAMSAL TEMELLER.....	8
2.1. Biyogazın Tanımı ve Tarihçesi.....	8
2.2. Dünya’da Biyogaz Gelişimi.....	10
2.3. Türkiye’de Biyogaz Gelişimi.....	13
2.4. Biyogazın Bileşimi ve Özellikleri.....	17
2.5. Biyogaz Oluşumu.....	21
2.6. Biyogaz Üretimini Etkileyen Faktörler.....	29
2.7. Biyogaz Üretiminde Kullanılan Maddeler.....	34
2.8. Biyogaz Tesislerinin Avantajları ve Dezavantajları.....	37
2.8.1. Biyogaz tesislerinin avantajları.....	37
2.8.2 Biyogaz tesislerinin dezavantajları.....	39
2.9. Biyogaz Üretiminde Kullanılan Prosesler.....	40
2.9.1. Kuru proses.....	40
2.9.2. Yaş proses.....	41
2.10. Biyogaz Üretiminde Kullanılan Fermentasyon Şekilleri.....	42
2.11. Biyogaz Üretim Tesisleri.....	45
2.12. Biyogaz Kullanım Alanları.....	45
2.12.1. Araçlarda yakıt olarak kullanımı.....	46
2.12.2. Biyogazın tarımda kullanımı.....	48
2.12.3. Biyogazın endüstriyel kullanımı.....	48

2.12.4. Biyogazın evsel kullanımı.....	55
2.12.5. Fermente gübre kullanımı	56
2.12.5.a. Biyogaz fermente atığının kullanımının çevresel faydaları.....	57
2.13. Biyogaz Enerjisi İle İlgili Yasal Mevzuat ve Yönetmelikler.....	58
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	59
3.1. Materyal	59
3.1.1. Saha Çalışmaları.....	59
3.1.1.a. Mezbahaneler	59
3.1.1.b. Ahırlar	60
3.1.2. Bölgedeki hayvancılık işletmeleri.....	62
3.1.3. Bölgedeki Hayvan Sayıları.....	64
3.2. Yöntem	68
3.2.1. Bölgedeki atık miktarının belirlenmesi.....	68
3.2.2. Hayvan çiftliklerindeki atık miktarları	68
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	77
4.1 Biyogaz Üretim Potansiyeli.....	77
4.2. Gelir ve Fayda Hesaplamaları	81
4.3. Tesis Senaryoları	82
4.3.1 Kemah biyogaz enerji santrali projesi.....	84
4.3.2. Çayırılı biyogaz enerji santrali projesi	86
4.3.3. Erzincan merkez biyogaz enerji santrali projesi	88
5. SONUÇLAR	90
KAYNAKLAR	94
ÖZGEÇMİŞ	99

SİMGELER ve KISALTMALAR**Simgeler**

BG	Beygir Gücü
C	Karbon
Ca	Kalsiyum
Cd	Kadmiyum
CH ₄	Metan
C/N	Karbon / Azot Oranı
CO	Karbonmonoksit
CO ₂	Karbondioksit
Cr	Krom
Cu	Bakır
°C	Derece Santigrat
Fe	Demir
g	Gram
GWs	Gigawatt-Saat
Hg	Civa
H ₂	Hidrojen
H ₂ S	Hidrojen Sülfür
K	Potasyum
kcal	Kilokalori
kg	Kilogram
kW	Kilowatt
kWh	Kilowatt-Saat
kWh _e	Kilowatt-Saat-Elektrik
L	Litre
m ²	Metrekare
m ³	Metreküp
Mg	Magnezyum

mg	Miligram
MJ	Megajoule
MW	Megawatt
MWe	Megawatt-Elektrik
N	Azot
Na	Sodyum
Ni	Nikel
NH ₃	Amonyak
NH ₄	Amonyum
NO ₃	Nitrat
O ₂	Oksijen
P	Fosfor
pH	Power of Hydrogen (Hidrojenin gücü)

Kısaltmalar

AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AKM	Askıda Katı Madde
AbPR	Animal By-Products Regulations
A.Ş.	Anonim Şirket
AFC	Alkaline Fuel Cell (Alkali Yakıt Pili)
BTTP	Block-Type Thermal Power Station
BOTAŞ	Boru Hatları İle Petrol Taşıma A.Ş.
DBFZ	Deutches Biomasse Forchungs Zentrum
DPT	Devlet Planlama Teşkilatı
DSİ	Devlet Su İşleri
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
EWP	Energy White Paper (AB Yenilenebilir Enerji Yönetmeliği)
GAP	Güneydoğu Anadolu Projesi

KM	Katı Madde
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
KTEP	Kilogram Ton Eşdeğer Petrol
MAM	Marmara Araştırma Merkezi
MCFC	Molten Carbonate Fuel Cell
M.Ö.	Milattan Önce
M.S.	Milattan Sonra
MTA	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
MTEP	Milyon Ton Eşdeğer Petrol
OECD	The Organisation for Economic Co-operation and Development
PAFC	Phosphoric Acid Fuel Cell
PEM	Polimer Elektrolit Membran
SOFC	Solid Oxide Fuel Cell
TEDAŞ	Türk Elektrik Dağıtım A.Ş.
TEİAŞ	Türk Elektrik İletim A.Ş.
TETAŞ	Türk Elektrik Ticaret ve Taahhüt A.Ş.
TEUAŞ	Türk Elektrik Üretim A.Ş.
TEP	Ton Eşdeğer Petrol
TK	Toplam Katı
TKİ	Türk Kömür İşletmeleri
TOPRAK-SU	Toprak ve Su Genel Müdürlüğü
TPAO	Türk Petrol A.Ş.
TTK	Türk Taşkömürü Kurulu
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
UK	Uçucu Katı
UNICEF	United Nations Childrens Emergency Fund
VFA	Uçucu Yağ Asitleri
YEK Belgesi	Yenilenebilir Enerji Kaynak Belgesi

TABLOLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Gelişmekte olan bazı ülkelerdeki biyogaz tesisi sayısı.....	10
Tablo 2.2. Biyogazın bileşim ve enerji eşdeğeri	17
Tablo 2.3. Biyogazın doğalgazla karşılaştırılması	18
Tablo 2.4. Biyogazın enerji değeri açısından diğer yakıtlarla karşılaştırılması.....	18
Tablo 2.5. Biyogazın teknik özellikleri.....	19
Tablo 2.6. Patates posasının anaerobik çürümesinde rol oynayan hidrolitik enzimler için uygun pH ve sıcaklık değerleri	25
Tablo 2.7. Metan oluşumundaki optimum fermantasyon koşulları	27
Tablo 2.8. Biyogaz üretiminde etkili etmenler.....	30
Tablo 2.9. Biyogaz tesisleri için önemli çevre koşulları	31
Tablo 2.10. Biyogaz tesisleri için önemli işletme parametreleri.....	32
Tablo 2.11. Çeşitli kaynaklardan elde edilebilecek biyogaz verimleri ve biyogazdaki metan miktarları	35
Tablo 2.12. Çeşitli materyallerin TK ve UK oranlarıyla biyogaz verimleri	36
Tablo 2.13. Katı içeriği yüksek ham maddeler için reaktör tiplerinin karşılaştırılması	43
Tablo 2.14. Değişik tip reaktörlerin avantajları ve dezavantajları	44
Tablo 3.1. Erzincan ili hayvan çiftlikleri işletme sayıları	62
Tablo 3.2. Çalışma izni almış mezbahaneler	64
Tablo 3.3. Erzincan Merkez ve ilçelerinde bulunan çiftliklerdeki hayvan sayıları ...	65
Tablo 3.4. Atık miktar kabulleri.....	69
Tablo 3.5. Hayvan atık miktarları	69
Tablo 3.6. Hayvan atıklarının kabul edilen özellikleri.....	74
Tablo 3.7. Fizibilite hesaplamalarında yapılan kabuller	75
Tablo 4.1. Erzincan ili toplam biyogaz üretim potansiyeli	78
Tablo 4.2. Erzincan ili hayvan atıklarının biyogaz tesislerinde kullanılması ile elde edilecek faydalar	81
Tablo 4.3. Uzaklık seviyeleri	82

Tablo 4.4. Erzincan ilçeler arası mesafeler tablosu.....	83
Tablo 4.5. Biyogaz enerji santralleri için ilçe seçimi.....	83
Tablo 4.6. Kemah biyogaz enerji santrali (İliç, Kemah, Refahiye) fizibilite çalışması.....	84
Tablo 4.7. Kemah biyogaz enerji santrali ile sağlanabilecek faydalar.....	85
Tablo 4.8. Çayırılı biyogaz enerji santrali (Otlukbeli, Çayırılı, Tercan) fizibilite çalışması.....	86
Tablo 4.9. Çayırılı biyogaz enerji santrali ile sağlanacak faydalar	87
Tablo 4.10. Erzincan Merkez biyogaz enerji santrali (Merkez, Üzümlü) fizibilite çalışması.....	88
Tablo 4.11. Erzincan Merkez biyogaz enerji santrali projesi ile sağlanacak faydalar.....	89

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Hindistan'da işletilen bir biyogaz sistemi	11
Şekil 2.2. İlkel yöntemle işletilen biyogaz sistemi.....	11
Şekil 2.3. Toprak altı biyogaz sistemi.....	12
Şekil 2.4. Danimarka’da büyük hacimli biyogaz santrali	13
Şekil 2.5. Biyokütle kaynaklı elektrik üretim santralleri (MWe).....	16
Şekil 2.6. Biyogaz döngüsü.....	20
Şekil 2.7. Biyogaz üretim döngüsü	21
Şekil 2.8. Anaerobik çürüme safhaları.....	22
Şekil 2.9. Biyogaz oluşum süreci.....	23
Şekil 2.10. Biyogaz oluşum evreleri	23
Şekil 2.11. Metan bakterileri.....	24
Şekil 2.12. Metan bakterilerinin ve metan oluşumunun mikroskop altında görünümü	28
Şekil 2.13. Biyogaz üretim sistemi	29
Şekil 2.14. Biyogaz üretiminde kullanılan bazı hammaddeler	34
Şekil 2.15. Biyogaz üretim teknolojisinin çevreye etkisi.....	39
Şekil 2.16. Kuru sistemdeki farklı reaktör tasarımları	41
Şekil 2.17. Yaş sistemdeki Waasa reaktör çalışma prosesi.....	42
Şekil 2.18. Biyogazın genel kullanım alanları	45
Şekil 2.19. Biyogazın otobüslerde kullanımı	46
Şekil 2.20. Biyogazın araçlarda yakıt olarak kullanımı	47
Şekil 2.21. Biyoyakıtların performans açısından karşılaştırılması.....	47
Şekil 2.22. Isı üretmek için kullanılan bir biyogaz yakıcı.....	49
Şekil 2.23. Biyogaz tesislerinde kullanılan Gaz-Otto Motor	50
Şekil 2.24. Biyogaz mikro-türbin yapısı	51
Şekil 2.25. Yakıt pili	52
Şekil 2.26. Almanya Münih’te işletilmekte olan 250 kW biyogaz enerji santrali için yakıt pili	53

Şekil 2.27. Konvansiyonel elektrik ve ısı üretimi ile kojenerasyon ünitelerinin verimlerinin karşılaştırılması	54
Şekil 2.28. Biyogazın evsel kullanım araçları.....	55
Şekil 2.29. Anaerobik fermentasyonda kütle denklığı.....	56
Şekil 3.1. Mezbahane atıkları.....	60
Şekil 3.2. Erzincan Merkez Gümüştarla Köyü	61
Şekil 3.3. Büyükbaş hayvan işletmelerinin soy kütük ve ön soy kütüğe bağlı sayılarının ilçe bazlı karşılaştırılması.....	63
Şekil 3.4. Büyükbaş hayvan sayılarının ilçe bazlı dağılımı	66
Şekil 3.5. Küçükbaş hayvan sayılarının ilçe bazlı dağılımı	67
Şekil 3.6. Kanatlı hayvan sayılarının ilçe bazlı dağılımı	67
Şekil 3.7. Hayvan atıklarının kaynağına göre dağılımı.....	70
Şekil 3.8. Büyükbaş hayvan atık miktarları	71
Şekil 3.9. Küçükbaş hayvan atık miktarları	72
Şekil 3.10. Kanatlı hayvan atık miktarları	73
Şekil 3.11. Toplam hayvan atık miktarlarının ilçe bazlı dağılımı.....	74
Şekil 4.1. Erzincan ili toplam biyogaz potansiyelinin ilçe bazlı dağılımı.....	79
Şekil 4.2. Erzincan ili toplam biyogaz potansiyelinden elektrik üretimi ilçe dağılımı	80
Şekil 4.3. Erzincan ili toplam biyogaz potansiyelinden ısı üretimi ilçe dağılımı	80
Şekil 4.4. Biyogaz enerji santrali yerleşimleri.....	83

1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun hızla artması ve gelişen sanayileşmeyle birlikte, enerji kaynakları kullanımı önemli seviyelere ulaşmıştır. Zamanla, hem doğal kaynakların eldesi ve temin edilebilirliği azalmaya başlamış, hem de doğal ortama verilen zararlar ile birlikte çevre kirliliğinin de artış meydana gelmiştir. Son yıllarda enerji kaynak çeşitleri ve bunların çevresel etkileri çok tartışılan konulardan biri haline gelmiştir. Enerji kullanımının neden olduğu olumsuz çevresel etkilerin en düşük düzeylerde tutulabilmesi, sosyal ve ekonomik kalkınma açısından; temiz enerji talebinin, ucuz, güvenilir ve sürdürülebilir fiyattan karşılanması zorunludur.

Günümüzde enerji ihtiyacı, petrol, kömür, doğalgaz gibi fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Fosil kaynakların, sınırlı olması ve kullanımlarının giderek artması hızla tükenmeyi beraberinde getirmektedir. Bunlar gibi sınırlı olan fosil yakıtların aksine, rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi, hidrolik enerji ve biyokütle enerjisi gibi doğal kaynaklar, kendilerini yeniledikleri için tükenmeyen yani yenilenebilir enerji kaynakları olarak adlandırılır. Karbondioksit emisyonlarına neden olmamaları, çevrenin korunmasına katkı sağlamaları, yerli kaynaklar olmaları dolayısıyla enerjide dışa bağımlılığı azaltmaları, istihdam artışına katkıda bulunmaları yenilenebilir enerji kaynaklarının avantajları arasında sayılabilir.

Biyokütle potansiyeline bakıldığında ülkemiz şanslı bir konumdadır. Son yıllarda yenilenebilir enerji kaynakları arasından biyokütle teknolojisi ülkemizde verilen teşvikler nedeniyle daha fazla talep görmektedir. Biyokütle, çeşitli aşamalardan geçirilip yakıt kalitesi artırılarak, mevcut yakıtlara eşdeğer özelliklerde alternatif biyoyakıtlar halinde veya doğrudan yakılması ile değerlendirilebilir. Dünyanın birçok yerinde, atık biyokütle (belediye atıkları, hayvan dışkıları, orman ve tarım atıkları, vb.), enerjisi kullanılmaktadır. Biyokütle kaynakları, yakıt olarak doğrudan veya enerji teknolojisi için elverişli ve yüksek verime sahip biyogaz, biyokarbon ve biyodizel üretimi amacıyla kullanılabilir.

Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde önemli bir yere sahip olan biyokütle, sürdürülebilir kalkınma modelleri içerisinde çevre ve enerji fonksiyonları açısından önemlidir. Biyokütlenin anaerobik parçalandırma teknolojisi, biyogaz ile enerji temininde, atıkların çevreye olan olumsuz etkilerinin azaltılmasında ve yan ürün olarak fermente gübre eldesinde göze çarpan bir teknolojidir. Büyükbaş hayvan atığı da anaerobik parçalandırma teknolojisinde kaynak olarak önemli yer tutmaktadır.

Büyükbaş hayvan atıklarından biyogaz üretimi, atıkların çevreye olan olumsuz etkilerinin azaltılmasının yanı sıra enerji üretiminde de kaynak olarak kullanılabilmesi ve de yan ürün olan fermente gübrenin tarımda kullanılarak tarımsal verimliliğin artışına katkıda bulunabilmesi açısından önem arz etmektedir.

Bu çalışmada, temel geçim kaynağı tarım ve hayvancılık olan Erzincan ilinde, biyogaz potansiyeline sahip çiftlik ve mezbahaneler yerinde incelemeler yapılarak mevcut atık yönetimi, çevresel koşulları, atık miktarları ve nasıl değerlendirildikleri incelenmiştir. Ayrıca, Erzincan Damızlık Sığır Yetiştiricileri Birliği, Erzincan Gıda, Tarım ve Hayvancılık İl Müdürlüğü verileri kullanılarak Erzincan Merkez ve 8 ilçesinde Büyükbaş, Küçükbaş ve Kanatlı hayvan sayıları, türleri ve bu hayvanlardan elde edilebilecek atık miktarları belirlenerek, Erzincan ilinin hayvansal atık kaynaklı enerji potansiyeli hesaplanmıştır. Bu veriler ışığında, Erzincan ili genelindeki atıkların enerji potansiyelleri belirlenmiş, istenilen amaca en uygun tesis tipi ve kapasiteleri ile bu tesislerin yatırım maliyetleri hesaplanmıştır. Bu bağlamda, hayvan atıkları (büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvanları) ve kesimhane atıkları, hayvan atıkları başlığında değerlendirilmiş ancak çalışmalar sonucu kesimhane atıklarının ihmal edilebilir miktarda olduğu ortaya çıktığından fizibilite çalışması sadece hayvan dışkıları üzerine yapılmıştır. Bu raporda, terminolojik açıdan bakıldığında hayvan atıkları, kesimhane atıkları dışında kalan hayvan dışkılarından oluşan atığı ifade etmektedir. Çalışmanın nihai hedefi, Erzincan ilinde, hayvansal atıklardan potansiyel enerji üretim miktarının belirlenerek bu doğrultuda tesis çalışmalarına yol gösterici olmaktır.

1.1. Kaynak Özetleri

Tez çalışması ile ilgili olarak biyogaz potansiyeli konusunda yapılan çalışmalar incelenmiş ve kronolojik sıralamaya göre aşağıda özetlenmiştir.

Toruk ve Eker (2003), Trakya Bölgesi'nde Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ illerinde, Devlet İstatistik Enstitüsü, Tarım il Müdürlükleri ve Meteoroloji Müdürlüklerinin verileri kullanılarak, hayvan sayısı, yıllık tahmini gübre üretimi, yıllık biyogaz üretimi ve enerji eşdeğerini hesaplamışlardır.

Akbulut ve Dikici (2004), Elazığ ilini 3 farklı bölgeye ayırarak, hayvan sayıları ve bitkisel üretim miktarlarını istatistiki olarak belirlemişlerdir. Belirlenen bu veriler kullanılarak üretilecek yaş ve kuru gübre miktarları, biyogaz üretim miktarı ve enerji ekonomik değerleri hesaplanmıştır. .

Limmechokchai ve Chawana (2004), Tayland'da kırsal kesimlerde sıklıkla kullanılan küçük biyogaz tesislerinden kaynaklanan problemleri çözmek ve biyogaz potansiyelini belirleyerek, kurulabilecek tesis maliyetlerini hesaplamak amacıyla biyogaz havuzu projesi oluşturulmuş ve gerekli hesaplamalar yapılmıştır.

Koçer Nacar vd. (2006), Türkiye'de bulunan büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvanlarından elde edilebilecek atık potansiyeli ve biyogaz miktarı üzerine çalışmışlardır.

Koçer ve Ünlü (2007), Doğu Anadolu Bölgesinde yer alan 15 ilde, biyokütle oluşumu ve biyokütle kaynakları tespit edilip, ekim alanları göz önüne alınarak biyokütle potansiyeli ve enerji eşdeğeri belirlenmiştir.

Kalyuzhnyi (2008), Rusya'da küçükbaş, büyükbaş, kanatlı ve domuz hayvan sayıları belirlenerek üretilebilecek atık ve biyogaz potansiyeli hesaplanmıştır. Ayrıca tarım endüstrisi atıkları, belediye katı atıkları, atık su çamuru ve çöp depolama sahalarından elde edilebilecek biyogaz potansiyeli hesaplanmıştır. Potansiyel hesaplamalarının yanı sıra mikrobiyel yakıt hücrelerinin santrallerde kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Armağan vd. (2008), GAP bölgesinde yer alan çiftliklerin biyogaz potansiyeli üzerinde çalışılmıştır. Türkiyenin Hidroelektrik enerjisi haricindeki yenilenebilir enerji

kaynaklarını ve biyogaz potansiyelini MTEP olarak hesaplamışlardır. Çalışma kapsamında GAP bölgesi Master Planı ve TÜİK verileri esas alınarak gübre ve biyogaz potansiyeli çıkarılarak ihtiyaç duyulan tesis sayıları belirtilmiştir.

Dimitrova vd. (2009), Bulgaristan'ın biyogaz, potansiyeli ülke 7 bölgeye ayrılıp, domuz ve büyükbaş hayvan işletme büyüklükleri referans alınarak hesaplanmıştır. Bölgedeki hammadde olanakları, biyogaz üretim fırsatları ve mevcut biyogaz tesisleri üzerinde çalışmalar yapmışlardır.

Dzene (2009), Letonya'nın biyogaz potansiyeli üzerine çalışmışlardır. Bu amaçla öncelikle Letonya'nın enerji kaynaklarının 2004, 2005 ve 2006 yılı değişimlerini belirlemiş, yapılmış ve yapımı planlanan biyogaz tesislerinin kullanılan hammaddeye göre tipleri, günlük üretilen biyogaz, elektrik ve gübre miktarlarını belirlemiştir. Letonyanın atık toplama sistemleri ve toplanabilecek katı atık miktarlarını belirlemiştir. Bunun yanında organik atık potansiyelin belirlemeye çalışmıştır. Bu çerçevede organik atık sağlayabilecek et, süt, fırıncılık vb. endüstride faaliyet gösteren işletmelerin atık miktarları belirlenmiştir. Daha sonra büyükbaş ve domuz işletmelerinin büyüklük ve hayvan sayılarını belirlemiştir. Tarımsal ve diğer atıkların hesaplanması çerçevesinde de birincil ve ikincil üretim olarak ülkenin tarımsal atık, belediye etikleri, kanalizasyon atıkları, yiyecek endüstrisi atıkları, haritası çıkarılarak elde edilebilecek atık ve biyogaz miktarı hesaplanmıştır. Letonya'nın mevcut doğalgaz yapısı ortaya konarak biyogaz üretiminin çevreye, sosyal yapıya ve ekonomiye olan etkisi belirlemeye çalışmıştır.

Konstantinos (2009), Yunanistan'ın biyogaz potansiyeli üzerine çalışmıştır. 2007 yılından bu yana 15 tesisle çöp alanlarından biyogaz üretimi gerçekleştirmekte olan Yunanistan'da ilk önce belediye atıkları, endüstriyel atıklar ve tarımsal atıklar olmak üzere atık potansiyelini çıkarmaya çalışmıştır. Tarımsal yapı çerçevesinde enerji ürünlerinin ve tarımsal atıkları ton olarak, çiftlik gübresi atıklarını m³/yıl, belediye ve kanalizasyon atıklarını ton olarak hesaplayarak ülkeyi 10 bölgeye ayırarak atık potansiyelinin haritasını çıkarmıştır. Bu elde edilen atık miktarları baz alınarak biyogaz potansiyeli ve eşdeğer enerji karşılığı hesaplamaya çalışmıştır.

Kaya vd. (2009), Türkiye'nin hayvansal atık kaynaklı biyogaz potansiyeli ve ekonomisi üzerine çalışmışlardır. Türkiye İstatistik Kurumu'nun 2006 yılı verileri esas alınarak

büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvanlarının yıllık elde edilebilecek atık miktarlarını belirlemiştir. Kullanılabilir atık miktarlarını belirledikten sonra bir ton atıktan elde edilebilecek biyogaz miktarını ve eşdeğer enerji karşılığını belirlemiştir. Ayrıca Türkiye'nin illere göre hayvansal kaynaklı kullanılabilir atıklarının ve bu atıkların enerji potansiyeli haritalarını da çıkarmışlardır. Ayrıca büyükbaş hayvan gübresi ile çalışan bir biyogaz tesisinin teknik özellikleri belirlenmiş ve maliyet hesaplamasını yapılmıştır.

Buss ve Seyfert (2010), Brezilya'nın 281745 km² alanına sahip Arjantin ve Uruguay ile sınır eyaleti olan Rio Grande do Sul'un domuz çiftliklerinin biyogaz potansiyeli üzerine çalışmışlardır. Bu amaçla Rio Grande do Sul eyaletinin genel ekonomisi, öncelikli enerji üretim kaynakları ve tüketimi ortaya konmuştur. 2003 yılından 2008 yılına kadar olan hem eyaletin hem de Brezilya'nın hayvan sayıları tespit edilmiştir. Rio Grande do Sul eyaleti 27 mikro bölgeye ayrılarak bölgelerdeki hayvan sayısı ve yoğunluğu özellikle domuz çiftliklerinin yoğunluğu belirlenmiştir. Bu belirlenen değerler ışığında literatür değerleri baz alınarak günlük ve yıllık toplam elde edilebilecek gübre miktarı, toplam katı madde miktarı, uçucu katı madde miktarı, biyogaz ve metan üretim potansiyeli hesaplanmıştır.

Haefke (2010), Amerika Birleşik Devletleri'nin Illinois Eyaleti'nin biyogaz potansiyeli üzerine çalışmıştır. Ülkenin istatistiki verilerini kullanarak süt ve et üreten işletmeleri, tavukçuluk işletmeleri, çöp depolama alanları gibi enerji üretim potansiyeli olan temel alanlar ve bunlarla ilgili işletmeleri tespit edilmiştir. Bu temel alanlardan elde edilebilecek tahmini enerji aralığı ve toplam enerji potansiyeli tespit edilmiştir. Bunun yanında eyaletin yiyecek işleme endüstrisindeki işletmelerin sayıları baz alınarak her bir alan için potansiyel biyogaz üretim haritası çıkarılmıştır.

Afilal vd. (2010), Fas'ın kuzey şehirlerindeki organik atıkların biyogaz potansiyeli üzerine çalışmışlardır. Yaptıkları çalışmada organik atıkların sınıflandırılmasını yaparak atık potansiyelini belirlemiştir. Kuzey şehirlerini 3 ayrı bölgeye ayırarak elde edilebilecek tarımsal atık, hayvansal atık, kanalizasyon atığı, organik kaynaklı belediye atıkları, mezbaha atığı potansiyelini belirlemiştir. Bu atıklarda elde edilebilecek enerji miktarlarını belirlemiştir.

Onurbaş Avcioğlu ve Eliçin (2010), Ankara ilinin biyogaz potansiyeli ve uygun reaktör büyüklüğünü tespit etmek üzerine çalışmışlardır. TÜİK ve Ankara Tarım İl Müdürlüğü verileri esas alınarak büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvanları üzerine işletme büyüklükleri ve hayvan sayıları belirlemişlerdir. Literatürdeki canlı ağrılık, taze atık miktarı, toplam kuru madde, uçucu kuru madde, hayvanların barınakta kalma süresi ve ortalama biyogaz verimi değerleri baz alınarak elde edilebilir katı madde miktarı, biyogaz miktarı ve ısıl değerini hesaplamışlardır. Son olarak hidrolik bekletme süresini dikkate alarak % 9 katı için ekelenecek su miktarını, uygun reaktör hacmini ve günlük elde edilebilecek biyogaz miktarını hesaplamışlardır.

Fall ve Werner (2011), Burkino Faso'nun biyogaz üretim imkanları ve potansiyeli üzerine çalışmışlardır. Bu amaçla tarımsal ve hayvansal üretim çerçevesinde küçük işletmeler, yiyecek endüstrisi çerçevesinde küçük, orta ve büyük işletmelerin ve katı atık yönetimi çerçevesinde kırsal, kentsel, belediye ve kurumların atıkları ve biyogaz potansiyelleri belirlenmiştir. Bu potansiyelin ülkeye olan etkisi ortaya konarak 2015 yılına kadar tahmini biyogaz tesis sayısı ve tahmini tesis maliyetlerini hesaplamışlardır.

Yokuş (2011), Sivas İli'nin hayvan sayıları ve ekim alanları analiz edilerek biyogaz üretilebilecek atık potansiyeli belirlenmiştir. Ayrıca büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvanları işletmeleri için işletme büyüklüklerine uygun tesis büyüklükleri hesaplanmıştır.

Guta (2012), Guta Etiyopya'nın tarımsal alanlarından elde edilebilecek biyogaz potansiyelini araştırmıştır. Etiyopya için biyokütle kaynaklarını birincil ve ikincil kaynaklar olarak sınıflandırmış ve en son verileri kullanarak ülkenin eyaletlerinin ayrı ayrı biyogaz potansiyellerini belirlemek üzerine çalışmıştır.

Avan (2014), Hayvansal üretimin yoğun olarak yapıldığı Tokat ilinin hayvansal atıklarından elde edilen biyogaz potansiyelinin belirlenmesi, CBS teknolojileri kullanılarak enerji üretiminde değerlendirilme olanaklarının incelenmesi amacıyla çalışmıştır. Tokat ili biyogaz üretim potansiyeli ve üretilebilecek elektrik miktarı hesaplanmıştır. Yöredeki büyükbaş hayvan varlığının fazla olması ve büyükbaş hayvan atıklarının daha kolay sağlanabilmesi nedeniyle 250, 500 ve 1000 büyükbaş hayvandan elde edilebilecek atıkların değerlendirileceği örnek merkezi biyogaz tesislerin

planlanması yapılmış, AutoCAD programıyla taban planları, kesit ve cephe görünüşleri çizilmiş, tesislerin boyutlandırılması ve enerji analizleri hesapları yapılmıştır. ArcGIS programı ortamında yapılan analizlerle yöredeki hayvan yoğunlukları ve kırsal yerleşim birimleri arasındaki tanımlı uzaklıklar göz önüne alınarak biyogaz tesislerinin yerleri, sayıları ve kapasiteleri belirlenmiştir.

Öbekcan (2014), Çorum ili merkez ilçesinin 2014 yılı hayvan sayıları referans alınarak atık potansiyeli, üretilebilecek biyogaz miktarı ve ton eşdeğer petrol enerji eşitliği hesaplanmıştır. 2039 yılı için canlı hayvan sayısındaki değişimlerin tam olarak belirlenememesinden dolayı hayvansal atıklardan oluşabilecek biyogaz miktarının 2014 yılı ile eşit olduğu kabul edilmiştir. Çöp depolama sahasından oluşabilecek tahmini biyogaz hacmi ise yine Land Gem v.3.02 Simülasyon programından yararlanılarak 2039 yılına kadar oluşabilecek tahmini toplam biyogaz miktarı nüfus projeksiyonu belirlenerek hesaplanmıştır.

Çevik (2016), Çalışma dâhilinde, Çanakkale İlindeki mevcut hayvansal atıklardan üretilebilecek teorik biyogaz miktarının ve biyogübre potansiyelinin belirlenmesi ile bu potansiyellerin alansal dağılışının incelenmesi gerçekleştirilmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Biyogazın Tanımı ve Tarihçesi

Biyogaz, organik maddelerin havasız koşullarda fermentasyonu ve mikrobiyolojik faaliyetler sonucunda parçalanmasıyla elde edilen, havadan % 20 daha hafif olan yanıcı bir gaz karışımıdır. Biyogaz, % 40-70 oranında CH₄, % 60-30 oranında CO₂ ve diğer gazlardan (CO, H₂S, H₂, N₂) oluşmaktadır. Biyogaz içeriğinde yer alan metan, biyogazın yakıt olarak kullanılmasını sağlamaktadır (Onurbaş, 1993).

Biyogaz yaklaşık 3000 yıl öncesinin eski Çin arşivlerine kadar uzanmaktadır. M.Ö. 1000 yıllarında Asurlular tarafından kullanılmıştır.(Eryaşar, 2007a). Plinius M.S. 23 - 79 yılları arasında, bataklıkların üzerinde titreşimli bir biçimde yanan alevlerden bahsetmektedir (Marchaim, 1992a). Organik materyallerin bozunmasıyla yanıcı gazın üretildiğini 17.yüzyılda Jan Baptista Van Helmont belirtmiştir. Robert Boyle, 1682'de hayvansal ve bitkisel atıkların anaerobik bozunmasıyla gaz üretimi oluştuğunu belirtmiştir (Eryaşar, 2007b). Anaerobik fermentasyonun ilk tanımı, Benjamin Franklin tarafından yapılmıştır (Martineau ve Worley, 2009). Kont Alessandro Volta 1776 yılında, bozunmuş organik materyal miktarıyla açığa çıkan yanıcı gaz miktarı arasındaki ilişkiyi ortaya koymuştur. (Eryaşar, 2007c).

1804–1810 yılları arasında Sir Humphry Davy, John Dalton, ve William Henry tarafından büyükbaş dışkısından anaerobik fermentasyonla metan üretimini kanıtlanmıştır (Marchaim, 1992b).

1821 yılında Avogadro Metan gazını tanımlamıştır. 1868 yılında Bechamp ve 1873 yılında Popoff, CH₄ üretimine sebep olan olguları bakterilerle bağdaştırmışlardır. 1876 yılında Herter kanalizasyon suyundaki asetatın, eşit oranda CO₂ ve CH₄'e dönüştüğünü raporlamıştır. 1884 yılında Pasteur, hayvan gübresinden biyogaz elde edilmesiyle ilgili çalışmalar yapmış ve at gübresinden biyogaz elde edilerek sokak lambalarının aydınlatılmasını önermiştir. 1859 yılında Bombay'da İlk modern biyogaz reaktörü çalıştırılmıştır (Eryaşar, 2007d).

1895 yılında, ilk pratik uygulama olarak, İngiltere'nin Exeter şehrinde kanalizasyon özel bir tesiste toplanmış ve sokak lambalarında kullanılmak üzere biyogaz elde edilmiştir. 20. yüzyılda bilim ve mikrobiyoloji alanında gerçekleşen gelişmeler doğrultusunda biyogaz üzerine araştırmalar artmış, CH₄ üretimi hususunda anaerobik bakteriler ve bu bakterilerin özellikleri saptanarak ortaya konulmuştur (Sözer ve Yıldız, 2006).

Buswell 1920'lerin sonunda anaerobik fermentasyon çalışmalarına başlamıştır. Endüstriyel atıkların ve çiftlik atıklarının enerji üretiminde kullanırken azotun anaerobik fermentasyonun kaçınılmaz bir parçası olduğunu ortaya koymuştur. Barker'ın 1956 yılında yapmış olduğu temel biyokimya çalışmaları metan bakterileri hakkındaki bilgilerin zenginleşmesine büyük katkı yapmıştır (Marchaim, 1992c).

1973–1975 yıllarında baş gösteren petrol sıkıntısı ve bunun sonucu olarak dünya enerji fiyatlarında artış meydana gelmesiyle, biyogaz konusuna olan ilgiyi daha çok artırmıştır. Araştırma, demonstrasyon ve üretim amaçlı olarak, gelişmiş ülkeler ile bunların yol gösterdiği güney ülkeleri ve Doğu Asya ülkelerinde, her ülkenin kendi koşullarına uygun biyogaz tesisleri kurulmaya başlanmıştır. Aynı yıllarda Avrupa Topluluğu ülkelerinde tamamlanan tesis sayısı 300'e ulaşmış, 3 yıl içerisinde Almanya'da 58 adet tesis kurulumu gerçekleştirilmiştir. Biyogaz tesislerinin yapımı 1985–1990 yılları arasında yavaşlamıştır. Almanya'da 1990 yılından itibaren gerçekleştirilen enerji yasasındaki değişiklikler, jeneratör ve gaz motorunun birlikte kolay kullanımı, fermentasyon teknolojisi üzerindeki çalışmalar, H₂S'nin gaz içerisinde temizlenebilmesi gibi gelişmeler biyogaz teknolojisinin tekrar eski önemini kazanmasına yardımcı olmuştur (Buğutekin, 2007a).

Biyogazın dünya çapında yaygınlaşma süreci, 1900'lü yılların ilk çeyreğinde başlamıştır. Dünya biyogaz tesislerinin yaklaşık olarak % 80'i Çin'de, %10'u Nepal, Tayvan ve Hindistan'da geriye kalan %10'luk kısmı diğer ülkelerde kuruludur (Buğutekin, 2007b). Gelişmekte olan bazı ülkelerdeki biyogaz tesis sayısı Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Gelişmekte olan bazı ülkelerdeki biyogaz tesisi sayısı (Buğutekin, 2007c)

Ülke	Tesis Sayısı
Çin	7 000 000
Hindistan	2 900 000
Kore	29000
Brezilya	2300
Bangladeş	566*
Nepal	49500

*Yarısı çalışmamakta

2.2. Dünya’da Biyogaz Gelişimi

Çin nüfusunun %80’i, Hindistan nüfusunun ise % 70’i kırsal kesimde yaşamaktadır. Bu ülkelerde biyogaz sistemlerinin kırsal kesimlerde yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Hindistan’da biyogaz çalışmalarının 1939 yılına uzanmasına karşın ilk deneysel tesisi 1946 yılında kurulmuştur. Çin ise 1936 yılında ilk biyogaz tesisini faaliyete geçmiştir. Sığır atıkları, Hindistan’da kırsal kesimde yaşayan halkın % 59 – 80 civarında kendi sığırlarına sahip olması nedeniyle biyogaz üretimi açısından önemli yer tutarken Çin’de domuz atıkları ön planda tutulmaktadır. Çiftlik tipi tesisler üzerine çalışmalar Hindistan’da 1974 yılında başlatılmıştır. Bu yıllarda yaklaşık 80 bin biyogaz tesisi mevcutken 1981’de Ulusal Biyogaz Kalkınma Programıyla birlikte 10 yıl içerisinde 1,67 milyon biyogaz tesisine 1997 yılında ise 2,7 milyon biyogaz tesisine sahip olmuştur. Ancak atıkların tesise ulaştırılmasındaki lojistik eksiklik, yetersiz atık ve bakımsızlık nedenleriyle kurulu sistemlerin yaklaşık olarak 1/3’ü pasif durumda olmasına rağmen aile tipi biyogaz tesislerinin potansiyeli 12 milyon olarak tahmin edilmektedir. Çin’de 1960’lı yıllarda çiftlik tipi tesislerle ilgili çalışmalar hız kazanmış, 70’lerin sonunda orta ve endüstriyel tip sistemler kurulmaya başlanmıştır. Genellikle 8 m³ hacme sahip aile tipi biyogaz tesis sayısının 11–13 milyona ulaştığı Çin’de, küçük ölçekli tesislerden yılda yaklaşık 3,3 Gm³ biyogaz elde edilmektedir. Sayıları 2200’ü bulan orta ve büyük ölçekli tesislerde ise yılda 1,2 Gm³ biyogaz üretilmektedir. Kırsal kesim nüfusunun yaklaşık %10 – 15’i biyogaz sistemine sahiptir. (Eryaşar, 2007e).

Çin ve Hindistan gibi Asya ülkelerinde aile tipi sayılabilecek 5-10-15 m³’lük küçük tesisler tercih edilirken, Avrupa’da ise orta ve büyük ölçekli tesisler tercih edilmektedir.

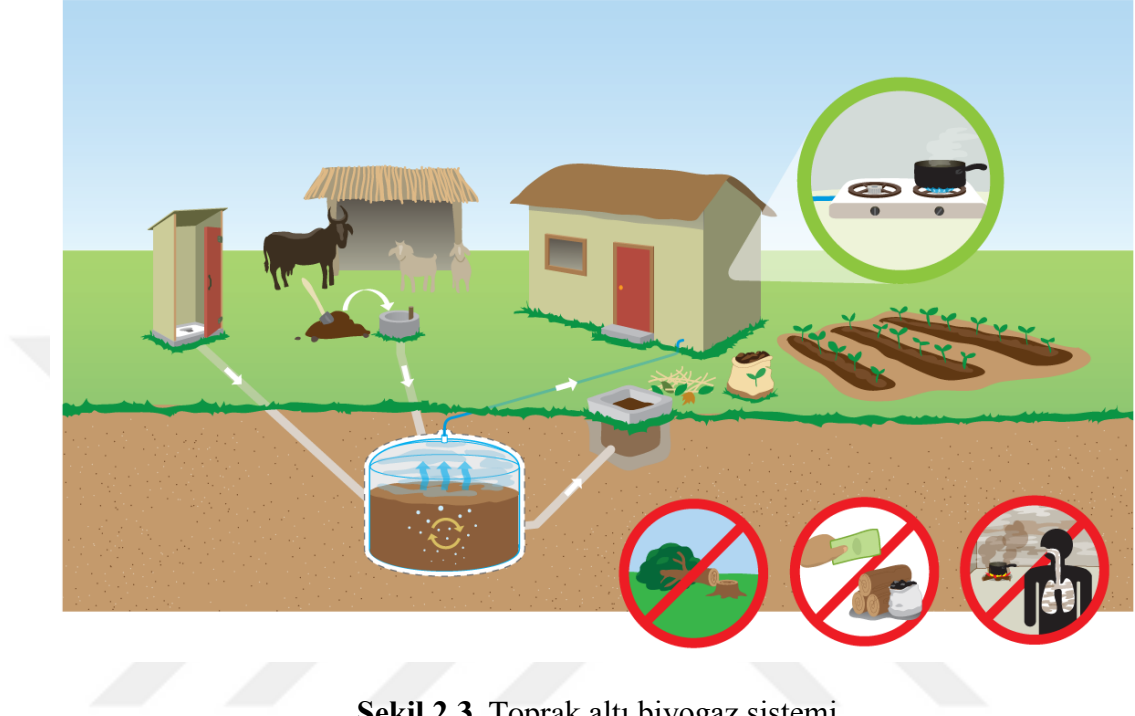


Şekil 2.1. Hindistan'da işletilen bir biyogaz sistemi (İnternet, 2016a)



Şekil 2.2. İlkel yöntemle işletilen biyogaz sistemi (İnternet, 2016b)

Asya ülkelerinde biyogaz sistemleri büyük oranda küçük ölçekli ve toprak altı sistemler olarak inşa edilmiştir. (Şekil 2.3)



Şekil 2.3. Toprak altı biyogaz sistemi

Asya ülkelerinde kırsal kesime yönelik kurulan küçük ölçekli ilkel sistemlere nazaran, Avrupa ve Amerika'da teknolojik gelişmeler biyogaz sistemlerine entegre edilerek üretilen gaz miktarının artışı üzerine çalışmalar yapılmıştır (Bkz. Şekil 2.4). Özellikle büyük hacimli sistemler ve bu sistemlerin verimliliği üzerine araştırmalar yapılarak optimizasyon parametreleri belirlenmeye çalışılmıştır. Avrupa'da 2006 yılı sonu itibariyle toplam elektrik üretme kapasitesi 1100 MW civarında olan yaklaşık 3500 adet biyogaz tesisi işletilmektedir. Almanya, Danimarka ve Avusturya'da yaklaşık 4300 adet biyogaz tesisi işletilmektedir (Rutz ve Canssen, 2007a). Avrupa'nın kuzey ve batı bölgelerinde tesis sayısı ve yapılan yatırımlar doğu ve güney bölgelerine oranla daha fazladır. Birçok ülkede devlet, biyogaz tesisleri için düşük faizli kredi desteği sağlamakta ve vergi oranlarının düşürülmesinde ciddi çalışmalar yaparak teşvik paketleri sunmaktadır. Böylece bölgesel enerji ihtiyacının karşılanmasında uzun vadede devletin yükünü hafifletmekte ve üretilen fazla enerjinin şebekeye aktararak üreticinin gelir elde etmesi sağlanmaktadır.



Şekil 2.4. Danimarka’da büyük hacimli biyogaz santrali (İnternet, 2016c)

“Avrupa Birliği Biyoyakıtlar Raporu”na göre, 2006 yılında AB ülkelerinde üretilen toplam biyogaz miktarı yaklaşık 4898,9 KTEP (16973 GWs) civarındadır. Bu miktar 2007 yılında 5901,2 KTEP (19937 GWs) olmuştur. Almanya’da yenilenebilir enerjiler için düzenlenen yatırım teşvik sistemi sayesinde birçok biyogaz tesisi kurulmuştur. Biyogaz tesisi yatırımcılarının ürettikleri fazla enerjiyi şebekeye satma avantajı da, biyogaz tesislerine yatırımı cazip hale getirmiştir. Üretilen biyogaz dönüştürülerek şebekeye elektrik enerjisi olarak satılabilesinin yanı sıra doğalgaz şebekesine gaz olarak da satılabilmektedir.

2.3. Türkiye’de Biyogaz Gelişimi

Türkiye biyogaz gelişimi çalışmaları 1980 öncesi ve sonrası olmak üzere ikiye ayrılabilir. 1980 öncesi bu çalışmalar, birbirinden bağımsız bir şekilde yetersiz teknolojik bilgilerle birkaç üniversite ve kamu kurumunda yürütülmüştür. 1957 yılındaki ilk çalışmalar Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsünde başlatılmıştır. 1960’lı yıllara gelindiğinde biyogaz ile ilgili çalışmalara daha çok ilgi gösterilmiş ve bunun sonucu olarak bazı Devlet Üretme Çiftliklerinde pilot tesisler hayata geçirilmiştir. (Eryaşar, 2007f).

1960'lı yıllardaki çalışmalar "Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü" ile "Eskişehir Bölge Topraksu Araştırma Enstitüsü"nde yoğunlaşmıştır (Koçer Nacar vd., 2006a).

1963 yılına gelindiğinde Tarım Bakanlığı bünyesinde bulunan Topraksu Araştırma Enstitüsünde yürütülen çalışmalarla, 5 tanesi Eskişehir Topraksu Araştırma Enstitüsünde, 2 tanesi Eskişehir'in köylerinde ve son olarak 1 tanesi de Çorum deneme istasyonunda kurulmak suretiyle toplamda sekiz adet biyogaz tesisi çalışmaya başlamıştır. 1969 yılına kadar bu çalışmalara devam edilmiştir. Bu tesislerin bazıları olumlu sonuçlar vermesine rağmen, bu çalışmaları yürütecek ve yönlendirecek kurumların bulunmaması, biyogaz teknolojisine sıcak bakılmaması, çiftçi eğitimine özen gösterilmemesi ve teknik eleman eksikliği gibi sebeplerden dolayı bu tesisler istenilen verim alınamadığı gerekçesiyle terk edilmiş veya yarım bırakılmıştır (Eryaşar, 2007g).

Uluslararası bazı anlaşmalar sayesinde 1975 yılından itibaren Toprak Su Araştırma Enstitüsü ve 80'li yıllardan sonra Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü dâhilinde yürütülen biyogaz üretimi çalışmaları destek görmüştür (Buğutekin, 2007d).

Özellikle 80'li yıllar başta olmak üzere ve daha sonraki dönemlerde, tüm dünyada baş gösteren petrol krizinin etkisiyle biyogaz teknolojisinin ülke çapında yaygınlaştırılma çalışmalarına hız verilmiş, Köy Hizmetleri Ankara Topraksu Araştırma Enstitüsü'nde bir biyogaz birimi kurulmuştur (Koçer Nacar vd., 2006b).

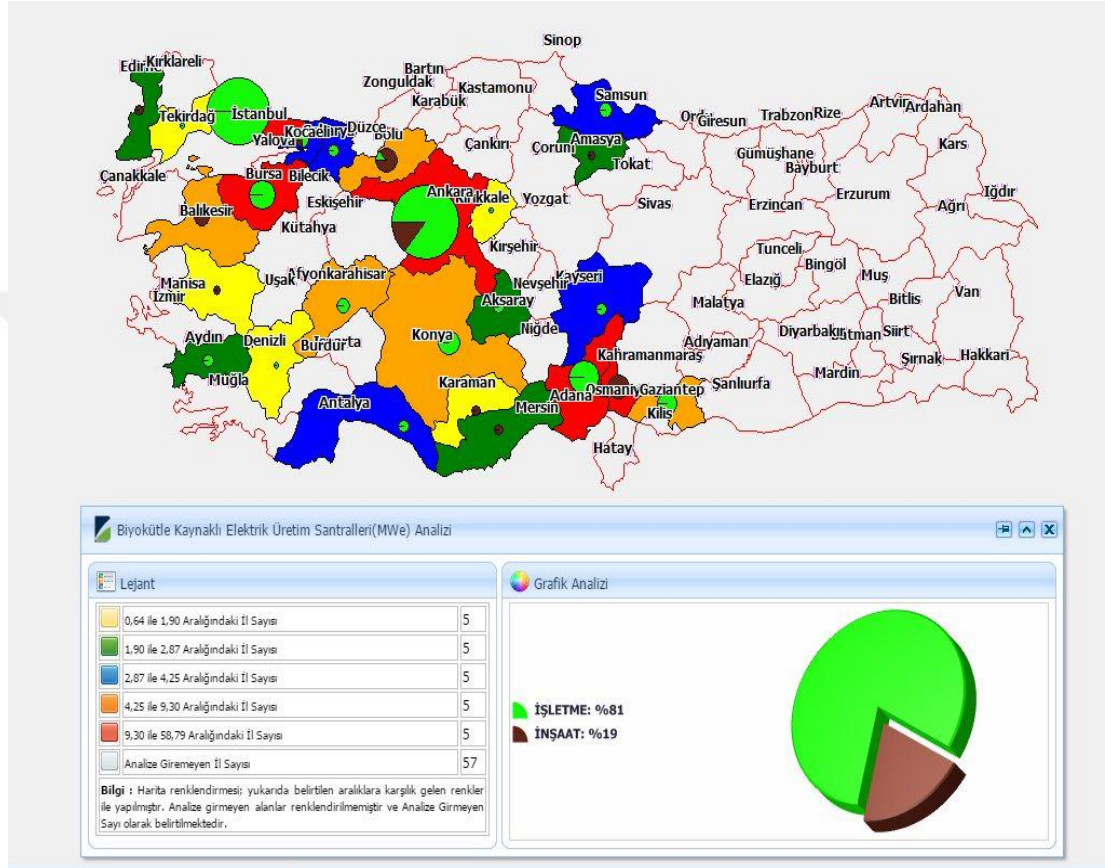
Bu çalışmaların bir kısmında koordinasyon DPT tarafından sağlanırken teknik bilgi ve finans yönünden UNICEF'in destek verdiği görülmektedir. Bu çalışmalara Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Tarım ve Orman Bakanlığı başta olmak üzere TOPRAK-SU, MTA gibi kuruluşlar da katılmışlardır. Bu tesislerin Doğu illerinden başlanarak kırsal kesimde yaygınlaştırılması amaçlanmıştır. 35 m³'lük bir tesis Muş- Alpaslan Devlet Üretim Çiftliğinde kurularak ilk çalışmalar başlatılmıştır. Farklı iklim koşullarında olmak üzere çeşitli Devlet Üretim Çiftliklerinde, pilot tesisler kurularak, bu tesisler test edilmiştir. Konuyla ilgili sorumluluğun 1982 yılında TOPRAK SU'ya verilmesiyle, 1000 adet 6, 8, 12 ve 50 m³ boyutlarında biyogaz sistemleri, köylülere sağlanan 1600 Amerikan Doları limitli, % 16 yıllık faizli krediler sayesinde tamamlanmıştır. 1984–1987 yılları arasında Ankara ve Erzurum illerinde Köy

Hizmetleri Eskişehir Araştırma Enstitüsü bünyesinde, biyogazla ilgili araştırma projeleri yürütülmüştür. Yine bu yıllarda dergilerde ve kitaplarda okuyucuya küçük ölçekli biyogaz tesis projelerinin sunulması biyogaz teknolojisinin yaygınlaştırılmasına yardımcı olmuştur. Tesislerde bazı değişiklikler dışında Hint-Çin tipi sistemlerin özellikleri görülmektedir. Çalışmalar da organizasyon eksiklikleri ve projeler arasında iletişim kopukluğu nedeniyle başarılı olamamıştır. Reaktör sıcaklığının optimum düzeylerde tutulamaması, uygulamalardan verim alınamamasının en önemli sebebi olarak gösterilmektedir (Eryaşar, 2007h). Biyogaz ile ilgili yürütülen çalışmalar 1987 yılında anlaşılmayan bir nedenle kesilmiştir (Buğutekin, 2007e).

Enerji ihtiyacının artması ve konvansiyonel enerji maliyetindeki artışlara paralel olarak biyogaz teknolojisine olan ilgi yeniden artmıştır. 2000'li yıllarda özellikle Ar-Ge çalışmaları kapsamında biyogaz yeniden cazip bir konu olmaya başlamıştır. Günümüzde, biyogaz ile ilgili önemli araştırma ve yatırımlar yapılarak başarılı ve verimli sistemler devreye alınmıştır. Tübitak-MAM ve üniversiteler gibi teknik donanıma sahip kurum ve kuruluşların öncülüğünde, büyük yatırımlar yapılarak büyük hacimli biyogaz sistemleri ve bu sistemlerin verimli işletilebilmesi amacıyla, fiziksel, biyokimyasal ve mekanik gelişmeler üzerine önemli çalışmalar yürütülmektedir.

2002 yılından sonra Türkiye'de yerel yönetimlerin ve uluslararası firmaların biyogaz tesislerine olan ilgisi artmıştır. Biyogaz potansiyeli Türkiye için 2,5–4,0 milyar m³ (yaklaşık 25 milyon kWh) olarak belirtilmektedir (Çetinkaya ve Karaosmanoğlu, 2004a).

Şekil 2.5'te verilen haritada Türkiye'de bulunan Biyokütle Kaynaklı Elektrik Üretim Santralleri (MWe) dağılımı görülmektedir. Tesislerin yaklaşık olarak yüzde 81'i işletmeye alınmış olup, yüzde 19'luk kısmı ise inşa aşamasındadır.



Şekil 2.5. Biyokütle kaynaklı elektrik üretim santralleri (MWe) (İnternet, 2016d)

Türkiye biyogaz potansiyeli açısından önemli bir kaynağa sahip olmasına rağmen henüz bu kaynağın kullanım miktarı istenilen düzeyde değildir. Fakat son zamanlarda gerek teşvikler gerekse yenilenebilir enerji kanununun sağladığı kolaylıklar sayesinde, biyokütle kaynaklarının kullanılmasıyla üretilen elektrik gücü 2002 ile 2014 yılları arasında yıllık olarak %22 büyümeye oranına sahipken 2014 yılında %49 büyümeye göstermiştir.

2.4. Biyogazın Bileşimi ve Özellikleri

Biyogaz, organik madde artıklarının, havasız fermentasyonu sonucunda ortaya çıkan, havadan hafif, kokusuz, renksiz, oktan sayısı 110, havaya karşı yoğunluk oranı 0,83, bileşiminin % 60 - 75'i metan (CH₄), % 25 - 40'ı karbondioksit (CO₂) olan ve parlak mavi alevle yanan bir gaz karışımıdır. "Bataklık gazı", "gübre gazı", "gobar gaz" gibi isimler de verilen biyogaz; ana bileşenleri metan ve karbondioksit olmasına rağmen, az miktarda azot, hidrojen sülfür, karbon monoksit ile oksijen içerir ve yanıcı, renksiz bir gazdır. Biyogaz genel olarak %60 CH₄ ve %40 CO₂'den oluşmakta ve ısı değeri 17-25 MJ/m³'tür. Organik atıkların yaklaşık olarak %40 -%60'ı biyogaza dönüştürülebilmektedir. Geriye kalan maddeler ise katı veya sıvı halde kokusuz gübre olarak kullanılabilir (Aktaş, 2008a). Biyogazın bileşim değerleri, doğalgaz ve diğer yakıtlarla karşılaştırılması Tablo 2.2 - 2.4'te verilmiştir.

Tablo 2.2. Biyogazın bileşim ve enerji eşdeğeri (Kaya ve Öztürk, 2012a)

BİYOGAZ BİLEŞİMİ			BİYOGAZ ENERJİ EŞDEĞERİ	
Gaz	Simge	Oran(%)	Uygulama	1 m ³ Biyogaz Eşdeğeri
Metan	CH ₄	50-70	Aydınlatma	60-100 Watt gücündeki bir ampul ile 6 saat aydınlatılabilir.
Karbondioksit	CO ₂	30-40	Pişirme	5-6 kişilik bir aile için 3 öğün yemek pişirilebilir.
Hidrojen	H ₂	5-10	Yakıt	0.7 kg petrol
Azot	N ₂	1-2	Şaft gücü	Motoru (1BG) 2 saat çalıştırabilir.
Su Buharı	H ₂ O	0,3	Elektrik	1,25 kWh elektrik üretebilir.
Hidrojen sülfür	H ₂ S	Çok az	-	-

Tablo 2.3. Biyogazın doğalgazla karşılaştırılması (Aktaş, 2008b)

Özellikler	Doğalgaz	Biyogaz
Bileşim (hacim %'si)	95-98	55-65
Mol ağırlığı (kg/mol.kg)	16,04	26,18
Yoğunluk (kg/m ³)	0,82	1,21
Isıl değer (MJ/m ³)	36,14	21,48
Maksimum tutuşma hızı (m/sn)	0,39	0,25

Tablo 2.4. Biyogazın enerji değeri açısından diğer yakıtlarla karşılaştırılması (biyogazın metan miktarı % 60) (Aktaş, 2008c)

Yakıt Cinsi	Isıl Değer (kcal/kg)	Biyogaz Miktarı Karşılıkları (kg)
1 kg No:6 Fuel-Oil	9200	0,56
1 kg Karışık Dökme Gaz	11000	0,46
1 kg Propan Dökme Gaz	11000	0,46
Sıvılaştırılmış Petrol Gazı	11000	0,46
1 kg Motorin	10200	0,50
1 m ³ Doğalgaz	8250	0,62
1 kg Soma Kömürü	4700	1,09
1 kg ithal Linyit Kömürü	6500	0,79

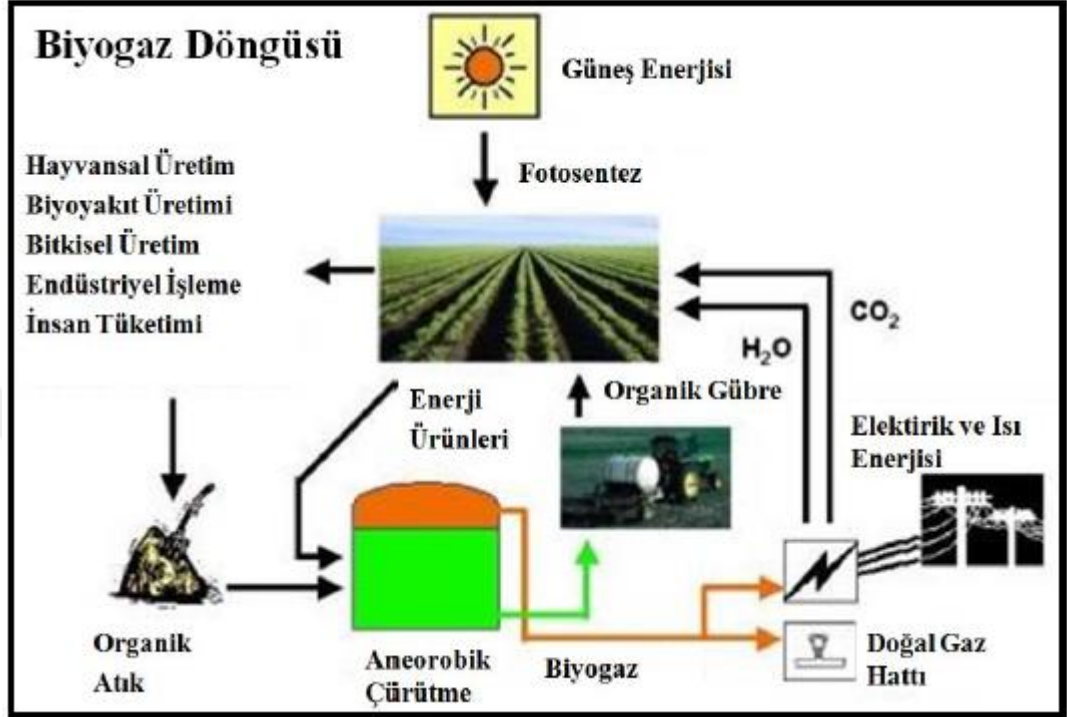
Biyogaza ait spesifik özellikler Tablo 2.5'de verilmiştir.

Tablo 2.5. Biyogazın teknik özellikleri (Buğutekin, 2007f)

Özellik	Açıklama
Yanma	Yüksek derece
Kullanım alanları	Elektrik enerjisi, ısıtma, pişirme, kurutma
Yoğunluk	1,2 kg/m ³ (havanın yoğunluğu 1,3 kg/m ³)
Tutuşma sıcaklığı	700 °C
Tutuşabilir sıcaklık	CO ₂ içerdiğinden düşüktür
Tutuşma oranı	Hava-gaz karışımını 6/12 biyogaz
Yanma için gerekli hava	Teorik olarak 5,7 m ³ hava/m ³ biyogaz
Patlama	Biyogaz tek başına yanmaz, çok dikkatli bir şekilde depolanmalıdır, hava ile teması veya gaz depolama kısmında sızma yoksa tehlikesi yoktur.
Rengi	Renksiz
Biyogazın ısı değeri ortalama	23000 kJ/m ³ (4700-6000 kcal/m ³)
Kokusu	Metan kokusuzdur, fakat diğer gazların içeriğinden dolayı sarımsak kokusuna benzer bir kokusu vardır.

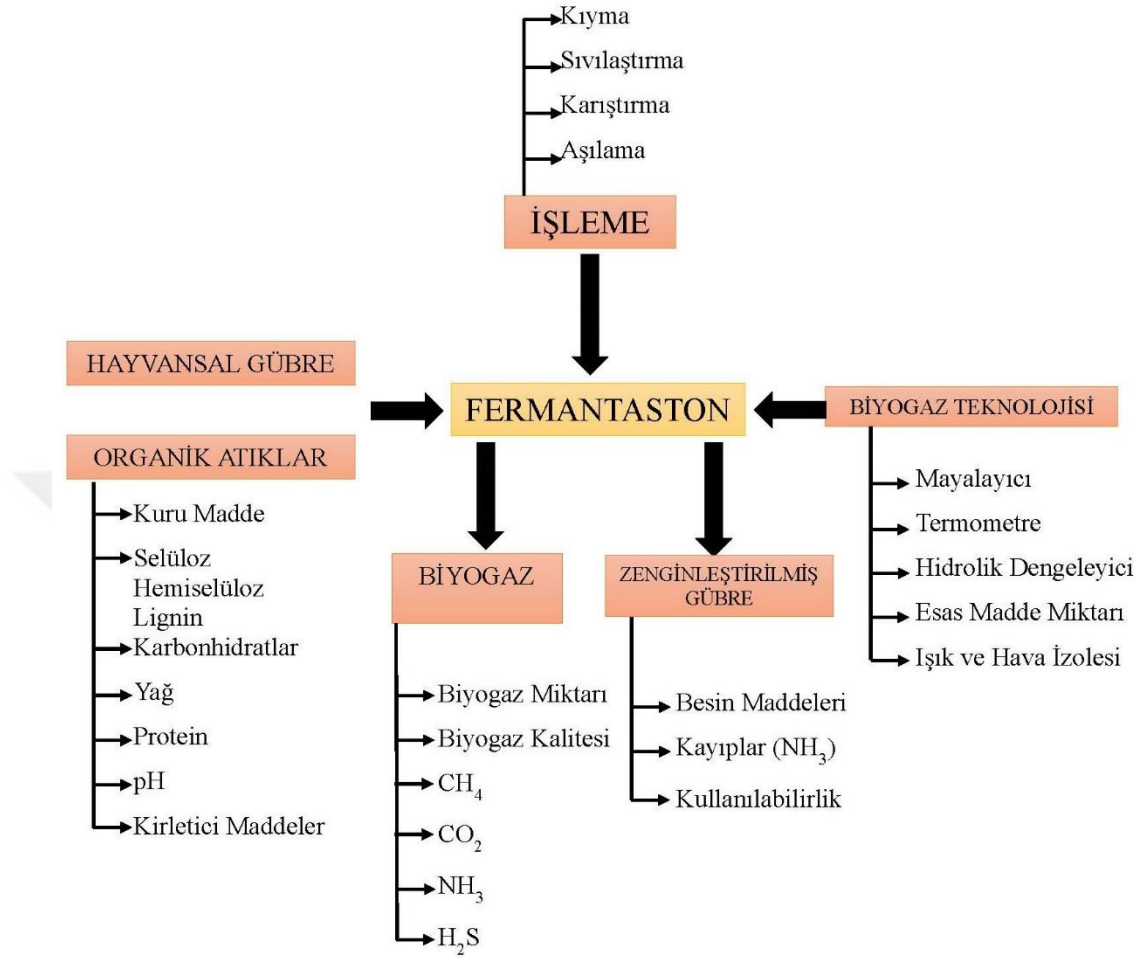
Biyogazın hava içerisinde yanma hızı, karbondioksit (CO₂) ihtiva etmesinden dolayı (0,25 m/s) düşüktür. Yanma reaksiyonlarının gerçekleşmesi için hava içerisinde en az %5 oranında biyogaz bulunmalıdır ve 1m³ biyogaza 5,7 m³ hava gereklidir. İdeal bir yanma sağlanması için bu oran %20–30 olarak seçilmektedir. Yanma ve ısı değerleri yönünden diğer gazlara benzeyen ve biyogaz içerisinde bulunan metan gazı, bazı fiziksel özellikleri bakımından propan ve bütan gazlarından farklıdır. Metan gazı içeriğini etkileyen önemli faktörlerden olan bekleme süresi yüksek tutulmazsa, metan gazı içeriği %50'nin altına düşer, böyle bir durumda biyogazın yanması uzun süreli olmaz. Propan, bütan gibi gazların düşük basınç ve oda sıcaklığında sıvılaştırılması mümkünken biyogazın sıvılaştırılabilmesi için çok yüksek basınç ve düşük sıcaklık gerekmektedir. Ekonomik açıdan masraflı olan bu işlemlerden dolayı biyogaz üretildiği yerde kullanılmakta, tüplere doldurulmamakta veya taşınması borularla yapılmaktadır. Ayrıca metan gazı değeri beslenme materyallerine bağlıdır ve kolay bozulmayan bir yapıya sahiptir. (Buğutekin, 2007g).

Biyogaz üretimi belirli döngü halinde gerçekleşmektedir. Biyogaz döngüsü Şekil 2.6'da görülmektedir.



Şekil 2.6. Biyogaz döngüsü (Wilkie, 2007)

Bir biyogaz üretim süreci içerisinde süreç için gerekli olan girdiler ve süreç sonunda meydana gelen çıktıların oluşabileceği bir üretim döngüsü vardır. Biyogaz üretim döngüsü Şekil 2.7' de görülmektedir.



Şekil 2.7. Biyogaz üretim döngüsü (Amon ve Boxberger, 2000)

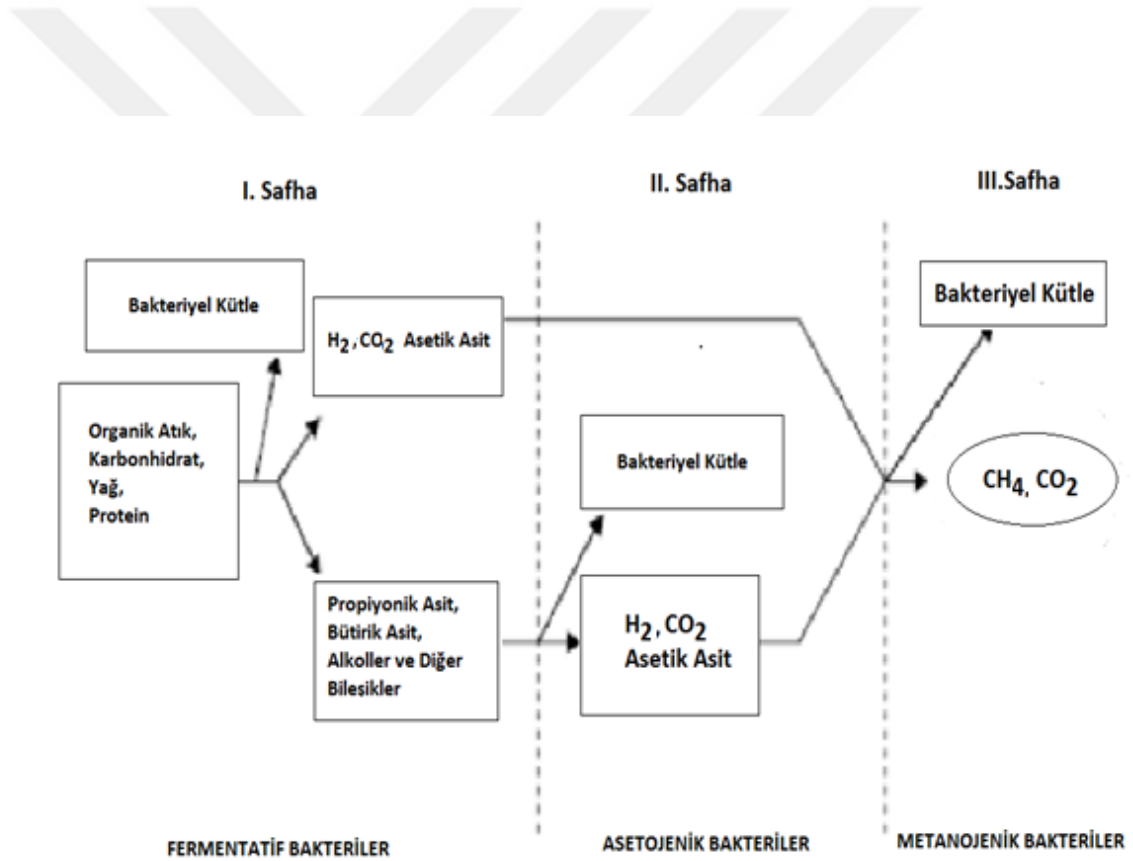
2.5. Biyogaz Oluşumu

Biyogaz basit anlatımla organik materyallerin oksijensiz ortamda yapısı bozularak üretilen bir gazdır. Biyolojik orijinlidir ve bir tür biyoyakıttır. Bu gaz biyokütle, bitkisel atık, hayvansal atık, kanalizasyon atıkları vb. atıklardan üretilmektedir. Bu tür üretilen gazlar metan ve karbondioksit içermektedirler, anaerobik çürüme ve metan oluşumu 3 aşamada gerçekleşmektedir.

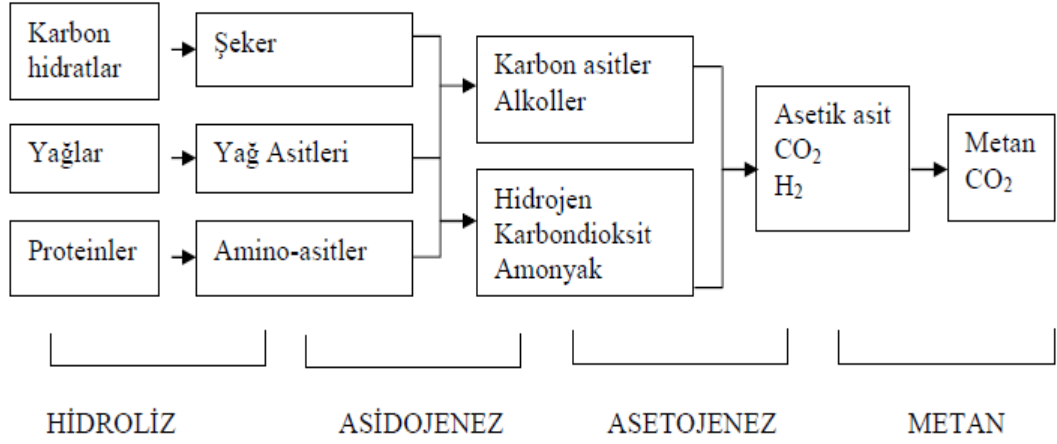
1.Aşamada, makro moleküler bileşiklerin hidroliziyle yağ asitleri ve disakkaritler meydana gelmekte iken,

2.Aşamada, bu bileşikler enzimler vasıtasıyla asitlere, alkollere, hidrojen ve karbondioksite dönüşür. Yine bu safhada nitrojen ve sülfür bileşikleri amonyak ve hidrojen sülfüre dönüşmektedir.

3.aşamada ise ağır anaerobik şartlar altında metan, karbon dioksit, amonyak, hidrojen ve hidrojen sülfür vb. türevleri meydana gelmektedir. Anaerobik çürüme safhaları Şekil 2.8 - 2.9'de görülmektedir.

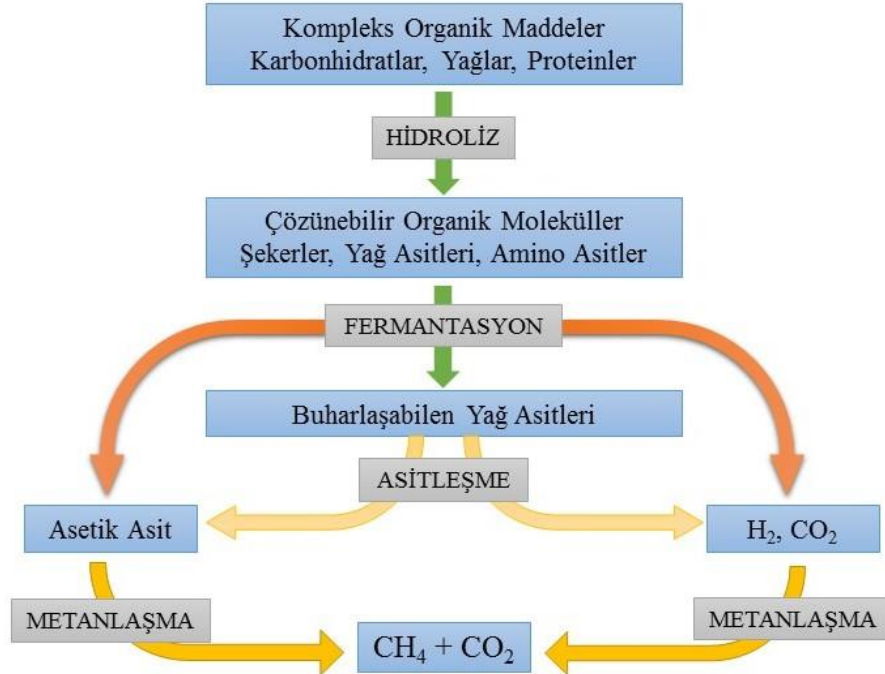


Şekil 2.8. Anaerobik çürüme safhaları (Kossmann ve Pönitz, 1999)

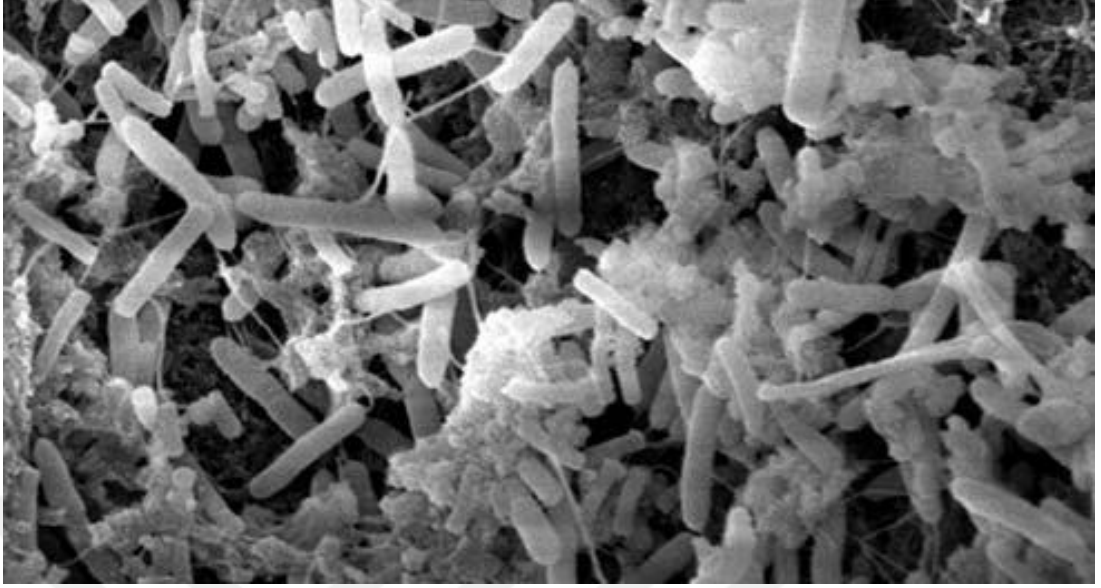


Şekil 2.9. Biyogaz oluşum süreci

Şekil 2.8'deki biyogaz oluşum evrelerinde de görüldüğü üzere organik maddeler çözünerek 3.aşamadaki Şekil 2.9'da görülen metan formülü bakterilerin vasıtasıyla anaerobik şartlar altında metan (biyogaz) oluşumu gerçekleşirken inorganik maddeler atık olarak ortaya çıkmaktadırlar.



Şekil 2.10. Biyogaz oluşum evreleri



Şekil 2.11. Metan bakterileri (İnternet, 2016e)

Metan oluşumunun gerçekleştiği 3 aşama şu şekilde açıklanabilir;

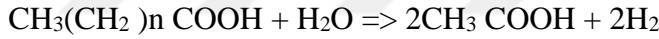
1-Fermentasyon ve hidroliz: Birinci aşamada fermantatif ve hidrolitik bakteriler olarak adlandırılan bakteri grupları, organik maddelerin üç temel ögesi olan karbonhidrat ($C_6H_{10}O_5)_n$, yağ ($C_5OH_{90}O_6$) ve proteinleri ($6C\ 2NH_3\ 3H_2O$) parçalayarak, çözülebilir uçucu organik maddeler ile bunlara ek olarak, CO_2 ve asetik asite dönüştürürler. Uçucu yağ asitlerinin, uçucu organik maddelerin büyük bir bölümünü oluşturması nedeniyle, bu aşamaya uçucu yağ asitlerinin $[CH_3(CH_2)_nCOOH]$ oluşum aşaması ismi de verilir (Yokuş, 2011a). Mikroorganizmalar tarafından organik maddelerin monomerlerine (yapı taşı) dönüştürülmesi bu aşamada gerçekleşir. Parçalanma boyunca karmaşık yapıda olan çözünemeyen substrat makromoleküller, bakteriler tarafından daha basit ve çözünebilir ara ürünlere hidrolize olurlar. Partikül substratlar, bakterilerin hücre dışı enzimleri tarafından hücre zarı arasından geçebilecek şekilde küçük moleküllere hidroliz edilirler. Bu basit taşınabilir moleküller hücre içerisinde, enerji sağlamak ve hücresel bileşenler sentez etmek için kullanılır. Amilaz enzimi tarafından nişasta glukozla dönüştürülür. Selülaz enzimi tarafından gerçekleştirilen selülozun hidrolizi sonucu glukoz oluşur, hemiselülozun hidrolizi xyloz, glikoz, pentozos, arabinoz ve mannoz gibi monosakkaritlere indirgenmesi şeklinde gerçekleşir ve polisakkaritler ise basit şekerlere dönüştürülür (Gül, 2006a). Bu enzimlerin çalışabilmesi için belirli bir

sıcaklık ve pH gerekmektedir. Anaerobik çürümeye rol oynayan hidrolitik enzimler için uygun sıcaklık ve pH değerleri Tablo 2.6'da verilmiştir.

Tablo 2.6. Patates posasının anaerobik çürümesinde rol oynayan hidrolitik enzimler için uygun pH ve sıcaklık değerleri (Gül 2006b)

Enzimler	pH	Sıcaklık (°C)
Amilaz	5-9	50
Karboksimetil Selüloz	5	60
Xylanaz	6	50
Pektinaz	7-9	50
Proteaz	6	50
Filtre kağıdı selüloz	6	50

2-Asetik asidin oluşumu: İkinci aşamada, uçucu yağ asitlerini asetik aside dönüştüren asetojenik (asit oluşturan) bakteri gruplarının ve bir kısım asetojenik bakterilerin devreye girmesiyle bir önceki aşama sonucunda açığa çıkan uçucu yağ asitleri asetik asit ve hidrojene dönüştürülmektedir.



Açığa çıkan hidrojen ve karbondioksit ise diğer bir kısım asetogenik bakteri grubu tarafından kullanılarak asetik asit oluşturulmaktadır. Ancak bu ikinci yolla oluşan asetik asit miktarı, birinciye oranla daha azdır (Yokuş, 2011b).

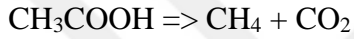
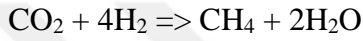


Asit oluşturu anaerobik bakteriler, çözünür hale getirilmiş organik maddeleri daha küçük yapıdaki maddeler olan asetik asit, uçucu yağ asitleri, CO₂ ve H₂ gibi maddelere dönüştürürler. Asetik asit gibi uçucu yağ asit bakterileri asidik şartlarda büyürler ve bu bakterilerin büyümesi ve çoğalması için oksijen ile karbona ihtiyaçları vardır. Metan oluşturu bakteriler için anaerobik şartlar sağlayan bakteri grubu, asit oluşturu bakterilerdir (Gül, 2006c).

Organik bileşikler, uçucu yağ asitlerinden başka asit bakterileri tarafından daha düşük moleküllü organik asitlere, aminoasitlere, karbondioksite, hidrojen sülfüre ve alkollere dönüştürülürler (Asplund, 2005).

Organik madde konsantrasyonundaki hızlı artışlar sonucu asit üretiminin artması pH değerinin düşmesine neden olur. Ayrıca asit üretim hızının metan üretim hızına göre yüksek olması metan bakterileri üzerinde inhibasyon etkisi görülmesine neden olur (Gül, 2006d).

3-Metan oluşumu: Üçüncü ve bu son aşamada, metan oluşturan bakteri gruplarından bir kısım bakteriler CO₂ ve H₂'yi kullanarak CH₄ ve H₂O açığa çıkarırlarken, öteki bir grup metan oluşturan bakteriler ise ikinci aşama sonucunda açığa çıkan asetik asidi kullanarak CH₄ ve CO₂ oluşturmaktadırlar.



Fermantasyon ortamının sıcaklığına göre metan bakterileri, üç gruba ayrılır. Bu bakteriler için optimum faaliyet sıcaklıkları aşağıdadır:

Psikofilik Bakteriler: 5-25 °C,

Mezofilik Bakteriler: 25-38 °C,

Termofilik Bakteriler: 50-60 °C.

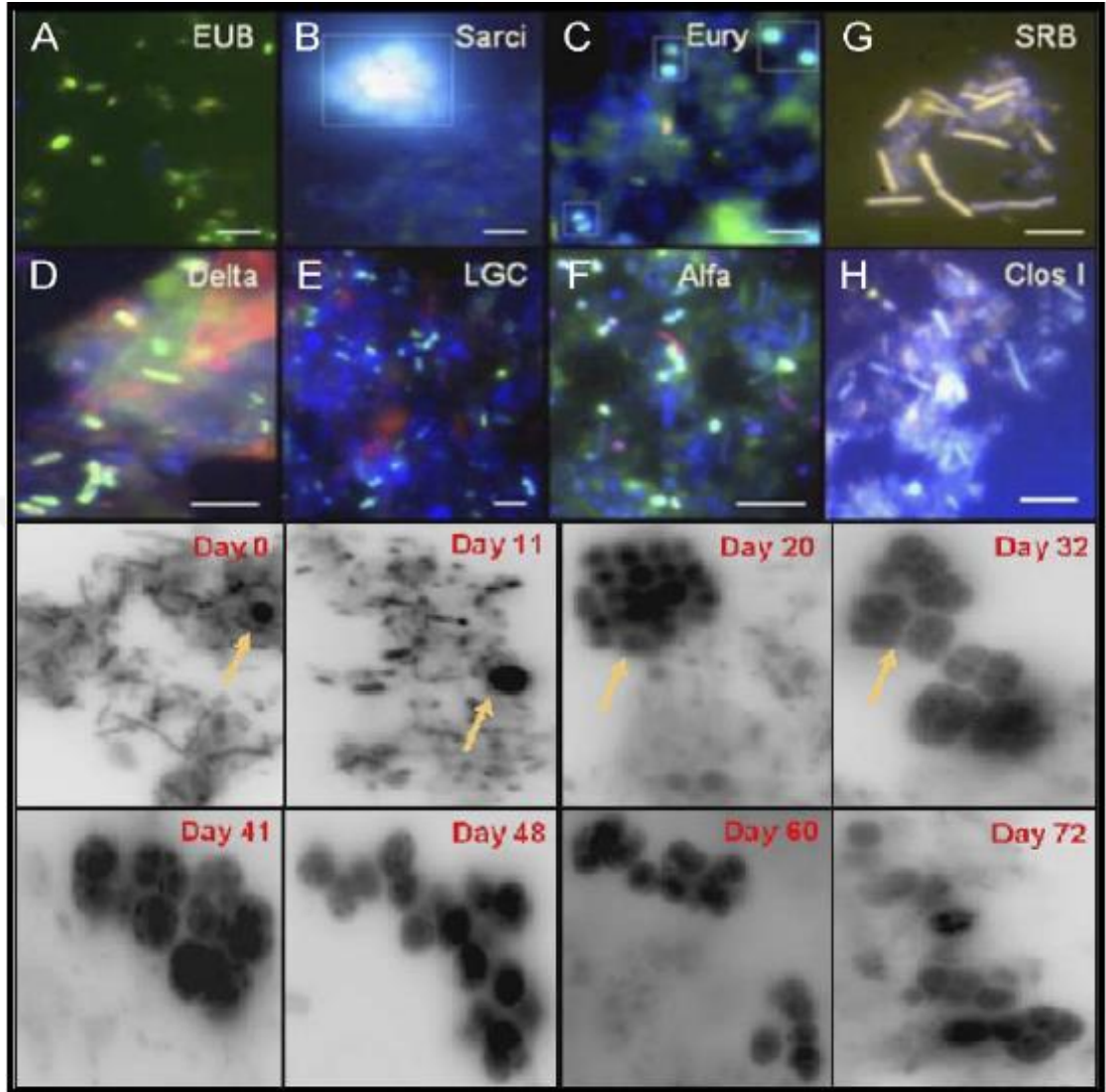
Termofilik bakteriler yüksek sıcaklıklarda bulunan jeotermal ve volkanik bataklıklarda yaşarken, psikofilik bakteriler bataklıklar ile deniz ve göl diplerindeki tortullarda yaşamaktadırlar (Gül, 2006e).

2. grup olan mezofilik bakteriler, sığır gübresinde yaşamasına rağmen, diğer gruplar olan psikofilik ve termofilik bakteriler sığır gübresi içerisinde bulunmamaktadır. Bu durumda biyogaz tesisi için sığır gübresi kullanılması düşünülüyorsa uygulama olarak mezofilik fermantasyon seçilmelidir (Yokuş, 2011c). Metan oluşumundaki optimum fermantasyon koşulları Tablo 2.7'de verilmiştir.

Tablo 2.7. Metan oluşumundaki optimum fermantasyon koşulları (Buğutekin,2007h)

Faz	Proses	Işık	Oksijen	Sıcaklık (°C)	Uçucu asit	pH	Oksidasyon redüksiyon gerilimi
Faz 1	Hidroliz ve Asit fermantasyonu	Karanlık	Fakultatif	30-40	% 2-4	4-4,5	+100/-100
Faz 2	Metan fermantasyonu	Karanlık	Obligate	Mesofilik 30-40 Termofilik 50-55	300 mg/l daha az	6,5-7,5	-150/-400

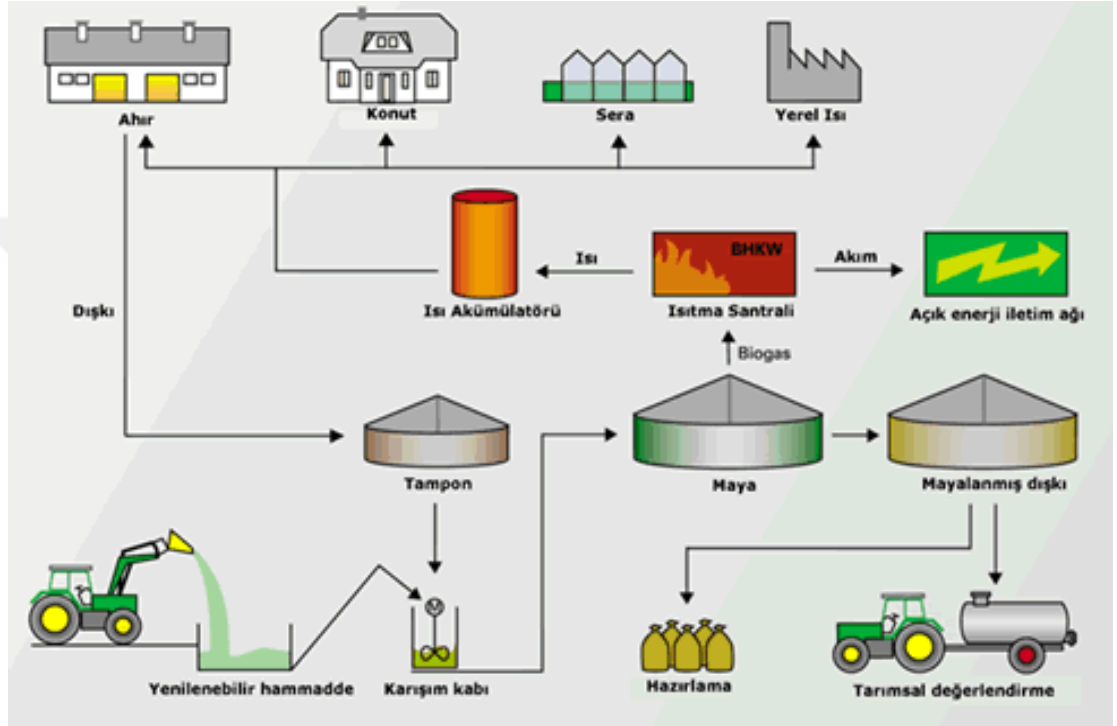
Biyogaz üretiminin olmazsa olmaz şartlarından biri olan ısı ve atığı bekletme süresi birbirleriyle doğrudan ilişkilidir. Ortam sıcaklığı arttıkça alıkonma süresi de düşmektedir (Onurbaş Avcıoğlu, 2010a). Bunun yanında alıkonma süresi ile metan bakterilerinin çalışması arasında da önemli bir bağlantı vardır. Şekil 2.12’de görüldüğü üzere belli bir alıkonma süresinde bakteri oluşumunda artış olurken 60 günlük bekleme süresinden sonra bakteri oluşumunda azalma meydana gelmektedir (Lübken vd., 2007a).



Şekil 2.12. Metan bakterilerinin ve metan oluşumunun mikroskop altında görünümü (Lübken vd., 2007b)

2.6. Biyogaz Üretimini Etkileyen Faktörler

Biyogaz üretimini etkileyen temel faktörler; biyogaz tesisinde kullanılacak materyaller ile ilgili, biyogaz sistemindeki üreteçle ilgili ve işlem süreci ile ilgili olmak üzere 3 bölüm altında toplanabilir (Buğutekin, 2007i).



Şekil 2.13. Biyogaz üretim sistemi

Tablo 2.8. Biyogaz üretiminde etkili etmenler (Acaroğlu, 2003; Yıldız, 2005)

Biyogaz Tesisinde Kullanılacak Materyal İle İlgili Etmenler	<ul style="list-style-type: none"> • Materyalin cinsi ve içeriği • Kuru madde ve organik madde oranı • İçerdiği yataklık miktarı • Partikül büyüklüğü
Biyogaz Sistemindeki Üreteç İle İlgili Etmenler	<ul style="list-style-type: none"> • Üretecin yapıldığı malzeme • Üretecin boyutları ve hacmi • Üretecin bulunduğu yer • Karıştırma/yükleme/boşaltma sistemleri • Isıtma sistemi ve yalıtım özellikleri
İşlem Süreci İle İlgili Etmenler	<ul style="list-style-type: none"> • Uçucu madde oranı • Organik kuru madde oranı • Hidrolik yükleme oranı • Fermentasyon sıcaklığı • Bekletme süresi

Biyogaz sistemlerindeki, elde edilecek CH₄ verimine etki eden birçok parametre bulunmaktadır. Bunlar; biyokütlenin biyolojik bozunabilirliği, kullanılacak hammaddenin kompozisyonu, hammaddenin katı madde ile organik katı madde içeriği ve bu maddelerin ihtiva ettiği besin maddelerinin birbiri ile olan etkileşimleri, tane boyutu karışım oranları şeklinde sıralanabilir. Bu faktörlerin yanı sıra, hammadde ilave frekansı, karıştırma frekansı, hammaddenin reaktörde kalış süresi ve sıcaklık gibi parametreler de biyogaz tesislerinde CH₄ verimi oranının artırılmasında önemli rol oynar. Biyogaz tesisi kurulumu öncesinde bu önemli parametrelerin, laboratuvar ve pilot ölçekte yapılacak çalışmalar ile analiz edilmesi gereklidir. Bu analizler, laboratuvar ve pilot ölçekli çalışmaların öncesinde ve bozunma sonrasını temsil etmek amacıyla sonrasında gerçekleştirilmelidir. Biyogaz üretim çalışmalarında yapılması önerilen laboratuvar analizleri Tablo 2.9'da özetlenmiştir.

Tablo 2.9. Biyogaz tesisleri için önemli çevre koşulları

Çevre Koşulları	
Sıcaklık	Genel olarak, çevre ısısı yükseldikçe, kimyasal reaksiyonların tepkime hızının da arttığı kabul edilmektedir. Ancak biyogaz tesislerinde, bu prensip ele alınmamalıdır. Kullanılması düşünülen teknoloji ve atık tipine göre, en uygun sıcaklık koşulları belirlenir ve sistemin belirlenen sıcaklık aralıklarında çalışması sağlanır.
pH	Bozunmanın çeşitli aşamalarında görev yapan mikroorganizmalar, ortamda farklı pH değerlerinde optimum çalışma sağlayabilmektedirler. Sistemin pH değerleri, kullanılan tesis ve teknoloji tipine göre farklı değerlerde olabileceği gibi, genel olarak optimum pH değerlerinin reaktör içinde 7,0 ile 7,5 dolaylarında olması tercihen uygun görülür.
Alkalinite	Reaktörün asit-nötralizasyon kapasitesini belirleyen parametreye alkalinite denilmektedir.
Besin Desteği	Anaerobik bozunmada mikroorganizmalar kendi türlerine özgü olarak çeşitli makro ve mikro besinler ile vitaminlere ihtiyaç duymaktadırlar. Bu bileşenlerin bulunabilirlikleri ve ortam konsantrasyonu, çeşitli popülasyonların aktivitelerini ve büyüme hızlarını etkiler. Metanojen arkeler genel olarak Nikel (Ni), Kobalt (Co), Selen (Se) ve Molibden (Mo) ile kısmen de Wolfram (W) gibi elementlere ihtiyaç duyarlar.
Zararlı Maddeler	Reaktörlerin yüklenmesinden önce, zararlı maddelerin tespiti ve bunların ayrıştırılması, zararlı maddelerin, proses ilerleyişinde gecikmelere neden olabilmesi veya toksik konsantrasyonlarda bozunma prosesini durdurabilmesi nedenleriyle önemlidir.

Tablo 2.10. Biyogaz tesisleri için önemli işletme parametreleri

İşletme Parametreleri	
Yükleme Oranı ve Bekleme Süresi	Fermentör büyüklüğü seçilirken, hammadde içerisinde bulunan organik maddelerin bütünüyle bozunması ya da azami gaz verimi her zaman hedeflenmemektedir. Organik kütlelerin tamamının bozunması istenildiği takdirde, bunun sağlanabilmesi için uygun büyüklükte tank hacmine sahip olunması ve materyalin fermentörde çok uzun süre bekletilmesi gerekmektedir. Dolayısıyla karşılanabilir bir maliyetle en uygun bozunma performansı sağlanmalıdır.
Karıştırma	Biyogaz üretiminin yüksek oranlarda olması isteniyorsa, materyal ile bakterilerin yoğun bir şekilde temas etmesi gerekir ve bu da fermantasyon tankının karıştırılmasıyla gerçekleştirilir. Fermentörde karıştırılma işlemi gerçekleştirilmediği takdirde bir süre sonra segregasyon (çökelme) sonucu katman oluşumu gözlemlenir; dolayısıyla fermentör içerisindeki materyalde, yoğunluk farklılığı ile gaz üretiminde azalma meydana gelir.
Katı madde (KM) Miktarı	Tesis işletme koşulları açısından, optimum katı madde yükleme oranlarının belirlenmesi bu sistemler için gereklidir; bozunma işleminin başarılı bir şekilde gerçekleşmesi reaktöre yüklenecek hammaddenin katı madde ve organik katı madde içeriğine bağlıdır.
Tane Boyutu	Reaktör içerisindeki hammadde tane boyutlarının olabildiğince küçük olması, mikrobiyolojik teması ve dolayısıyla bozunma hızını artırır.

Uçucu Yağ Asitleri (VFA)	Bozunma prosesi esnasında, uçucu yağ asitlerinin birikmesi söz konusu olursa, ortamın asidik özelliğinde artış meydana gelir, CH ₄ oluşumunda görev yapan bakteriler için uygun koşullar ortadan kalkar ve bu da CH ₄ oluşumunu engellenmiş olur.
Besin İçeriği	Toplam Azot (N), Fosfor (P), Sülfür (S), Magnezyum (Mg), Potasyum (K), Nitrojen (NO ₃), Amonyum Nitrojen (NH ₄), Fosfat (P ₂ O ₅), Potasyum Oksit (K ₂ O)
Karbon/Azot (C/N) Oranı	Karbon ve azot oranlarının (C/N:8-20) uygun değerlerde olması metanojen bakterilerinin metabolik aktiviteleri için önemli bir parametredir.
Ağır Metaller	Kurşun (Pb), Bakır (Cu), Nikel (Ni), Krom (Cr), Çinko (Zn), Kadmiyum (Cd), Cıva (Hg)
Gaz Kompozisyon ve Miktarı	Tesisin verimli çalıştığını gösteren faktörler; gazın kalitesini temsil eden kompozisyon (metan, karbondioksit, su buharı ve ser miktarda diğer gazlar) ve elde edilen biyogazın günlük miktarıdır. Bu kompozisyonların hedeflenen oranlarda ve miktarlarda elde edilememesi, bozunmanın gerçekleşemediğine ve reaktör işletmesinde bazı problemlerin olduğuna ilişkin bilgiler verir.

2.7. Biyogaz Üretiminde Kullanılan Maddeler

Genel olarak içerisinde karbonhidrat, selüloz, hemiselüloz, yağ veya protein bulunan her türlü biyokütle biyogaz üretimi için kullanılabilir. Önemli olan burada hammadde olarak kullanılacak biyokütleyle uygun fermantasyon prosesin seçilmesidir (Deublein ve Steinhauser, 2008a).



Şekil 2.14. Biyogaz üretiminde kullanılan bazı hammaddeler

Biyogaz üretimi için genel olarak kullanılan maddeler şunlardır (Çetinkaya ve Karaosmanoğlu, 2004b):

- Hayvan gübreleri büyükbaş hayvancılık, küçükbaş hayvancılık, tavukçuluk vb.,
- Orman endüstri atıkları,
- Kâğıt endüstri atıkları,
- Deri ve tekstil endüstri atıkları,
- Gıda endüstrisi atıkları (maya, çikolata, süt, içecek üretimi),
- Meyve, sebze, tahıl ve yağ endüstri atıklar,
- Şeker endüstri atıkları,

- Bahçe atıkları,
- Zirai atıklar,
- Atık su arıtma tesisi atıkları,
- Evsel katı atıklar,
- Yemek atıkları.

Biyogaz üretiminde kullanılabilen tüm materyallerin biyogaz verimi ve CH₄ oranı farklılık göstermektedir. Kullanılabilecek maddeler ve biyogaz verimleri Tablo 2.11’de verilmiştir.

Tablo 2.11. Çeşitli kaynaklardan elde edilebilecek biyogaz verimleri ve biyogazdaki metan miktarları (İnternet, 2016f)

Kaynak	Biyogaz Verimi (Litre/kg)	Metan Oranı (Hac.% si)
Sığır Gübresi	90-310	65
Kanatlı Gübresi	310-620	60
Domuz Gübresi	340-550	65-70
Buğday Samanı	200-300	50-60
Çavdar Samanı	200-300	59
Arpa samanı	290-310	59
Mısır sapları ve artıkları	380-460	59
Keten & Kenevir	360	59
Çimen	280-550	70
Sebze Artıkları	330-360	Değişken
Ziraat atıkları	310-430	60-70
Yerfıstığı kabuğu	365	-
Dökülmüş ağaç yaprakları	210-290	58
Algler	420-500	63
Atık su çamuru	310-800	65-80

Anaerobik fermentasyonun belediyelere ait atık su arıtımında kullanımının diğer uygulamalardan daha karmaşık olmasının nedeni bu atıkların ağır metaller ve toksik maddeler ihtiva etmesidir. Ancak hayvansal atıkların anaerobik fermentasyona daha uygun olduğu görülmektedir (Eryaşar, 2007i). Biyogaz üretiminde biyogaz verimini doğrudan etkilediğinden kullanılan materyallerin toplam kuru madde miktarı ve uçucu kuru madde miktarlarının bilinmesi önemlidir. Çeşitli maddelerin biyogaz verimleri ile TK ve UK oranları Tablo 2.12’de verilmiştir.

Tablo 2.12. Çeşitli materyallerin TK ve UK oranlarıyla biyogaz verimleri (Eryaşar, 2007j)

Materyal	TK(%)	UK(%)	Biyogaz Verimi (L/kg.UK)
Sığır Atığı	5-25	75-85	200-350
Tavuk Atığı(Yumurta)	10-35	70-75	310-620
Tavuk Atığı(Et)	50-90	60-80	550-650
Küçükbaş Hayvan Atığı	30	20	90-310
At atığı	25-30	60	200-350
Domuz Atığı	3-16	70-80	250-550
Buğday Samanı	70-90	85-93	200-300
Mısır artığı	80	91	350-480
Pirinç Artığı	89	93	170-280
Çimen	20-25	89-90	280-550
Küspe	65	78	140-190
Sebze Atıkları	5-20	75-86	300-400
İnsan Atığı	20-27	75	310-400
Yapraklar	80	90	300-400
Süt Prosesi Atığı	8-12	90	350-800
Konsantre Süt Prosesi Atığı	20-25	90	800-950
Meyve Artıkları	15-20	75	250-500
Yemek Artıkları	10-18	80-95	500-600

Sığır atığına bakıldığında biyogaz veriminin ortalama $0,2 \text{ m}^3/\text{kg-UK}$ olduğu görülürken domuz atığına bakıldığında bu değer yaklaşık $0,3-0,45 \text{ m}^3/\text{kg-UK}$ olduğu görülmektedir. Bu fark, toplam katıda yağ oranının, domuz atığında % 7–12,3 sığır atığında % 3,5–7,5 dolaylarında olmasından kaynaklanmaktadır (Boyd, 2000).

Sığır atığı kullanımında, hayvanın sindirim sisteminde, metanın bir kısmının dönüştürülmesi ve birim atık başına biyogaz eldesinin düşmesi gibi bir sorun ortaya çıkmaktadır. Geviş getiren hayvanların atıkları, sindirim sistemindeki metan bakterileri tarafından dönüştürülemeyen maddeleri içerir. Bu sebeple biyogaz verimleri daha düşük olmaktadır. Domuz ve tavuk atığından farklı olarak geviş getiren hayvanların atığı, kuruduktan sonra su absorbe etmez ve yüzeyde yüzer. Atığı parçalamak bile bu duruma çözüm üretmez. Sığır atığında, hayvanın sindirim sisteminden gelen metan bakterileri bulunduğu için, biyogaz üretiminde doğal aşı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Ancak tarımsal atıklar, yaprak, saman ve endüstriyel atıklar fermente olabilmelerine karşın aşılama yapılmadığında fermantasyonun başlaması aylarca sürebilir. Sığır atığının dezavantajı; içerdiği yüksek miktardaki fibre ve bu materyalin fermantasyonunun zor olmasıdır (Eryaşar, 2007k).

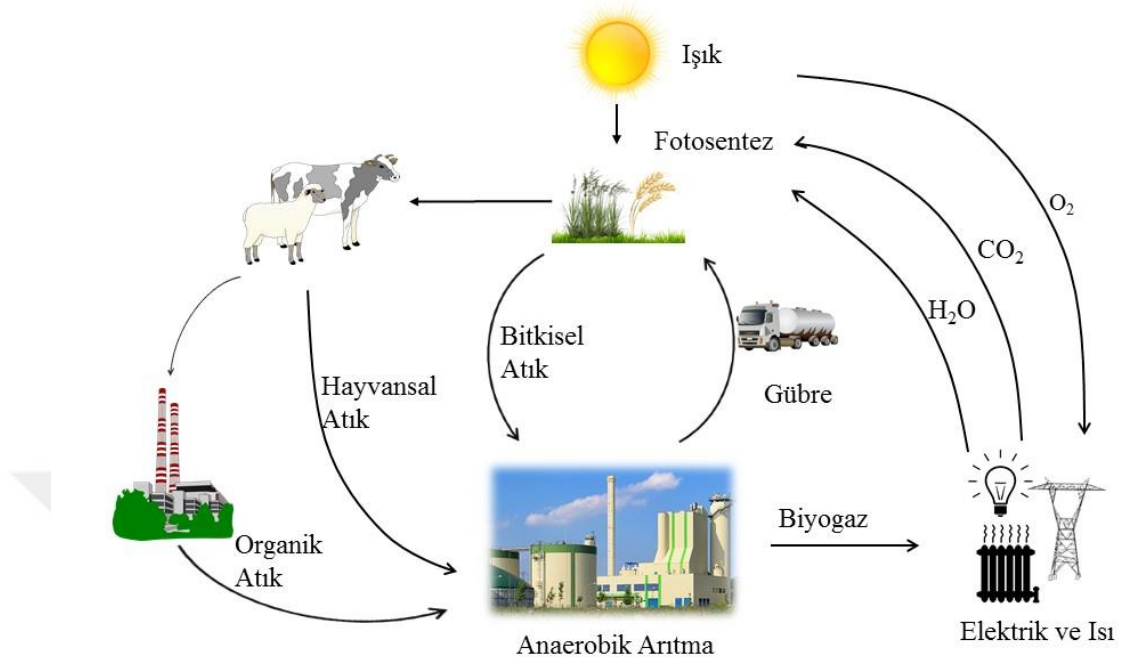
2.8. Biyogaz Tesislerinin Avantajları ve Dezavantajları

Anaerobik fermantasyon prosesi ile biyogaz üretiminin çevresel açıdan, sağlık açısından ve sosyo-ekonomik açıdan sağladığı pek çok faydanın yanı sıra bazı riskleri de vardır. Biyogaz tesislerinin avantajları ve dezavantajları aşağıda belirtilmiştir.

2.8.1. Biyogaz tesislerinin avantajları

- ❖ Atıklar genel olarak doğal bozulmaya bırakılırlar. Böylece gerçekleşen kontrolsüz bozunma; toprak, su ve havanın büyük ölçüde kirlenmesine neden olur. Ancak biyogaz elde etme yolu ile atıkları enerji hammaddesi olarak kullanmak mümkündür.
- ❖ Biyogaz üretimi ile doğal halde atmosfere kendiliğinden salınan ve sera gazı etkisine neden olan emisyonların azalması sağlanır. Böylece Kyoto Protokolü sera gazı emisyonları şartlarının sağlanmasına destek olur.
- ❖ Depolama alanlarından atmosfere yayılan istenmeyen kokuların önlenmesi sağlanır.
- ❖ Hammadde olarak kullanılan atıkların normal şartlarda değerlendirilmesi için gerekli olan düzenli depolama ve bertaraf alanları ile arazi ve teknoloji maliyetleri azalır. Atık malzemelerden, sürdürülebilirlik ve geri dönüşüm ilkeleri ile enerji elde edilir.

- ❖ Biyogaz üretimi sonucunda üretilen ısı ve elektriğin kullanımı ile fosil kaynaklı enerji kullanımını azalır. Isı ve elektrik satışı ile ekonomik fayda elde edilir.
- ❖ Biyogaz eldesi sonucu ortaya çıkan fermente atıklardan katı atıklar, arazide gübre ve toprak şartlandırıcısı olarak, sıvı atıklar ise sulamada kullanılabilir. Bu sayede gübre ve su için yapılan harcamalar azalır, mineral gübre kullanımına gerek kalmaz. Nutrient döngüsüne erişilir, nitrat süzülümü azalır. Yüzeysel ve yeraltı sularında oluşan nitrat kirliliği azalır. Oluşan fermente atıkların satılması halinde ekonomik fayda elde edilir.
- ❖ Aerobik proste giren 100 birim karbonun %42'si CO₂'te, %5'i atıksuda, %48'i çamurda birikirken, anaerobik proste giren 100 birim karbonun %76'sı CO₂ ve CH₄'te, %20'si atıksuda, %4'ü çamurda birikir (Deublein and Steinhauser, 2008b). Böylece enerji eldesi için, oluşan gazlar daha fazla miktarda ve daha etkin şekilde kullanılır.
- ❖ Aerobik bozunmada CO₂ ve H₂O gibi düşük enerji bileşikleri oluşur. Büyük miktarda enerji havaya karışır, kaybolur (anaerobik prosten 20 kat daha fazla). Anaerobik bozunmada ise yüksek enerjili ürünler oluşur. Bunlar diğer organizmalara nitruent (alkoller, organik asitler) sağlar ya da biyogaz enerjisi olarak kullanırlar (Deublein and Steinhauser, 2008c).
- ❖ Anaerobik arıtmada, diğer biyolojik yöntemler ile karşılaştırıldığında daha yüksek organik yükleme oranları ve daha az çamur oluşur (Bouallagui et al.,2005a).
- ❖ Tesis çıkışında fermente atıklardaki patojenik organizma miktarında önemli azalma ve/veya komple aktivasyon kaybı sağlanır.
- ❖ Atık bertarafında daha sağlıklı ve hijyenik şartlar sağlanır.
- ❖ Geri dönüşüm sektöründe uzmanlık ve iş gücünün yaratılması sağlanır.
- ❖ Atıkların değerlendirilmesi nedeniyle, bölgenin/şehrin görüntüsü ve prestiji değişir.
- ❖ Tarlalarda kullanılabilen küçük ölçekli biyogaz tesisleri ile yeterli verimi alamayan ve kar elde edemeyen çiftçilere, biyogaz ek gelir sağlar.
- ❖ Ekilip biçilmeyen araziler, ortak biyogaz tesisleri ile büyük ölçekli işletmeler haline gelebilir.



Şekil 2.15. Biyogaz üretim teknolojisinin çevreye etkisi

2.8.2 Biyogaz tesislerinin dezavantajları

Yukarıda tanımlanan pek çok avantajın yanı sıra biyogaz tesislerinin söz konusu olabilecek dezavantajları şöyledir:

- ❖ Tesis işletimi esnasında üretilen biyogaz, yanıcı ve patlayıcıdır. Sistemin işletme koşullarının çok dikkatli seçilmesi ve kontrollerinin düzenli olarak yapılması gerekir (Igoni et al., 2008).
- ❖ Atıklarda bulunması muhtemel patojen bakteriler nedeniyle, atıkların taşınması ve depolanması süresince hijyen koşullarına dikkat edilmelidir (Bouallagui et al., 2005b).
- ❖ Seçilen atık türüne göre su tüketimi fazla olabilir.
- ❖ Fermantasyon sonrasında ortaya çıkan çürütülmüş atığın gübre olarak kullanımı durumunda azot içeriğine, su ve toprakta kirlilik oluşturmaması için dikkat edilmelidir.

- ❖ Görsel kirlilik ve gürültü kirliliği oluşturmamak için, tesis tasarımı ve işletimi optimum şekilde ve doğru ekipmanlar kullanılarak yapılmalıdır.
- ❖ Atıkların depolama alanlarında bertarafı ile karşılaştırıldığında biyogaz tesislerinin ilk yatırım maliyetleri bazı bölgeler ve atık türleri için daha yüksek olabilir. Bu nedenle tesiste kullanılacak atık türü ve yer seçimi uygun şekilde yapılmalıdır.
- ❖ Biyogaz tesislerinin tasarımı ve işletimi için teknik bilgi gereklidir.
- ❖ Biyogaz tesislerinin kontrolü mecburidir.
- ❖ Özellikle çiftlik ölçekli biyogaz tesislerinde ilave maliyet ve iş gücü gereklidir.

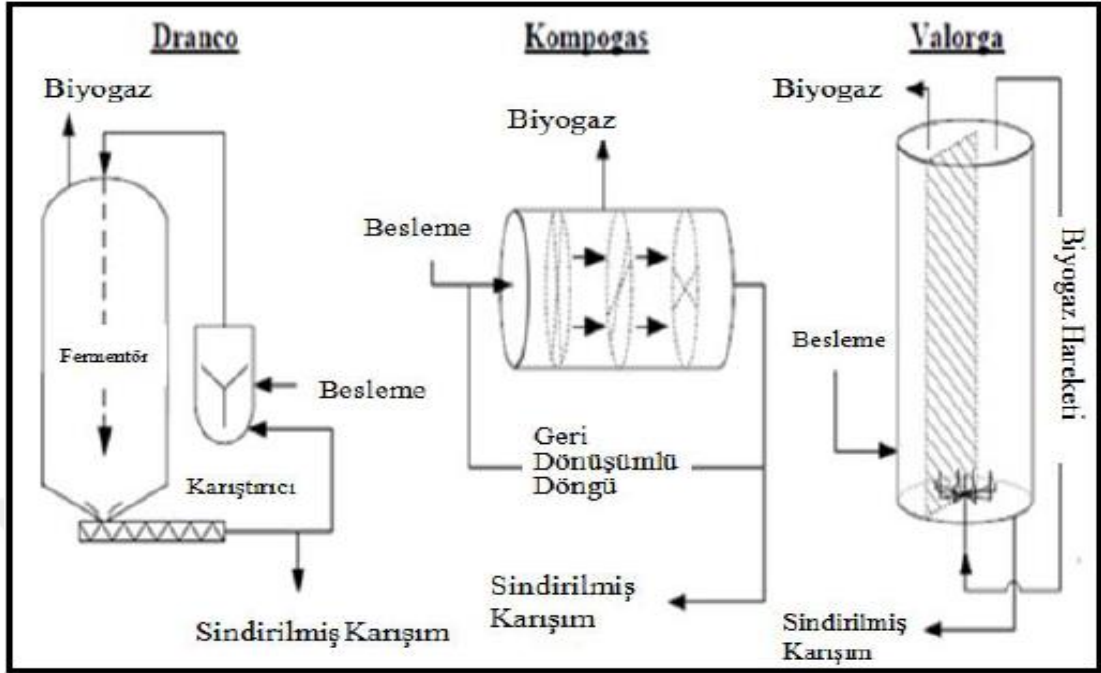
2.9. Biyogaz Üretiminde Kullanılan Prosesler

Biyogaz üretiminde kullanılan prosesler üretimde kullanılacak olan atığın katı miktarına göre değişmektedir. Bu prosesler genel olarak kuru ve yaş olarak adlandırılmaktadır. Kuru prosesinde fermente olacak kütlenin katı atık miktarı % 20-40 arasındadır. Daha az suya gereksinim olurken daha yüksek gaz üretimi vardır. Yaş proseste ise fermente olacak kütlenin katı atık miktarı %15'den azdır. Bu değeri sağlamak için sisteme daha fazla su ilavesi gerekir (Onurbaş Avcıoğlu vd., 2011a).

2.9.1. Kuru proses

Kuru sistemlerin taşıma ekipmanları özellikle pompalar ıslak sisteme nazaran pahalı olsalar da kaya, cam, metal, plastik ve ahşap gibi atıklara karşı esnektirler. Bu atıklar biyolojik olarak parçalanamaz ve biyogaz üretimine katkı sunmazlar ancak biyokütlenin yapısını bozmadan reaktörden geçebilirler. Bu sistemde yapılması gereken yalnızca 5 cm²'den büyük parçaların ayrılması ve katı içeriğin istenilen oranda tutmak için çok az bir miktar suyla seyretme yapılmasıdır (Rapport vd., 2008a).

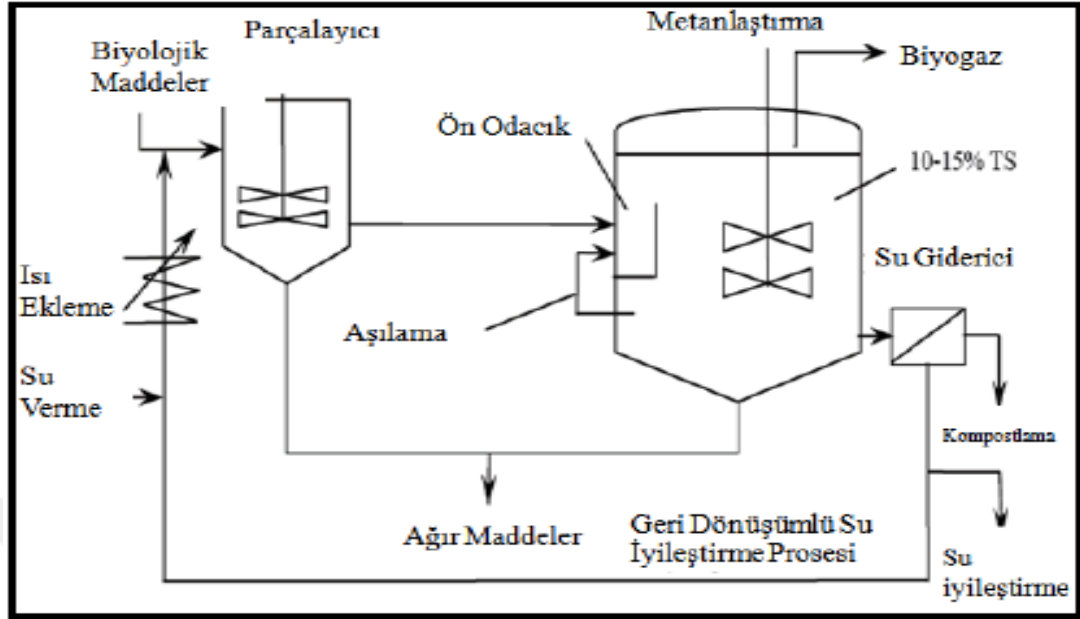
Kuru sisteme göre göre tasarlanmış farklı reaktör tasarımları Şekil 2.16'da görülmektedir.



Şekil 2.16. Kuru sistemdeki farklı reaktör tasarımları (Worrell ve Vesilind, 2011)

2.9.2 Yaş proses

Bu sistem Avrupa'da farklı birçok firma tarafından kullanılmaktadır. Çalışma sistemindeki katı atık miktarının azlığı nedeniyle atık su tesisleri için cazip gelmektedir. Klasik olarak tam karıştırmalı reaktör, yaş sistemlerde kullanılabilir. Yaş sistemlerde suyun eklenmesi sonucu olarak fazla sulandırılmış çürümüş çamur oluşur ve bu çamurun ortadan kaldırılması için susuzlaştırılması gerekir. Sıvı sistemlerin en büyük dezavantajlarından biri de susuzlaştırmadan gelen sıvı akımının artırılmasının gerekliliğidir. Prosesin basit görünüşüne karşı başarılı bir performans için birçok teknik gerekliliğin hesaba katılması ve çözülmesi gerekir.



Şekil 2.17. Yaş sistemdeki Waasa reaktör çalışma prosesi (Rapport vd., 2008b)

2.10. Biyogaz Üretiminde Kullanılan Fermentasyon Şekilleri

Biyogaz üretim sistemlerinde 3 farklı fermentasyon şekli kullanılmaktadır:

1-Kesikli (Batch) Fermentasyon: Biyogaz oluşumu, tesis üretim tankının (fermantör) bitkisel ve/veya hayvansal atıklar ile doldurulması ve bekletme – alıkoyma süresi kadar bekletilmesi şeklinde gerçekleştirilmektedir. Bekleme süresi, sistem sıcaklığına ve kullanılan organik maddeye bağlı olarak değişmektedir. Tesisin reaktörü (fermantör) bu süre sonunda tamamen boşaltılmakta ve yeniden doldurulmaktadır.

2-Beslemeli-Kesikli (Yarı Kesikli) Fermentasyon: Üretim tankı belli bir miktar organik materyal ile doldurulmakta ve geriye kalan kısmı fermentasyon süresine bölünerek günlük madde eklenmesi şeklinde tamamlanmaktadır. Fermentasyon süresi sonunda reaktörün tamamı boşaltılarak yeniden doldurulmaktadır.

3-Sürekli Fermentasyon: Bu yöntemde fermentörden gaz çıkışı meydana geldiğinde günlük olarak organik madde beslemesi yapılır. Sisteme beslenen madde miktarı kadar gazı alınmış çökelti dışarıya aktarılır. Her gün fermentöre belirli miktarlarda organik madde verilmekte ve bekleme süresi sonunda aynı miktarlarda fermente olmuş materyal sistemden dışarıya aktarılmaktadır. Dolayısıyla günlük besleme ile sürekli biyogaz üretimi sağlanabilmektedir.

Tablo 2.13. Katı içeriği yüksek ham maddeler için reaktör tiplerinin karşılaştırılması (Avan, 2014a)

Ölçüt	Bir aşamalı	İki aşamalı	Kuru	Yaş	Kesikli	Sürekli	Yüksek hızlı biyo reaktör
Biyogaz üretimi	Düzensiz ve kesikli	Yüksek ve kararlı	Yüksek	Düşük ve düzensiz	Düzensiz ve kesikli	Sürekli	Sürekli ve yüksek
Katı içeriği (%)	10-40	2-40	20-50	2-12	25-40	2-15	< 4-15
Maliyet	Düşük	Yüksek	Düşük	Yüksek	Düşük	Yüksek	Yüksek
Uçucu katı fermantasyonu (%)	Düşük-yüksek	Yüksek	40-70	40-75	40-70	40-75	75-98
Hidrolik bekletme süresi (gün)	10-60	10-15	14-60	25-60	30-60	30-60	0,5-12
Organik madde yükleme hızı (kg _{vs} /m ³ gün)	0,7-15	10-15 (2.aşama)	12-15	< 5	12-15	0,7-1,4	10-15

Tablo 2.14. Değişik tip reaktörlerin avantajları ve dezavantajları (Avan, 2014b)

Reaktör tipi	Avantajları	Dezavantajları
Bir aşamalı	Tasarımı basittir. Teknik olumsuzlukları azdır. Maliyeti düşüktür.	Bekleme süresi uzundur. Köpük tabakası oluşabilir.
İki aşamalı	Ham madde dolaşımı nedeniyle etkin bozunma gerçekleşir. İkinci aşamada yükleme hızı sabittir. Çok etkili bir işlemdir. Bozulmaya duyarlılığı azdır.	Tasarımı, bakımı pahalı ve karmaşıktır. Katı parçacıkların ikinci aşamada hareket ettirilmesi gereklidir.
Kuru reaktör	Bekleme süresi uzundur. Besleme işlemi kontrollüdür. Ön işlemler basittir. Ek enerji gereksinimi düşüktür.	Ham madde işleme karmaşıktır. Çok fazla yapılandırılmış maddeler kullanılır. Materyal işleme ve karıştırma güçtür.
Yaş reaktör	Çalışması iyidir. İşlem kontrolü önemlidir.	Köpük tabakası oluşabilir. Su/enerji tüketimi yüksektir. Dolaşım kısadır. Ani yüklere karşı duyarlıdır.
Kesikli tip reaktör	Pompalama ve karıştırma gerekli değildir. Maliyeti düşüktür.	Kanallanma ve tıkanma gerçekleşir. Hacmi fazladır. Biyogaz verimi düşüktür.
Sürekli tip reaktör	Tasarımı/kullanımı kolaydır. İlk yatırım maliyeti düşüktür.	Hızlı asitleşme gerçekleşir. Fazla yağ asidi üretilir.
Yüksek hızlı reaktörler	Bekletme süresi uzundur. Besleme işlemi kontrollüdür. İlk yatırım maliyeti düşüktür. Destek materyali gerekmez.	Çalışmaya başlama süresi uzundur. Düşük besleme hızlarında kanallanma oluşu

2.11. Biyogaz Üretim Tesisleri

Biyogaz üretim tesisleri genel olarak 5'e ayrılmaktadır (Al Seadi vd., 2008a):

1-Tarımsal biyogaz tesisleri:

- a-Aile tipi biyogaz tesisleri (Çok küçük ölçekli),
- b-Çiftlik tipi biyogaz tesisleri (Küçük ölçekli),
- c-Merkezi biyogaz tesisleri (Orta ölçekli),

2-Atık su arıtma tesisleri,

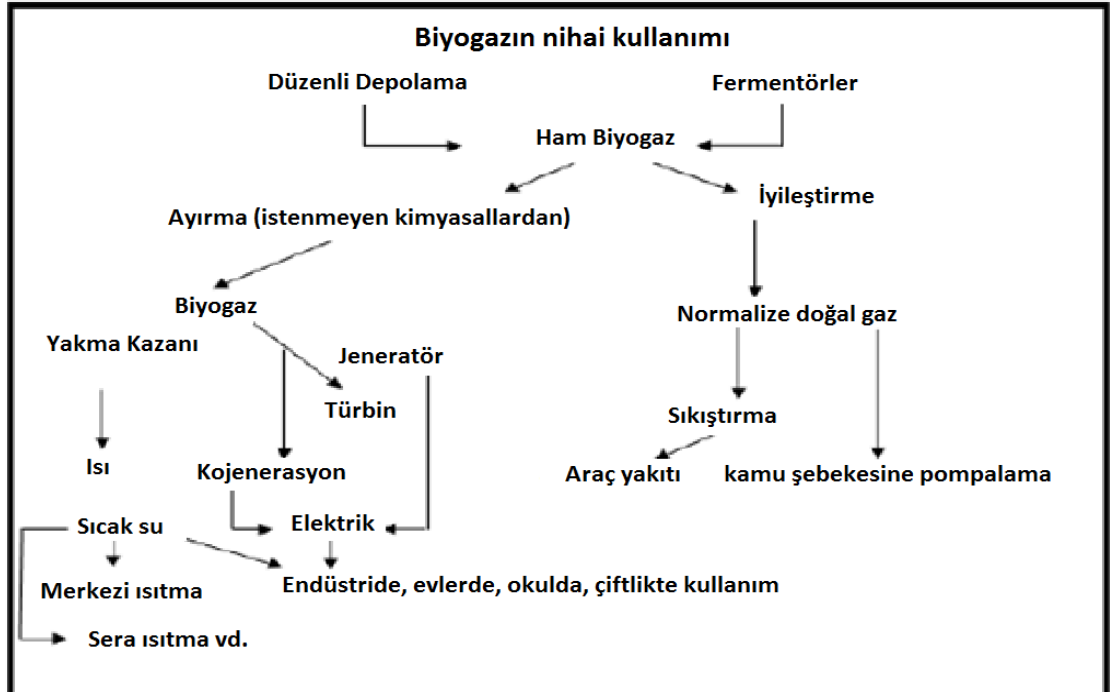
3-Belediye katı atık arıtma tesisleri,

4-Endüstriyel biyogaz tesisleri,

5-Çöp gazı geri kazanım tesisleri.

2.12. Biyogaz Kullanım Alanları

Biyogaz ham olarak üretildikten sonra belirli işlemlerden geçirilerek evsel, endüstriyel, tarımsal ve araçlarda kullanılmak mümkündür (Al Seadi vd., 2008b). Şekil 2.18'de biyogazın bu kullanım süreci verilmiştir.



Şekil 2.18. Biyogazın genel kullanım alanları (Al Seadi vd., 2008c)

2.12.1. Araçlarda yakıt olarak kullanımı

İyileştirilmemiş biyogazın motorlu araçlarda kullanımı her zaman için uygun değildir. Çünkü içerisindeki CH_4 oranı (%60-70) göreceli olarak düşüktür. Bunun yanında biyogaz içerisinde kirletici olarak bazı gazlar da bulunmaktadır. Bu yüzden biyogazın saflaştırılıp yakıt olarak kullanıma hazır hale getirilmesi gerekmektedir. Saflaştırılmış biyogaz doğal gaza olan benzerliğinden dolayı doğal gaz için uygun olan tüm araçlar için uygundur. Her iki yakıtın da CH_4 içeriği %95'in üzerindedir. Ayrıca, motor, emisyon, sürüş ve sürdürülebilirlik performansı birbirine eşit sayılabilir. İsveç taşımacılık sektöründe biyogaz kullanımı açısından hala lider durumdadır. Yaklaşık 4500 adet biyogaz ile çalışan kentsel otobüs ulaşımda kullanılmaktadır (Rutz ve Canssen, 2007b).

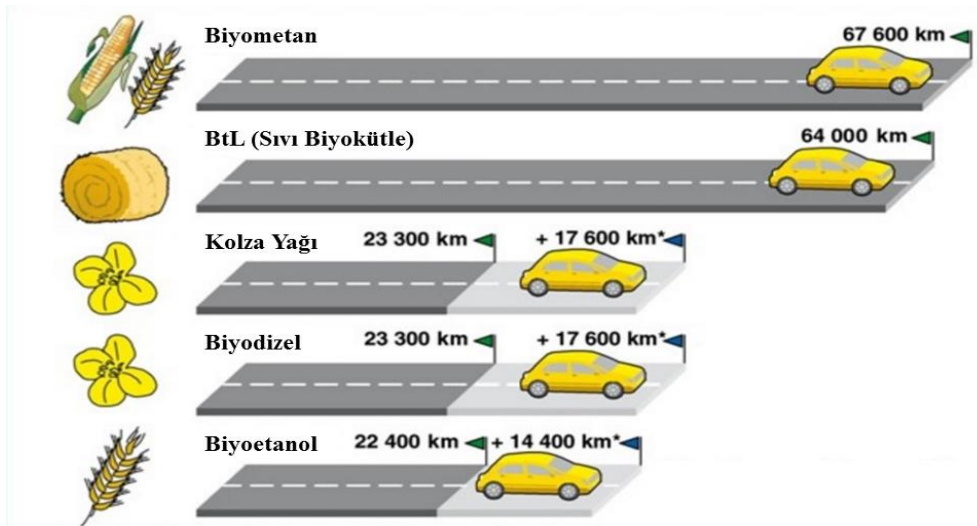


Şekil 2.19. Biyogazın otobüslerde kullanımı - İngiltere (İnternet, 2014)



Şekil 2.20. Biyogazın araçlarda yakıt olarak kullanımı (İnternet, 2016g)

İyileştirilmiş biyogazın (biyometan) araçlardaki kullanımını diğer biyoyakıtlarla karşılaştırıldığında performansının yüksek olduğu görülecektir. Şekil 2.21’de 1 hektar alana ekilen enerji ürünlerinden elde edilen biyoyakıt ile ne kadar mesafe gidilebildiği gösterilmektedir. Burada üzerinde durulması gereken enerji ürünleri yerine atıkların biyogaz üretiminde değerlendirildiğinde bu potansiyel daha yüksektir (Lampinen, 2007a).



Şekil 2.21. Biyoyakıtların performans açısından karşılaştırılması (Lampinen, 2007b)

2.12.2. Biyogazın tarımda kullanımı

Biyogaz sabit ve hareketli motorlarda, su pompaları, harman makinası ve öğütücüler gibi hareketli makinalarda veya jeneratörlerde elektrik üretme kaynağı gibi yakıt olarak hem dizel hem de benzinli motorlarda kolaylıkla kullanılabilir. Benzinli motorlarda karbüratörün bir gaz karbüratörü ile değiştirilmesi yeterli olacaktır. Küçük zamanlama ayarları dışında sistemde başka bir değişikliğe gerek olmamaktadır. Dizel motorlarda ise biyogaz miktarı değiştirilir veya küçük miktarlarda katılarak başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Normalde yapılacak olan modifikasyonlar basittir. Motor daima saf dizel yakıtla çalışmaya başlamalı ve biyogaz miktarı yavaş yavaş artırılmalıdır. Gaz miktarı %80'e kadar çıkarılabilir. Şayet gaz kaynağı kesilirse %100 dizel yakıtla çalışmaya devam edilebilir. %20 dizel + %80 biyogaz ile elde edilen verim %100 dizelle elde edilen verimden fazla olmaktadır (Marchaim, 1992d).

2.12.3. Biyogazın endüstriyel kullanımı

Biyogazın endüstriyel kullanımı ısı ve güç kombinasyonu (kojenerasyon), mikro-türbin ve yakıt pilleri olmak üzere 3 farklı kullanımı vardır (Al Seadi vd., 2008d).

1. Kojenerasyon ile biyogazın kullanımı; enerji üretiminde çok etkili olduğu düşünülen ve gelişmiş biyogaz sektörü olan pek çok ülkede standart bir kullanımdır. %90 verimle çalışan kojenerasyonlu bir güç tesisinde yaklaşık %35 elektrik üretimi gerçekleşirken %65'de ısı üretimi gerçekleşmektedir. En yaygın kullanılan kojenerasyon tipi, bir jeneratör ile çiftleştirilen tüketim motorlarından oluşan blok tip ısı güç tesisleri (BTTP) dir. Jeneratörler şebeke ile uyumlu olması için 1500 devir/dakika ile çalıştırılmaktadır.

Jeneratörlerde kullanılan motorlar gaz-otto, gaz-dizel ve gaz-pilot enjeksiyon motorlar olabilmektedir. BTTP'lere alternatif olarak mikro gaz türbinleri, stirling motorlar, yakıt hücreleri son yıllarda geliştirilmiş teknolojilerdir. Isı üretmek için kullanılan bir biyogaz yakıcı Şekil 2.22'de verilmiştir. Biyogaz tesislerinde en önemli konu üretilen ısının kullanımıdır. Isı daima biyogaz tesislerinin bir parçasıdır ve yaklaşık olarak üretilen tüm enerjinin 2/3'ü dış ihtiyaçlar için kullanılabilir. İlk jenerasyon olan biyogaz tesisleri ısı enerjisinin kullanımı dikkate alınmadan sadece elektrik üretimi için kurulmuşlardır. Bu günlerde ısının kullanımı biyogaz tesis ekonomisinin önemli bir

parçasıdır. Yeni tasarlanan biyogaz tesisleri tek başına elektrik üretimi için tasarlanmamalı ve mutlaka ısı kullanımını da içermelidir. Çünkü tek başına elektrik üretimi sürdürülebilir olmamaktadır.



Şekil 2.22. Isı üretmek için kullanılan bir biyogaz yakıcı (İnternet, 2016h)

Gaz-Otto motorları, otto prensibine göre biyogaz kullanımı için geliştirilmiştir. Motorlar karbonmonoksit emisyonlarını minimize etmek için fazla hava ile çalıştırılmaktadır. Bu düşük gaz tüketimi sağladığı gibi motor performansını düşürür. Ancak bir egzoz turbo şarj ile bu durum telafi edilir. Gaz-Otto motorlarında kullanılacak biyogazın CH_4 içeriği %45 olmalıdır. Yüksek elektrik verimi istendiğinde dizele uyarlanarak kullanılmalıdır. Motor Şekil 2.23’de verilmiştir.

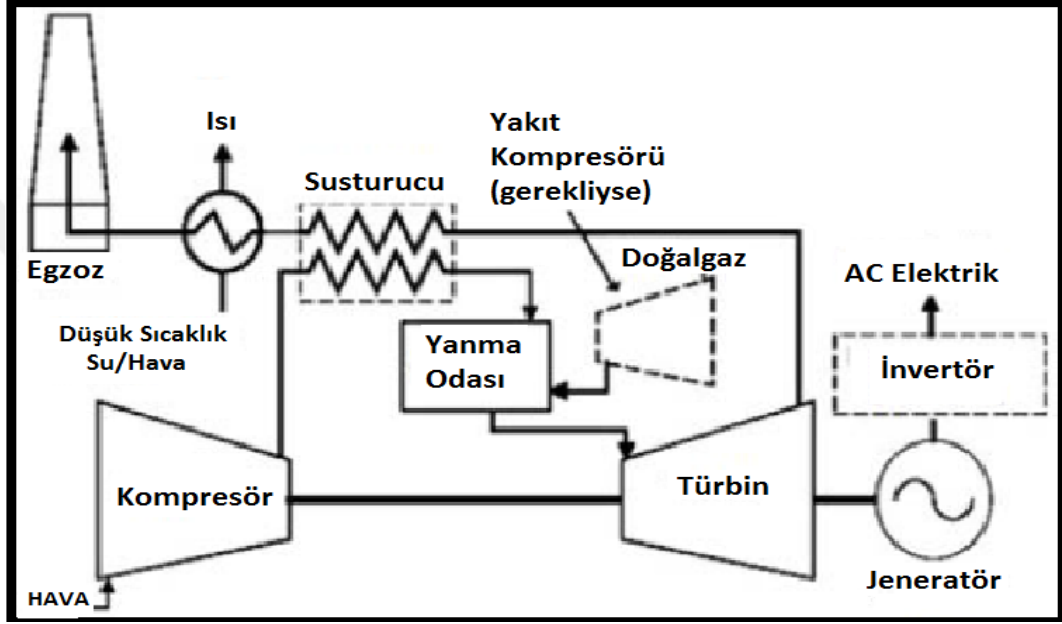


Şekil 2.23. Biyogaz tesislerinde kullanılan Gaz-Otto Motor

Pilot enjeksiyon motorlar, pilot enjeksiyon doğal gaz motoru, PING veya çift hücreli motor olarakta isimlendirilen dizel prensibine göre çalışan motorlardır. Biyogaz hava ile karıştırılarak yakılır. Bu karışım yakıt enjekte edilerek yanma odasına bir enjeksiyon sistemi vasıtasıyla geçer. Genellikle %10 enjeksiyon yakıt enjekte edilerek yakılır. Bu motorlar yüksek hava ile işletilmektedir. Biyogaz kaynağı kesintiye uğradığında yağ veya mazot ile hiç problem olmadan kullanılabilir. Fosil yakıtlar veya biyodizel ilk ateşleme için kullanılabilir. Yenilenebilir ateşleme yağının avantajı daha az sülfür ve karbon monoksit emisyonu salınımıdır. Şayet biyoyakıt kullanılacaksa yüksek filtre edilmiş ve düşük vizkositeli olmalıdır. Biyoyakıtın bir diğer dezavantajı ise azot oksit salınımıdır.

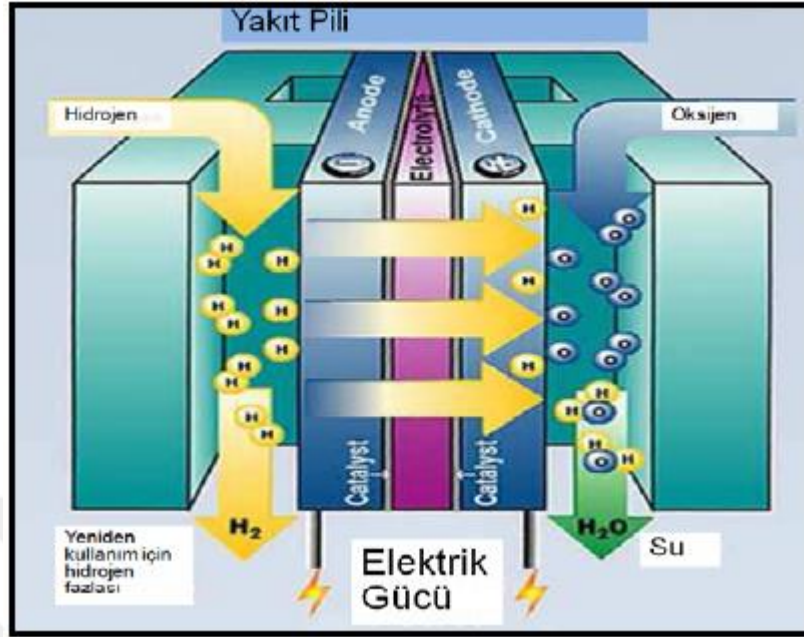
Stirling Motorlar, hacim değişiklikleri ile gazdaki ısı değişimi prensibine dayanan içten yanmalı olmadan çalışan motorlardır. Motor pistonları harici bir enerji kaynağından bir ısı enjeksiyonu ile meydana gelen bir gaz genişlemesi ile taşınır. Gerekli ısı biyogazda çalışabilen bir gaz yakıcı ile sağlanabilir. Stirling motorları biyogazda kullanabilmek için bazı teknik uyarlamalar gereklidir. Dış yanma dolayısıyla daha düşük CH_4 içerikli biyogazda kullanılabilir.

2. Biyogaz mikro-türbinleri; hava biyogaz ile karıştırılıp yanma odasına preslenir. Hava-gaz karışımı sıcaklık artışı ile yanar ve gaz karışımı genişler. Sıcak gazlar bir türbin vasıtasıyla elektrik jeneratörüne bağlanır. Biyogaz mikro-türbinlerin maliyeti yüksektir ancak maliyeti düşürmek için araştırma ve geliştirme faaliyetleri sürmektedir. Bir biyogaz mikro-türbinin yapısı Şekil 2.24’de verilmiştir.



Şekil 2.24. Biyogaz mikro-türbin yapısı (Al Seadi vd., 2008e)

3. Yakıt pilleri; kimyasal enerjiyi doğrudan bir reaksiyon ile elektrik enerjisine dönüştüren elektrokimyasal cihazlardır. Yakıt pilinin temel fiziksel yapısı Şekil 2.25’de görüldüğü üzere bir elektrolit tabakası ve her iki yanında bulunan gözenekli bir anot ve bir katot tabakadan oluşmaktadır. Bir yakıt pilinde anot (negatif elektrot) ve katot (pozitif elektrot) sürekli biyogaz ile beslenir. Elektrokimyasal olay elektrotlarda gerçekleşerek elektrik üretimi gerçekleşir.



Şekil 2.25. Yakıt pili (Al Seadi vd., 2008f)

Biyogaz için kullanılan elektrolit tipine göre isimlendirilen birçok yakıt pili vardır. Bunlar düşük (AFC, PEM), orta (PAFC) ve yüksek sıcaklık yakıt pilleri (MCFC, SOFC) dir. Yakıt pili seçimi ısı ve kullanılan gaz yakıtına bağlıdır.

PEM- The Polymer-Electrolyte-Membrane, çalışma sıcaklığı 80°C 'dir ve bir ısı/sıcak su hattı ile doğrudan beslenebilir. Elektrolit tipi karbondioksit içeren gaz yakıtlarına hassas olduğundan gaz temizliği çok önemlidir.

PAFC - Phosphoric Acid Fuel Cell, dünya çapında doğal gazda yaygın olarak kullanılmaktadır. Diğer yakıt pilleri ile kıyaslandığında elektrik verimi düşüktür ama karbon monoksit ve karbon dioksit karşı daha az hassastır.

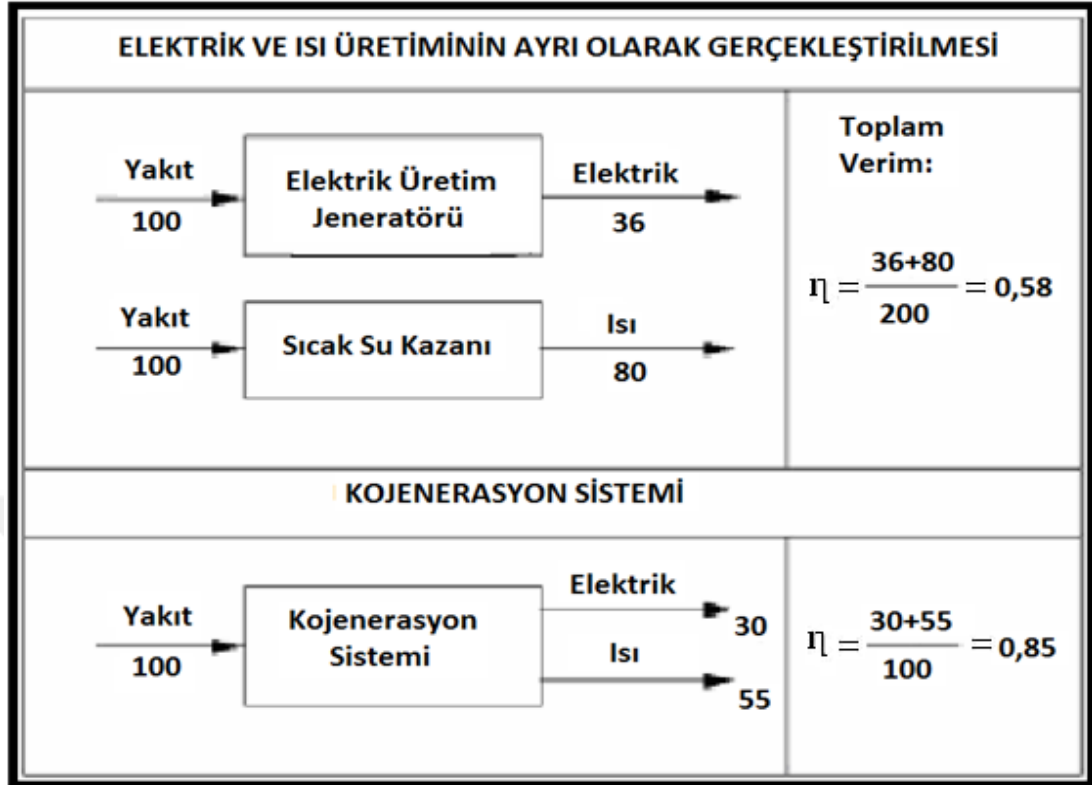
MCFC - Molten Carbonate Fuel Cell, elektrolit olarak sıvı karbon kullanır. Karbondioksit karşı hassas olmamakla beraber % 40 karbondioksit içeriğine kadar tolere edilebilmektedir. $600-700^{\circ}\text{C}$ sıcaklığında çalışmaktadır. Şekil 2.26'da Almanya'da işletilmekte olan dünyanın ilk biyogaz için yakıt pili olan MCFC yakıt pili gösterilmiştir.

SOFC - Solid Oxide Fuel Cell, 750-1000°C sıcaklığında çalışmakta ve elektrik verimi yüksektir. Hidrojen ve CH₄ aynı pilde yer alabilmektedir. Kükürte karşı duyarlılığın düşük olduğu durumlarda kullanılır.



Şekil 2.26. Almanya Münih’te işletilmekte olan 250 kW biyogaz enerji santrali için yakıt pili (İnternet, 2016i)

Biyogazla çalışan elektrik jeneratörlerinde, kullanılan yakıtın enerjisinin yaklaşık %75’i atık ısı olarak kaybedilmektedir. Bu atık ısının da kullanıldığı modern kojenerasyon sistemlerinde, toplam sistem verimi yaklaşık %85-90 olarak gerçekleşmektedir. Elektrik çevrim veriminin %36 gibi yüksek, yakma veriminin %80 alındığı ayırık sistemlerle karşılaştırıldığında, elektrik çevrim verimi %30, ısıl çevrim verimi %55 olan kojenerasyon sistemlerinin toplam verimi, %58’den %85’e çıkmaktadır (Eryaşar, 2007I). Bu verim artışının şematik gösterimi Şekil 2.27’de verilmiştir.



Şekil 2.27. Konvansiyonel elektrik ve ısı üretimi ile kojenerasyon ünitelerinin verimlerinin karşılaştırılması (Eryaşar, 2007m)

Üretilen biyogazın kullanılmadığı durumlarda, depolama yetersiz kaldığı zaman, fazla biyogazın yakılarak atılması gerekmektedir. Bunun için büyük tesislerde özel biyogaz yakıcıları kullanılmaktadır. Kullanım fazlalığından oluşan kayıplar %40 civarındadır. Bu yüzden biyogazın arıtılarak doğal gaz hattına verilmesi daha verimli olmaktadır. Biyogazın, arıtılarak doğalgaz boru hattına verilmeden önce, kokulandırılması, H₂S oranının 2,7 ppm'in, su buharının 0,1 mgr'ın altına düşürülmesi gerekmektedir (Eryaşar, 2007n).

2.12.4. Biyogazın evsel kullanımı

Biyogaz Şekil 2.28'de görüldüğü üzere ısıtma, ışıklandırma ve pişirmede kullanılmaktadır. Butan ve propan gibi düşük basınçlarda kullanılabilir. Sobalarda kullanımında ise özel tasarımlı sobalar gerekmektedir. Çin'de kullanılan evsel sobalarda ısı verimi %59-62, Hindistanda kullanılan evsel sobalarda ise verim %60 civarındadır. Aydınlatma bir gaz montu veya elektrik üreterek yapılabilir. Pişirme için günlük ortalama 0,34 - 0,41 m³ biyogaz harcanırken aydınlatma için yaklaşık 0,15 m³ biyogaz harcanmaktadır. Sonuç olarak Altı kişilik tipik bir ailenin günlük ortalama biyogaz ihtiyacı 2,9 m³'tür (Marchaim, 1992e).

Biyogazla çalışan lambaların verimi %3'dür. 60 watt gücündeki biyogaz lambaları, yaklaşık 0,11-0,15 m³/h yakıt tüketmektedir. Bu yüzden biyogazın yakılarak aydınlatmada kullanılması verimsizdir. 1 m³ biyogazdan elde edilen elektrik enerjisiyle 60 Watt gücündeki lambalardan 25 adeti 1 saat çalıştırılabilirken, yakılması durumunda aynı güçte 7 adet gaz lambası ancak çalıştırılabilir (Eryaşar, 2007o).

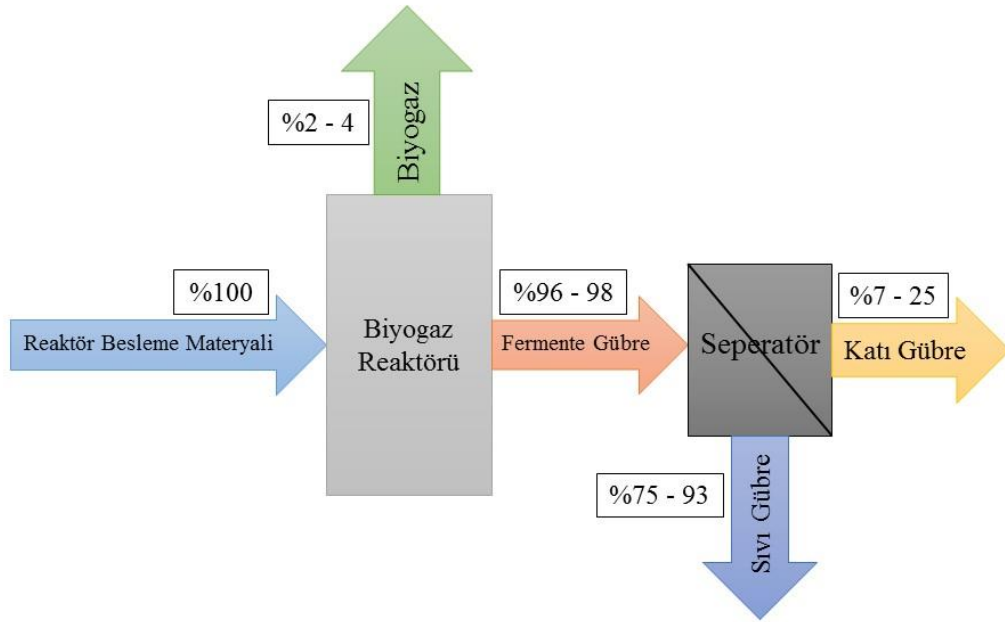


Şekil 2.28. Biyogazın evsel kullanım araçları (Onurbaş Avcıoğlu vd., 2011b)

2.12.5. Fermente gübre kullanımı

Biyogaz üretiminin gerçekleşmesi sonucunda sıvı halde fermente gübre oluşur. Fermente gübre, hem tarlaya sıvı olarak uygulanabilir hem de granül şekline getirilerek ve/veya beton toprak havuzlarda doğal kurutma işlemi yapılabilir. Anaerobik fermentasyon sonucunda oluşan fermente gübre içeriğinde hastalık yapan mikroorganizmalar yok edilmiş durumdadır. Bu özellik kullanılacak olan organik gübrenin yaklaşık %10 daha verimli olmasını sağlar (İnternet, 2016j).

Anaerobik fermentasyonda kütle denliğine baktığımızda, reaktöre giren kütlenin % 2-4' ü biyogaza dönüşür. Reaktör çıkışında fermente gübre %98 - 96 oranına iner. Bu fermente gübrenin yaklaşık %7 - 25'i katı, %75 - 93'ü sıvı haldedir (Avan, 2014c). Kütle denliğinin şematik gösterimi Şekil 2.29'da verilmiştir.



Şekil 2.29. Anaerobik fermentasyonda kütle denliği

2.12.5.a. Biyogaz fermente atığının kullanımının çevresel faydaları

- ❖ Besin kayıplarının önlenmesini sağlar,
- ❖ Bitkiler üzerinde oluşan yoğun etki azalır,
- ❖ Akış özelliklerinin artması sağlanır,
- ❖ Bitki gelişimi ve sağlığı açısından fayda sağlanır,
- ❖ Yabancı ot tohumlarının çimlenmesi önlenir.
- ❖ Etrafa dağılan kötü kokuların yoğunluğu azalır,
- ❖ Sera gazı emisyonlarını düşürerek hava kirliliği önlenir,
- ❖ Nitrat çöküntüsü azalır,
- ❖ Sıvı gübre temizlenir,
- ❖ Organik kalıntılar geri kazandırılır.

2.13. Biyogaz Enerjisi İle İlgili Yasal Mevzuat ve Yönetmelikler

Konuyla alakalı olarak hayvansal atıklardan yenilenebilir enerji üretimi ve bunun sonucunda meydana çıkan ürünlerin kullanım ve uygulamalarına ilişkin yönetmelikler aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Çevre Kanunu,
- Yenilenebilir Enerji Kanunu ,
- Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun,
- Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik,
- Atık Yönetimi Yönetmeliği,
- Tarımda Kullanılan Organik, Organomineral Gübreler Ve Toprak Düzenleyiciler İle Mikrobiyal, Enzim İçerikli Ve Organik Kaynaklı Diğer Ürünlerin Üretimi, İthalatı, İhracatı Ve Piyasaya Arzına Dair Yönetmelik,
- İnsan Tüketimi Amacıyla Kullanılmayan Hayvansal Yan Ürünler Yönetmeliği,
- Tarımsal Kaynaklı Nitrat Kirliliğine Karşı Suların Korunması Yönetmeliği,
- Koku Oluşturan Emisyonların Kontrolü Hakkında Yönetmelik.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Araştırma kapsamında, Erzincan İli'nde mevcut, biyogaz potansiyeli barındıran çeşitli işletmelerin özellikleri, atık potansiyeli ve atıkların nasıl değerlendirildikleri incelenmiştir. Bu çerçevede Erzincan Damızlık Sığır Yetiştiricileri Birliği ve Erzincan Gıda, Tarım ve Hayvancılık Müdürlüğü'ne ait veriler araştırmanın temel materyalini oluşturmuştur.

3.1.1. Saha Çalışmaları

Saha çalışmaları kapsamında, bölgenin hayvansal atık kaynaklı biyogaz potansiyelini belirlemek amacıyla Erzincan Merkez ve ilçelerinde mevcut bulunan, büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı çiftliklerinin işletme ile hayvan sayıları ve bölgedeki mezbahaların ilçe bazlı dağılımlarına ilişkin bilgiler edinilmiştir. Çalışma kapsamında, bölgede bulunan çeşitli hayvan çiftlikleri ziyaret edilmiş, hayvancılık şekli, çevre koşulları ve atık yönetimi incelenmiştir.

3.1.1.a. Mezbahaneler

Erzincan'da bulunan mezbahanelerde, iyi planlanmış bir atık bertaraf ve toplama sistemi mevcut değildir. Bu kesimhanelerde, kesimi yapılan hayvan sayısı bilinmesine karşın atık miktarları hususunda net bir veri bulunmamaktadır. Kesimevi yetkililerinden alınan bilgilere göre günlük olarak ortalama 3-5 ton aralığında hayvansal atık ortaya çıkmakta ve çiftçilerden tarla uygulamaları için talep olmazsa çöp depolama sahasına nakledilmektedir. Gelişmiş ülkeler, bu tip atıkları lisanslı şirketler vasıtasıyla toplatmakta ve daha sonra bu atıklar özel bertaraf tesislerine gönderilmektedir. Mezbahane yetkililerinden alınan bilgilere göre; Mezbahanelerde oluşan birkaç çeşit atık mevcuttur;

1. Dışkı; Kesim öncesinde hayvanlardan kaynaklanmaktadır.
2. İç organlar; Sakatat olmayanlar bu grupta değerlendirilmektedir.
3. Kan; Belediyenin atık su arıtma tesisine gönderilmektedir.
4. Kemikler; Çeşitli firma ya da kişiler tarafından düzenli olarak toplanmaktadır.



Şekil 3.1. Mezbahane atıkları (Haziran, 2016)

Atıkların parasal değeri olmasa da, biyokütle olarak değeri vardır. Fakat bu tip atıkların biyogaz tesislerine gönderilmeden önce, biyogaz sürecindeki mikroorganizmalara olan etkileri net bir şekilde ortaya konulmadır. Çalışmada, mezbahane atıkları ihmal edilebilir düzeyde olması nedeniyle hesaplamalara dahil edilmemiştir.

3.1.1.b. Ahırlar

Erzincan ili Merkez ilçesi Gümüştarla köyü mevkiinde bulunan 400 büyükbaş hayvan kapasiteli, 3000 m² kapalı ve 10000 m² açık alana sahip olan bir hayvancılık işletmesinde yerinde incelemelerde bulunulmuştur.



Şekil 3.2. Erzincan Merkez Gümüştarla Köyü (Haziran, 2016)

Hayvansal atıklar, manuel yöntemlerle sıyılarak bir araya toplanmakta ve işletmenin yanında bulunan boş arazide biriktirilmektedir. Genellikle ekim ayında tarım arazilerine serme işlemi gerçekleştirilerek gübre olarak kullanılmaktadır.

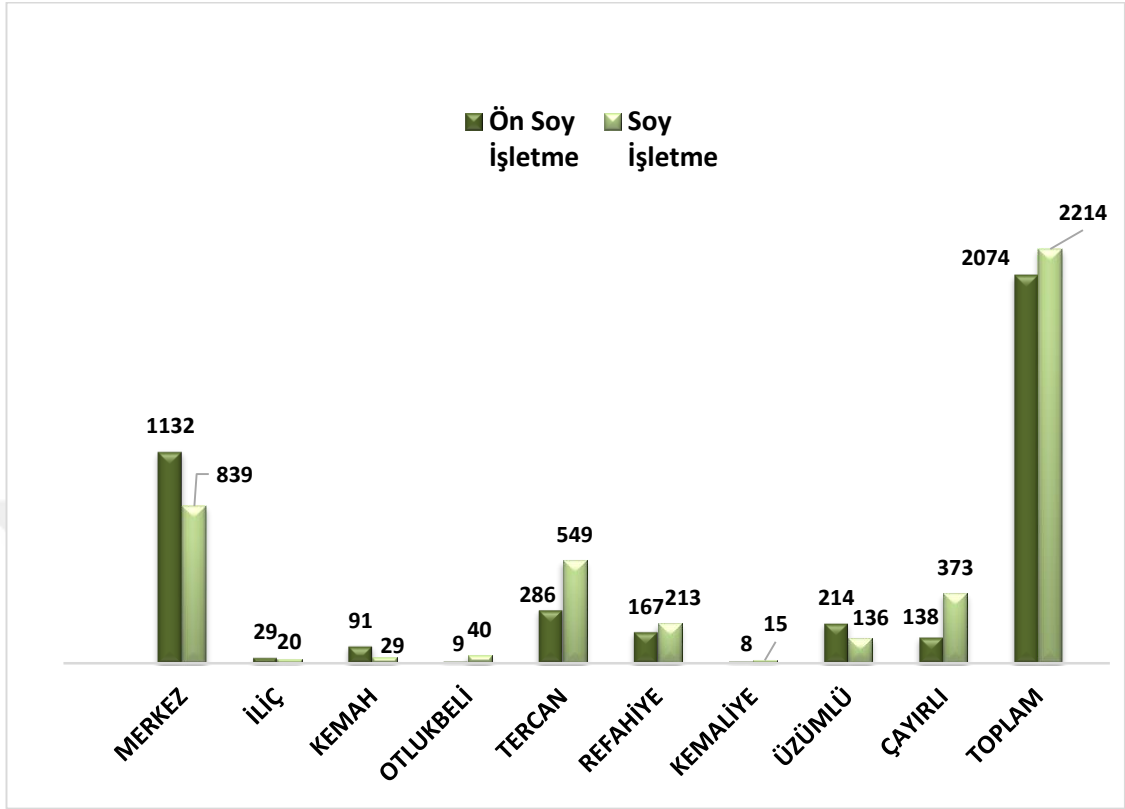
3.1.2. Bölgedeki hayvancılık işletmeleri

Erzincan il merkezi ve ilçelerinde bulunan hayvancılık çiftlikleri ve mezbahanelere ilişkin veriler toparlanarak sayısal veriler ışığında yorumlanmıştır. Bu kapsamda büyükbaş ve küçükbaş hayvan çiftliklerine ilişkin 2015 verileri mevcut iken kanatlı hayvan çiftliklerinin sayılarına ilişkin en güncel verilere erişilememiştir.

Büyükbaş hayvan çiftlikleri, ön soy kütük ve soy kütük olarak iki gruba ayrılmaktadır. Soy kütük işletmeleri, Erzincan Damızlık Sığır Yetiştiricileri Birliği'ne kayıtlı işletmeleri, ön soy kütük ise bu birliğe bağlı olmayan işletmeleri içermektedir.

Tablo 3.1. Erzincan ili hayvan çiftlikleri işletme sayıları

İLÇELER	Büyükbaş İşletme Sayıları 2015			Küçükbaş İşletme Sayıları
	Ön Soy İşletme	Soy İşletme	Toplam	Toplam
MERKEZ	1132	839	1971	584
İLİÇ	29	20	49	232
KEMAH	91	29	120	345
OTLUKBELİ	9	40	49	40
TERCAN	286	549	835	440
REFAHİYE	167	213	380	95
KEMALİYE	8	15	23	156
ÜZÜMLÜ	214	136	350	181
ÇAYIRLI	138	373	511	368
TOPLAM	2074	2214	4288	2441



Şekil 3.3. Büyükbaş hayvan işletmelerinin soy kütük ve ön soy kütüğe bağlı sayılarının ilçe bazlı karşılaştırılması

Büyükbaş hayvan işletme sayıları dâhilinde elde edilen bilgiler, Erzincan Merkez ve 8 ilçesi için, soy kütük ve ön soy kütüğe bağlı işletme sayılarını içermektedir. 2015 yılı verilerine göre, büyükbaş işletme sayılarının sırasıyla Merkez, Tercan, Çayırli, Refahiye, Üzümlü, Kemah, Otlukbeli, İliç ve Kemalîye’de yüksek olduğu görülmektedir. Erzincan ve ilçelerindeki Büyükbaş Hayvan işletme sayıları (ön soy ve soy işletme toplamı) sırasıyla; 1971, 835, 511, 380, 350, 120, 49, 49 ve 23 şeklinde yukarıdaki tabloda verilmiştir. Bu ilçeler içerisinde Kemalîye’de en az işletmenin yer aldığı tespit edilmiştir.

Erzincan ilinde çalışma izni almış et ve et ürünleri tesisleri içinde bulunan mezbahalara ilişkin bilgiler ve yer aldıkları ilçeler aşağıdaki tabloda verilmiştir. Tabloda belirtilen mezbahalar, verdikleri hizmetlere ve büyüklüklerine göre, büyükbaş ve küçükbaş hayvan kesimleri gerçekleştirmektedir.

Tablo 3.2. Çalışma izni almış mezbahaneler

İŞLETME ADI	BULUNDUĞU İLÇE
Erzincan Belediye Mezbahanesi	Merkez
Ulalar Belediye Mezbahanesi	Merkez
Eğimlioğlu Et Kombinasi	Merkez
Üzümlü Belediye Mezbahanesi	Üzümlü

3.1.3. Bölgedeki Hayvan Sayıları

Erzincan yöresinde hayvancılık, büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvancılık (kümes) sektörlerinde gelişmiştir. Büyükbaş olarak, inek, düve, boğa, tosun, erkek/dişi dana ve erkek/dişi buzağı yetiştiriciliği, küçükbaş olarak, koyun ve keçi yetiştiriciliği, kanatlı hayvanlar olarak da ördek, hindi, kaz ve yumurta/broiler tavuk yetiştiriciliği yapılmaktadır.

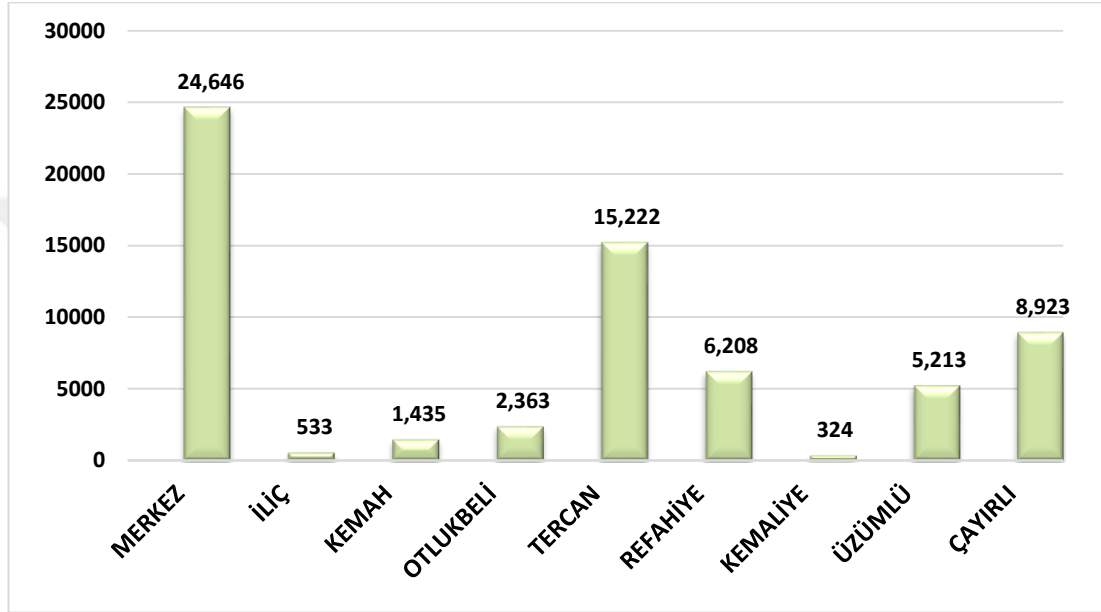
İlçe bazında küçükbaş ve kanatlı hayvan sayıları için Gıda, Tarım ve Hayvancılık İl Müdürlüğü verileri, büyükbaş hayvan sayıları için ise Erzincan Damızlık Sığır Yetiştiricileri Birliği verileri kullanılarak elde edilen en güncel veriler ile hayvan sayıları Tablo 3.3'te verilmiştir.

Tablo 3.3. Erzincan Merkez ve ilçelerinde bulunan çiftliklerdeki hayvan sayıları

İLÇELER	BÜYÜKBAŞ-2017				KANATLI-2015			KÜÇÜKBAŞ-2015	
	Soy ve Ön Soy Kütük Birlikte				Toplam	Koyun	Keçi	Toplam	
	Toplam	Yumurta	Broiler	Diğer*					
MERKEZ	24646	430000	135000	1390	566390	119039	2605	121644	
İLİÇ	533	1425		90	1515	59022	9424	68446	
KEMAH	1435	1500		302	1802	54586	6482	61068	
OTLUKBELİ	2363	3400		175	3575	2523	258	2781	
TERCAN	15222	5497		2465	7962	87256	4999	92255	
REFAHİYE	6208	3000		560	3560	3457	1513	4970	
KEMALİYE	324	200		20	220	14125	14349	28474	
ÜZÜMLÜ	5213	750	139500	190	140440	40509	800	41309	
ÇAYIRLI	8923	3000		750	3750	21610	2161	23771	
TOPLAM	64867	448772	274500	5942	729214	402127	42591	444718	

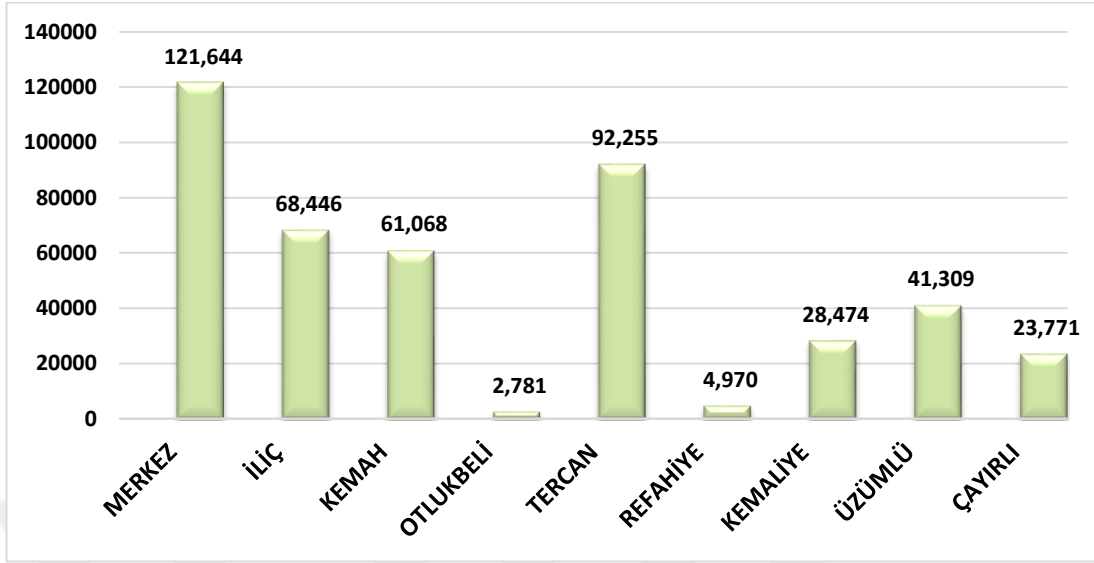
*Diğer; Ördek, hindi ve kaz sayılarının toplamını vermektedir.

Hayvan sayılarının belirtildiği Tablo 3.3 incelendiğinde, 2017 verilerine göre, Erzincan ilinde toplam büyükbaş hayvan sayısının 64867 olduğu görülmektedir. Bunun en büyük kısmını, 24646 büyükbaş hayvan sayısı ile Merkez ilçesi ve 15222 ile Tercan ilçesi oluşturmaktadır. Bunları, Çayırlı, Refahiye, Üzümlü, Otlukbeli, Kemah, İliç ve Kemaliye izlemektedir.



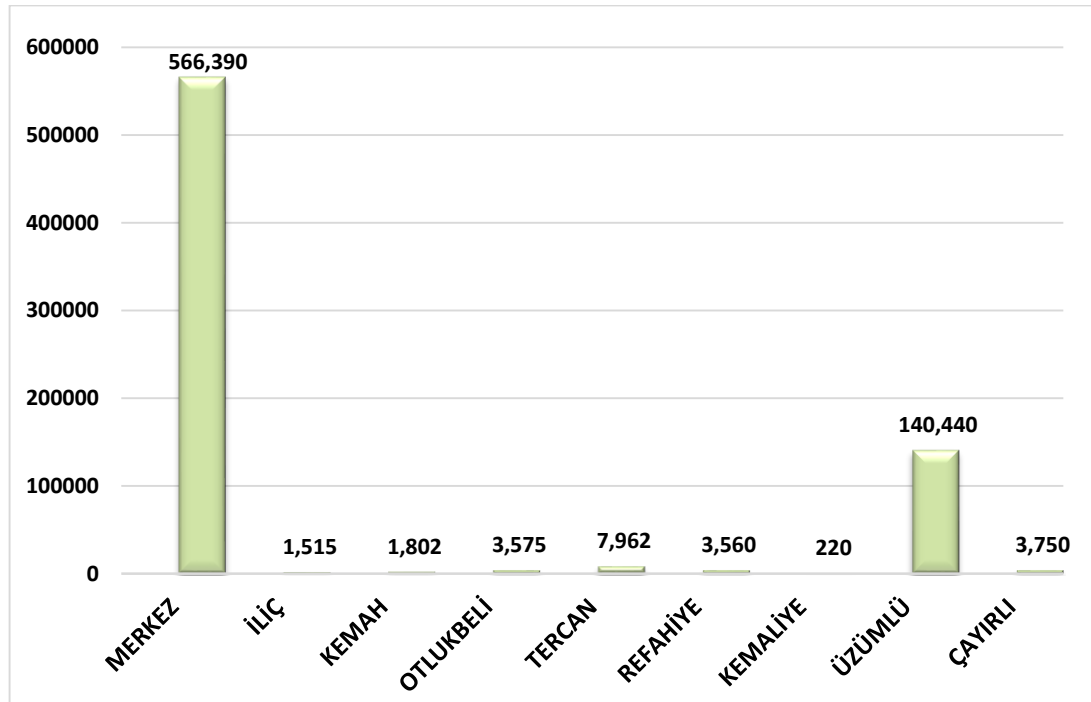
Şekil 3.4. Büyükbaş hayvan sayılarının ilçe bazlı dağılımı

Erzincan ilindeki toplam küçükbaş hayvan sayısı 444718 olarak belirlenmiştir. 402127 ile bu toplam değer büyük kısmını oluşturan koyun sayısı, toplam atığın yaklaşık %90'ını oluştururken, keçi sayısı ise, 42591 ile toplam değer %10'unu oluşturmaktadır. Küçükbaş hayvan miktarının en yüksek olduğu ilçeler 121644 ile Merkez ilçesi ve ikinci olarak da 92255 değeri ile Tercan İlçesi'dir. Buna karşın en düşük küçükbaş hayvan miktarları, 4970 ile Refahiye ve 2781 ile Otlukbeli ilçelerinde gözlenmektedir.



Şekil 3.5. Küçükbaş hayvan sayılarının ilçe bazlı dağılımı

Tablo 3.3'te verilen bilgilere göre, Erzincan ilindeki toplam kanatlı hayvan sayısı 729214'tür. Kanatlı hayvan sayısı bakımından Erzincan Merkez ilçesi, 566390 ile başı çekerken, bu değeri 140440'lık hayvan sayısı ile Üzümlü İlçesi takip etmektedir. Öte yandan, Kemalîye İlçesi sadece 220 adet kanatlı hayvan yetiştiriciliği ile en az hayvan sayısına sahip ilçedir.



Şekil 3.6. Kanatlı hayvan sayılarının ilçe bazlı dağılımı

3.2. Yöntem

3.2.1. Bölgedeki atık miktarının belirlenmesi

Biyogaz tesislerinin projelendirilmesinde, uygun bir tesis bölgesinin seçimi en önemli husustur. Uygun tesis bölgesi seçiminde çeşitli parametreler baz alınmaktadır. Bunlar; projenin uygulanacağı bölgenin altyapısı, jeolojik koşulları, biyogaz tesisini büyütme olanakları, elektrik dağıtım noktasına mesafe ve hammadde tedarikinin uzun yıllar boyunca sürekliliğinin sağlanabilirliğidir. Tesisin devreye girmesinden sonraki aşamalarda, hammadde tedarikinde oluşacak dalgalanmalar, işleyişin aksamasına neden olabileceği için özellikle hammadde tedariki konusu iyi etüd edilmelidir. Bu amaç doğrultusunda, bölgedeki hayvansal atık miktarları, bu çalışmada belirtilmiş olan güncel hayvan sayısı ve yapılan günlük hayvansal atık miktar kabulleri göz önüne alınarak gerçekleştirilmiştir.

3.2.2. Hayvan çiftliklerindeki atık miktarları

Erzincan ili hayvancılık sektöründe, çeşitli hayvan tiplerine göre karakterizasyon ve günlük hayvansal atık miktarıyla ilgili herhangi bir çalışma yapılmadığı tespit edilmiştir. Bu nedenle, Erzincan il Gıda, Tarım ve Hayvancılık Müdürlüğü yetkilileri ve hayvancılık işletme sahipleri ile görüşmeler gerçekleştirilerek Erzincan ili ortalama büyükbaş canlı hayvan ağırlığı 425 kg olarak kabul edilmiştir. Büyükbaş hayvanların canlı ağırlığına bağlı olarak üretilebilecek günlük yaş gübre miktarı, canlı ağırlığının % 5-10'u kadardır (Kaya ve Öztürk, 2012b). Hesaplamalarda %7 kabulü yapılarak günlük atık miktarı belirlenmiştir. Küçükbaş ve kanatlı hayvanlarda ise Türkiye hayvancılık sektöründeki günlük atık miktarları ve özellikleri kullanılmıştır.

Hayvanların ahırda kalma süreleri, süt sığırı için %65, et sığırı için %25, kanatlı hayvanlar için %99 ve küçükbaş hayvanlar için % 13 olmaktadır (Onurbaş Avcıoğlu, 2010b). Bu nedenle hesaplamalarda ahırda kalma süresi göz önüne alınarak atığın elde edilebilirlik oranı; büyükbaş hayvanlar için %50, küçükbaş hayvanlar için %13 ve kanatlı hayvanlar için %99 olarak seçilmiştir. Hesaplamalarda kullanılmak üzere hayvansal atık tipine bağlı, katı madde, organik katı madde içeriği ve biyogaz üretim potansiyeline ilişkin yapılan kabuller aşağıdaki tabloda özetlenmiştir. Aşağıdaki tabloda, hayvan tiplerine bağlı olarak günlük atık miktarları verilmiştir.

Tablo 3.4. Atık miktar kabulleri

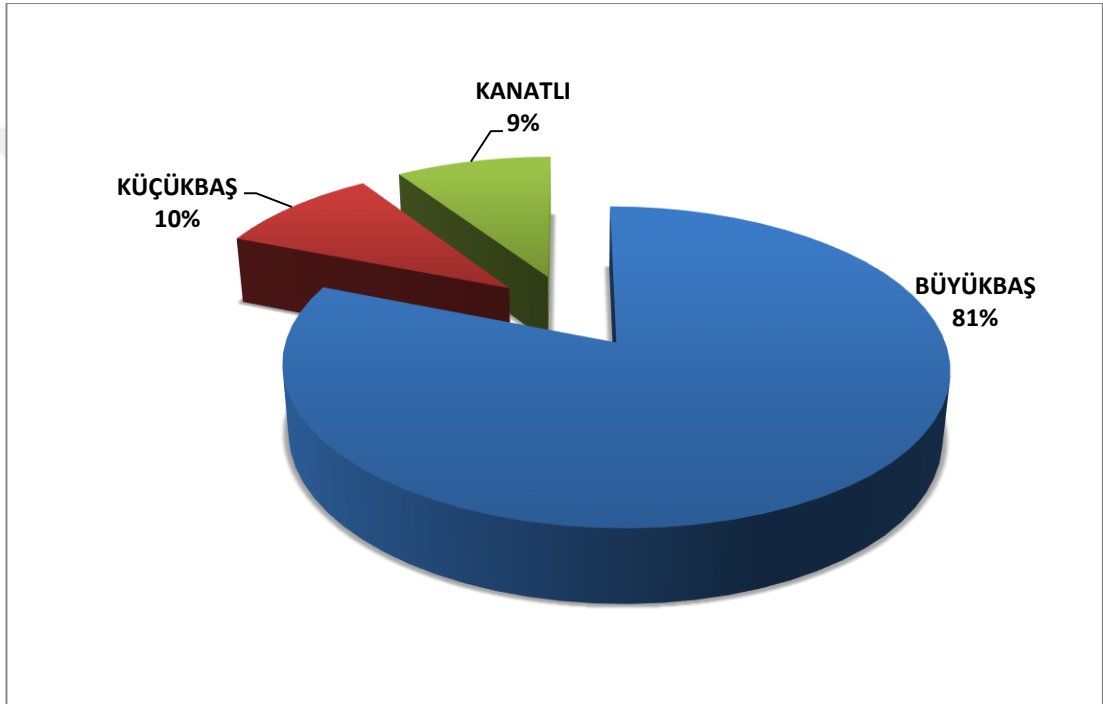
Hayvan Tipi	Atık Miktarı kg atık/hayvan*gün	Kaynaklar
Büyükbaş Hayvanlar	29,75	Kaya ve Öztürk, 2012c
Küçükbaş Hayvanlar		
Koyun ve Keçi	2	Berkes ve Kışlalıoğlu, 1993
Kanatlı (Kümes) Hayvanlar		
Broiler Tavuk	0,19	www.biyogaz.web.tr
Yumurta Tavuğu	0,13	www.biyogaz.web.tr
Hindi-Kaz-Ördek	0,07	Koçer Nacar vd., 2006c

Toplam atık miktarları, Tablo 3.3'te verilmiş olan güncel hayvan sayıları ve yapılan kabullere bağlı olarak, ton.atık/yıl olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar çerçevesinde elde edilen yıllık hayvan atık miktarları Tablo 3.5'de verilmiştir.

Tablo 3.5. Hayvan atık miktarları

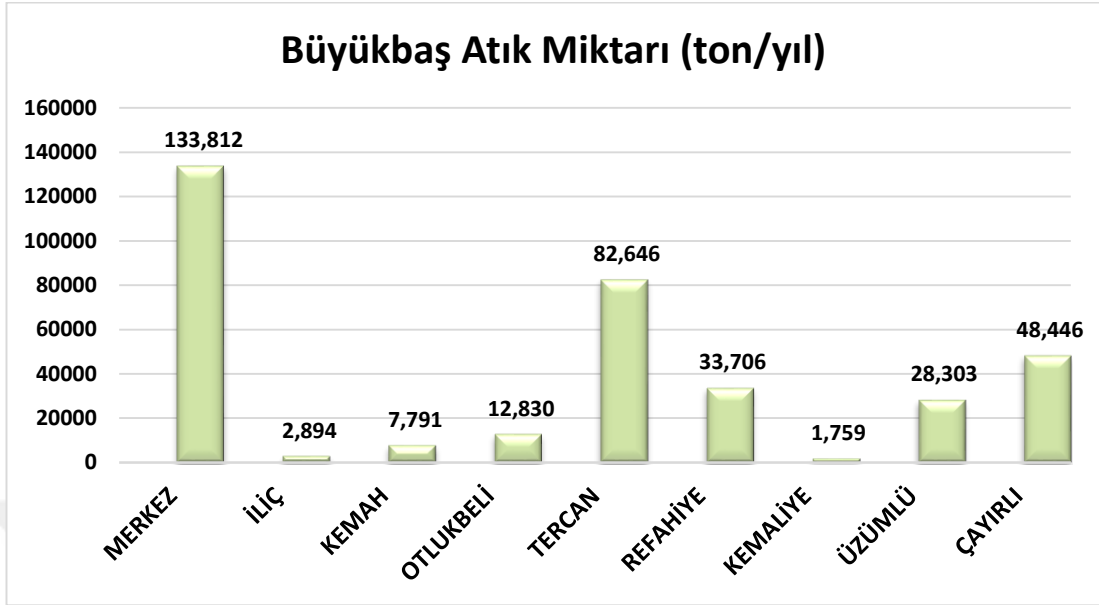
İLÇELER	Büyükbaş Atık Miktarı (ton/yıl)	Kanatlı Atık Miktarı (ton/yıl)	Küçükbaş Atık Miktarı (ton/yıl)	Toplam Atık Miktarı (ton/yıl)
MERKEZ	133812	29503	11544	174860
İLİÇ	2894	69	6496	9459
KEMAH	7791	78	5795	13665
OTLUKBELİ	12830	164	264	13258
TERCAN	82646	321	8755	91722
REFAHİYE	33706	155	472	34332
KEMALİYE	1759	10	2702	4471
ÜZÜMLÜ	28303	9618	3920	41841
ÇAYIRLI	48446	160	2256	50862
TOPLAM	352187	40078	42204	434469

Hayvan sayıları ve türlerine bağlı olarak oluşan atık miktarları incelendiğinde en fazla atık oluşturan türün büyükbaş hayvanlar olduğu belirlenmiştir. Yıllık toplam değerlere göre oluşan atık miktarları büyükten küçüğe; 352187 ton atık/yıl ile büyükbaş hayvanlar, 42204 ton atık/yıl ile küçükbaş hayvanlar ve 40078 ton atık/yıl kanatlı hayvanlar şeklinde sıralanabilir. Hayvan türlerinden kaynaklanan atık miktarlarının genel dağılımı aşağıdaki pasta grafikte verilmiştir.



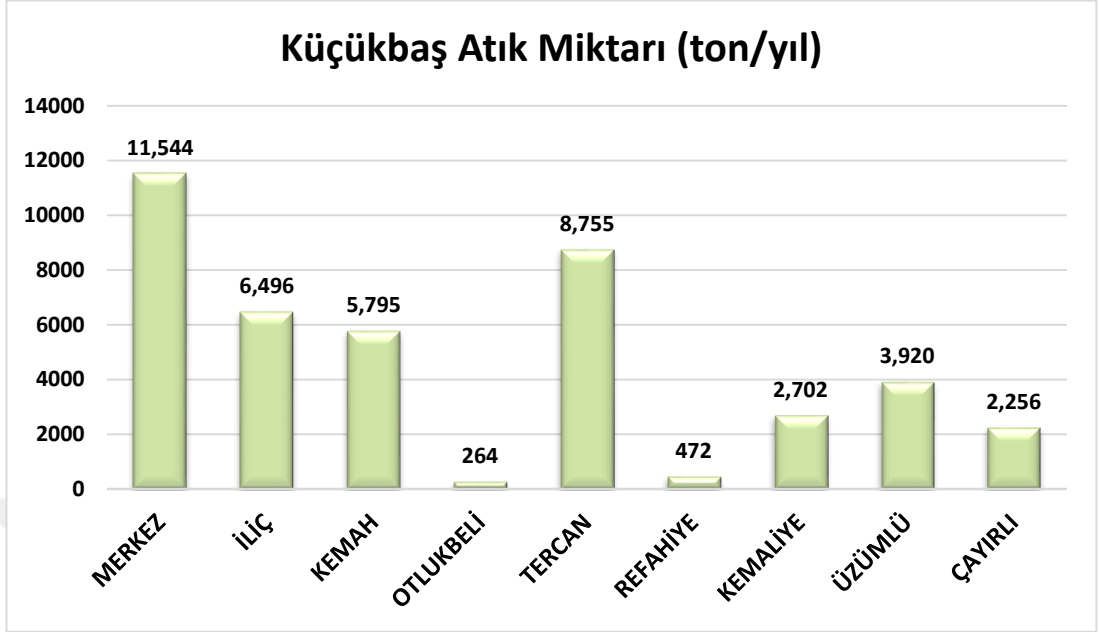
Şekil 3.7. Hayvan atıklarının kaynağına göre dağılımı

Büyükbaş hayvanlardan elde edilen atık miktarı, toplam atık miktarı içerisinde %81 ile en büyük kısmı oluşturmaktadır. Hayvan atık miktarları tablosuna bakıldığında, büyükbaş kaynaklı en yüksek atık miktarının yine büyükbaş hayvan sayısı en fazla olan Erzincan Merkez İlçesi'nde olduğu görülmektedir. Merkez ilçede elde edilecek olan büyükbaş kaynaklı atık miktarı 133812 ton/yıl olarak hesaplanmıştır. Bunu; 82646 ton/yıl ile Tercan, 48446 ton/yıl ile Çayırılı ve 33706 ton/yıl ile Refahiye ilçeleri izlemektedir. Büyükbaş hayvan atık miktarlarının ilçelere göre dağılımı aşağıdaki şekilde verilmiştir.



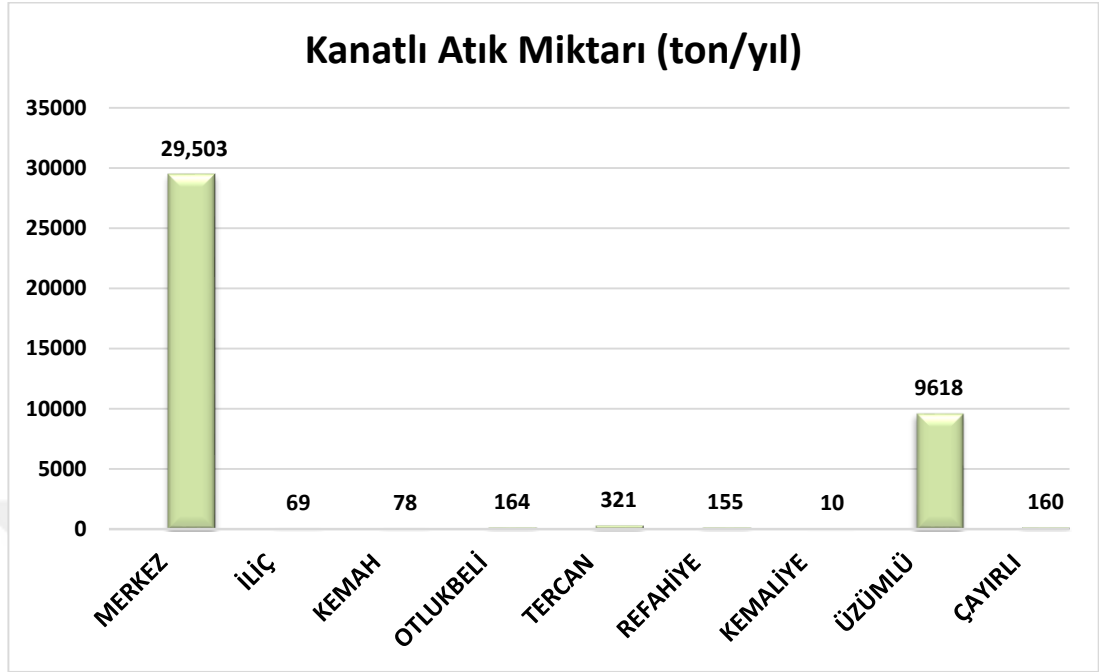
Şekil 3.8. Büyükbaş hayvan atık miktarları

Küçükbaş hayvan atık miktarının yıllık olarak en fazla görüldüğü ilçeler, 11544 ton/yıl ile Merkez ve 8755 ton/yıl ile Tercan ilçeleridir. Aynı zamanda bu ilçeler, hayvan sayısının da en fazla olduğu ilçelerdir. Bu ilçeleri 6496 ton/yıl ile İliç, 5795 ton/yıl ile Kemah, 3920 ton/yıl ile Üzümlü, 2702 ton/yıl ile Kemaliye, 472 ton/yıl ile Refahiye ve 264 ton/yıl ile Otlukbeli takip etmektedir. Küçükbaş hayvan atıklarının ilçe bazında dağılımı aşağıdaki grafikte gösterilmiştir.



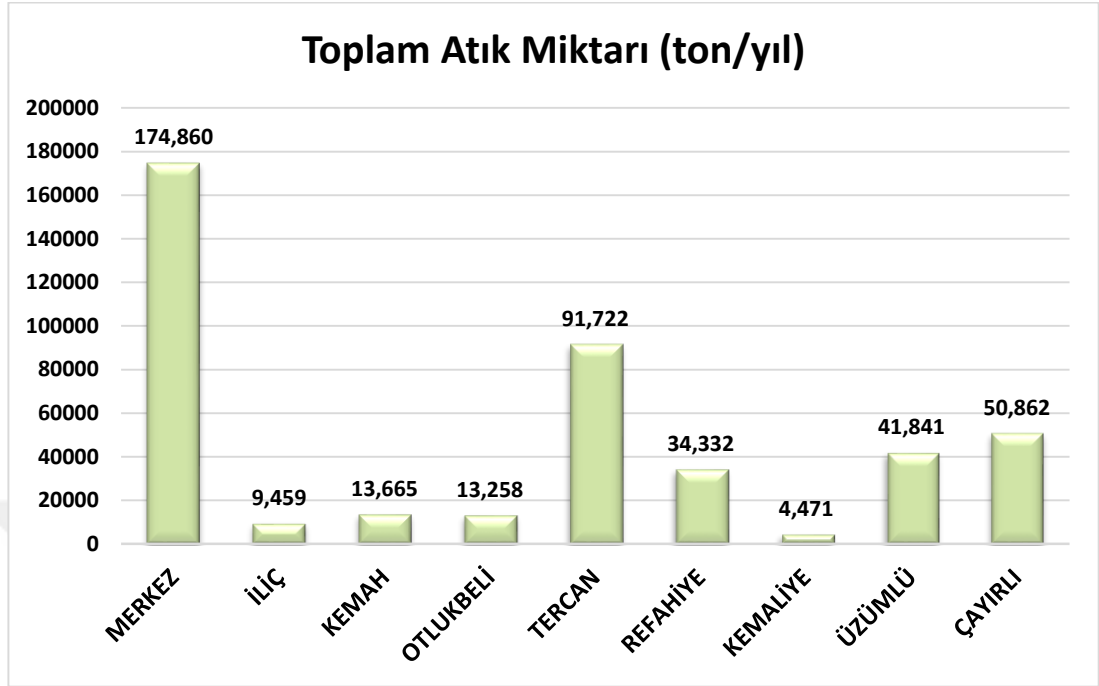
Şekil 3.9. Küçükbaş hayvan atık miktarları

Kanatlı hayvan atık miktarının en fazla miktarının gözlemlendiği ilçeler, 29503 ton/yıl ile Merkez ilçe ve 9618 ton/yıl ile Üzümlü ilçesidir. Bu ilçelerdeki atık miktarının fazla olmasının nedeni ise yoğun bir şekilde broiler ve yumurta tavukçuluğu yapıyor olmasıdır. Kanatlı hayvan kaynaklı atık miktarının ilçelere göre dağılımı aşağıda verilmektedir.



Şekil 3.10. Kanatlı hayvan atık miktarları

Büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvanlardan elde edilen atık miktarının Erzincan genelindeki toplam değeri, 434469 ton/yıl olarak hesaplanmıştır. İlçe bazlı hayvan atık dağılımı incelendiğinde en fazla atığın 174860 ton/yıl ile Merkez ilçede gerçekleştiği tespit edilmiştir. Merkez ilçede büyükbaş hayvancılığın yaygın olması dolayısıyla bu ilçeden elde edilen büyükbaş kaynaklı atık miktarı değeri de yüksek olmaktadır. Merkez'den sonra 91722 ton/yıl ile Tercan, 50862 ton/yıl ile Çayırılı, 41841 ton/yıl ile Üzümlü, 34332 ton/yıl ile Refahiye, 13665 ton/yıl ile Kemah, 13258 ton/yıl ile Otlukbeli, 9459 ton/yıl ile İliç, ve 4471 ton/yıl ile Kemaliye gelmektedir.



Şekil 3.11. Toplam hayvan atık miktarlarının ilçe bazlı dağılımı

Hayvansal atıkların enerji üretim potansiyelleri, bu çalışma kapsamında incelenmiştir. Her hayvansal atık tipi, kimyasal ve fiziksel özelliklerine bağlı olarak değişen farklı enerji potansiyellerine sahiptir. Burada atık miktarı değerleri ile ilgili hesaplamalar ele alınmıştır.

Tablo 3.6. Hayvan atıklarının kabul edilen özellikleri (Deublein ve Steinhauser, 2008d)

Atık Türü	K.M. (Katı Madde)	O.K.M. (Organik Katı Madde)	Biyogaz Potansiyeli (m ³ /ton O.K.M.)
Büyükbaş hayvan atığı	14,5%	77,5%	250
Kanatlı hayvan atığı	28,0 %	80,0 %	400
Küçükbaş hayvan atığı	30,0 %	80,0 %	200

Fizibilite hesaplamalarında kullanılmak üzere temel alınan doğalgaz, kömür, gübre ve elektrik birim fiyatları, kömür, biyogaz ile doğalgazın kalorifik değerleri ve bunlara ek olarak kojenerasyon verimi, Dolar ve Euro merkez bankası efektif alış fiyatları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 3.7. Fizibilite hesaplamalarında yapılan kabuller

PARAMETRE	DEĞER	BİRİM
1 m ³ biyogaz	0,65	m ³ CH ₄
Biyogaz alt ısıl değeri (Gustavsson, 2000)	21	MJ/m ³
Biyogaz alt ısıl değeri	5020	kcal / m ³
Biyogaz alt ısıl değeri	5,837	kwh / m ³
Doğalgaz kalorifik değeri	8250	kcal/Sm ³
Kömür kalorifik değeri	3000	kcal/kg
Kojenerasyon Elektrik Üretim Verimi	42%	yüzde
Kojenerasyon Termal Verim	46%	yüzde
Doğalgaz birim fiyatı	0,60	TL/m ³ doğalgaz
Kömür birim fiyatı	150	TL/ton kömür
Elektrik birim fiyatı	0,39	TL/kWh elektrik
Gübre birim fiyatı	20	TL/ton
Merkez Bankası Efektif Alış (Ocak, 2016)	2,94	USD/TRY
Merkez Bankası Efektif Alış (Ocak, 2016)	3,20	EUR/TRY
1 kWh	860	kcal

Hayvansal Atık Kaynaklı Biyogaz Potansiyelinin belirlenmesinde yapılan hesaplamalar aşağıda verilmiştir.

Hayvansal Atık Miktarı;

Hayvan Sayısı x Günlük Atık Miktarı x 365 Gün x Elde Edilebilirlik Oranı

Biyogaz retimi;

Yıllık retilen Atık Miktarı x Katı Madde Oranı x Organik Katı Madde Oranı x Biyogaz Verimi

Metan retimi;

Biyogaz retimi x 0.65

Elektrik retimi;

Biyogaz retimi x Biyogaz Alt Isıl Değeri (kwh/m³)

Isı retimi;

Biyogaz retimi x Biyogaz Alt Isıl Değeri (kcal/m³)

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1 Biyogaz Üretim Potansiyeli

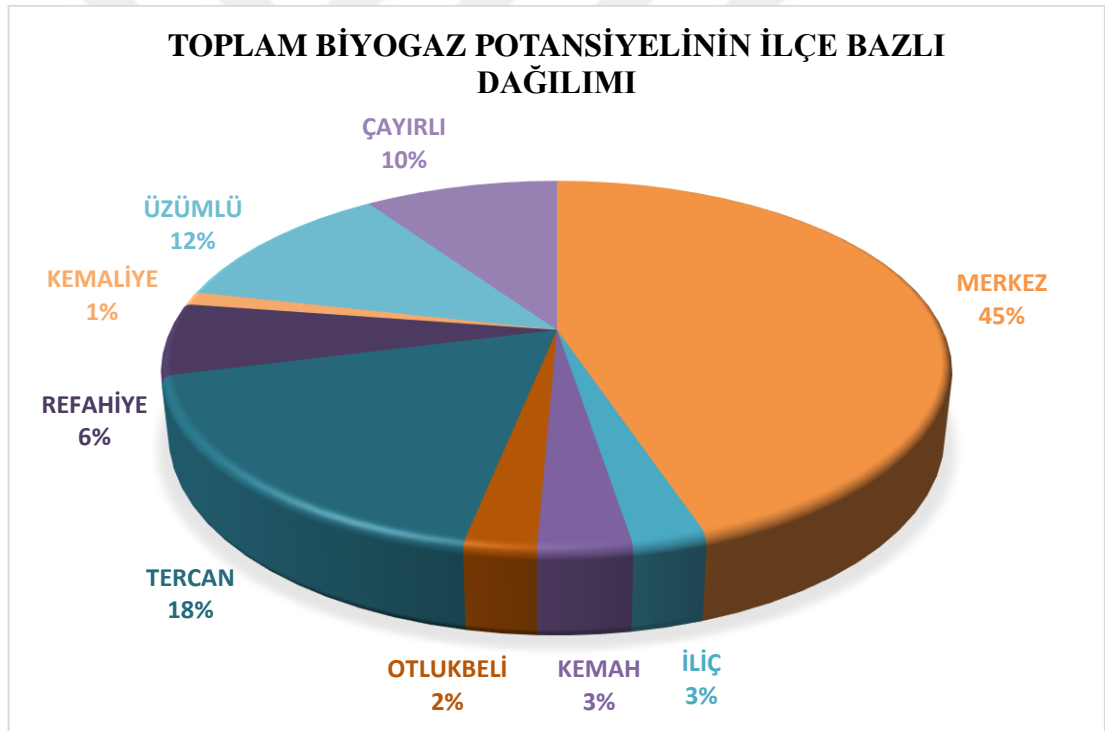
Erzincan İlinin hayvansal atık miktarı ve bu atıklardan elde edilecek olan biyogaz enerjisi potansiyelini belirlemek amacıyla, bölgede yer alan işletmelerde kayıtlı olan hayvan sayılarının ilçe bazında yıllık hayvansal atık üretim miktarı ve bu atıklardan elde edilebilecek biyogaz ve metan potansiyeli hesaplamaları yapılmıştır.

Tablo 3.3’de verilen büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvan sayıları baz alınarak Tablo 4.1’de bu atıkların değerlendirilmesiyle elde edilebilecek biyogaz, metan, elektrik ve ısı miktarlarının ilçe bazında dağılımı belirtilmiştir.

Tablo 4.1. Erzincan ili toplam biyogaz üretim potansiyeli

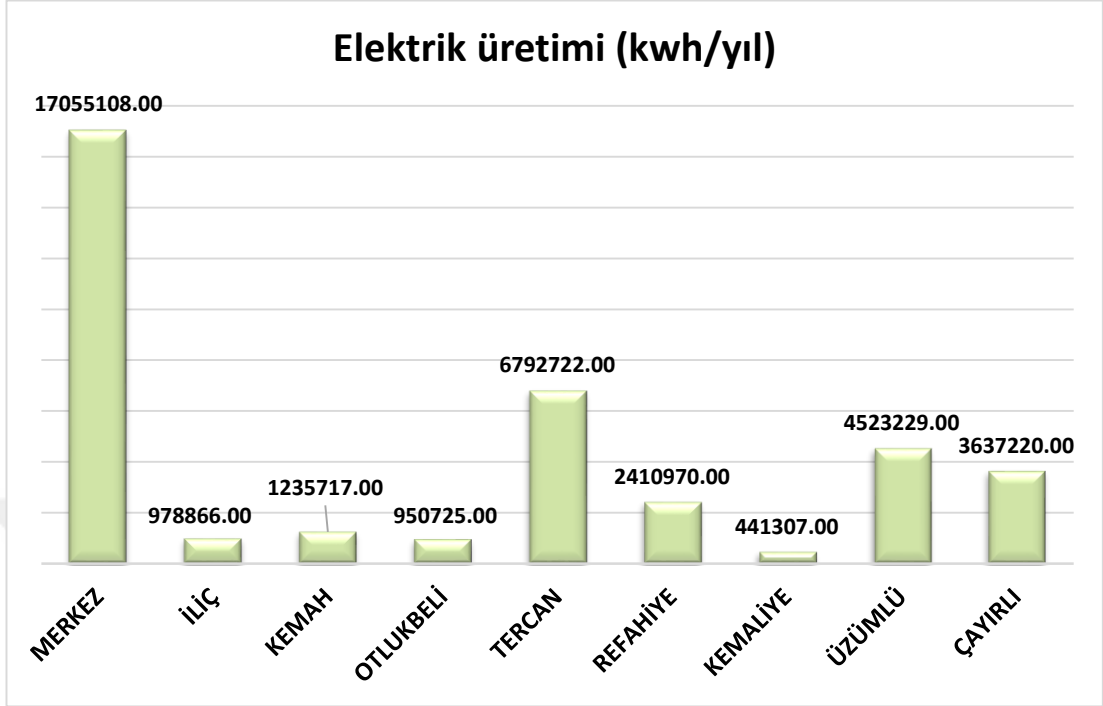
İLÇELER	Büyükbaş Atık Miktarı (ton/yıl)	Kanathlı Atık Miktarı (ton/yıl)	Küçükbaş Atık Miktarı (ton/yıl)	Toplam Atık Miktarı (ton/yıl)	Biyogaz Potansiyeli (m3/yıl)	Metan Potansiyeli (m3/yıl)	Elektrik Üretimi (kWh _e /yıl)	Isı Üretimi (kcal/yıl)	Kurulu Güç (kW _e)	Ton Eşdeğer Petrol (TEP / yıl)
MERKEZ	133812	29503	11544	174860	6 956 896	4 521 982	17 055 108	16 064 863 228	1947	1466,74
İLİÇ	2894	69	6496	9459	399286	259536	978866	922 031 964	112	84,18
KEMAH	7791	78	5795	13665	504058	327637	1 235 717	1 163 969 851	141	106,27
OTLUKBELİ	12830	164	264	13258	387807	252075	950725	895 524 361	109	81,76
TERCAN	82646	321	8755	91722	2 770 798	1 801 019	6 792 722	6 398 326 909	775	584,17
REFAHİYE	33706	155	472	34332	983451	639243	2 410 970	2 270 985 307	275	207,34
KEMALİYE	1759	10	2702	4471	180012	117008	441307	415 683 943	50	37,95
ÜZÜMLÜ	28303	9618	3920	41841	1 845 056	1 199 287	4 523 229	4 260 603 728	516	389,00
ÇAYIRLI	48446	160	2256	50862	1 483 647	964371	3 637 220	3 426 037 822	415	312,80
TOPLAM	352187	40078	42204	434469	15 511 011	10 082 157	38 025 864	35 818 027 112	4341	3270,22

Erzincan ilinin toplam biyogaz potansiyeli 15 511 011 m³/yıl olarak hesaplanmıştır. Biyogaz üretim potansiyeli ilçeler bazında incelendiğinde en yüksek potansiyele sahip ilçenin, 6 956 896 m³/yıl ile Merkez ilçe olduğu gözlemlenmektedir. Bunu sırasıyla Tercan, Üzümlü, Çayırılı, Refahiye, Kemah, İliç, Otlukbeli ve Kemaliye izlemektedir. Biyogaz üretim potansiyelinin ilçeler bazında kıyaslanması Şekil 4.1’de verilmiştir. Biyogazdan elde edilebilir enerjinin saflık derecesi, metan içeriği ile belirlenmektedir. Genel bir yaklaşımla, bir biyogaz tesisinin sorunsuz çalışabilmesi için en az %65 metan içeriğine sahip, biyogaz üretimi gerçekleştirebilmelidir. Çalışma kapsamında %65 metan üretileceği kabulü ile Erzincan ilinin yıllık metan üretim potansiyeli 10 082 157 m³ olarak bulunmuştur.

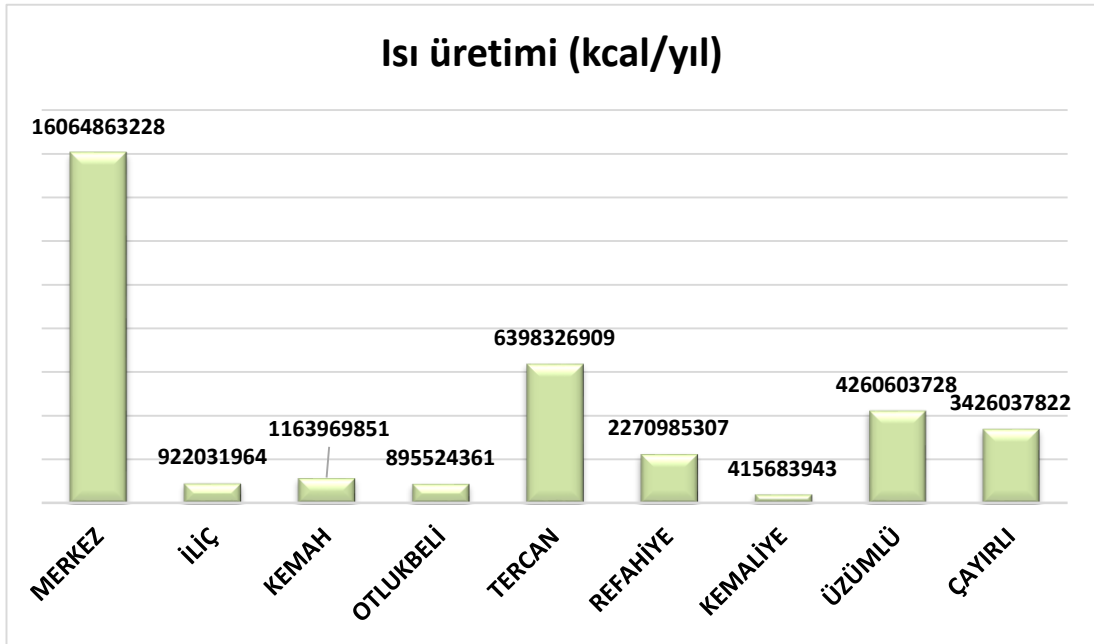


Şekil 4.1. Erzincan ili toplam biyogaz potansiyelinin ilçe bazlı dağılımı

Erzincan ilinin biyogazdan üretilebilecek yıllık toplam elektrik üretimi potansiyeli 38 025 864 kWh_e olarak hesaplanmıştır. En yüksek elektrik üretimi biyogaz potansiyelinin de en yoğun olduğu Merkez ilçedir. Erzincan ilinde hayvansal atık kaynaklı biyogazdan elektrik üretiminin ilçe bazlı dağılımı Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2. Erzurum ili toplam biyogaz potansiyelinden elektrik üretimi ilçe dağılımı
Erzurum ilinde hayvansal atık kaynaklı biyogaz üretim potansiyelinden yararlanılarak, 35 818 027 112 kcal/yıl atık ısı üretimi gerçekleştirilebilir.



Şekil 4.3. Erzurum ili toplam biyogaz potansiyelinden ısı üretimi ilçe dağılımı

4.2. Gelir ve Fayda Hesaplamaları

Erzincan ilinde hayvansal atık kaynaklı biyogaz üretiminin dönüşümü ile elde edilebilecek elektrik ve atık ısı kaynaklı faydalar Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2. Erzincan ili hayvan atıklarının biyogaz tesislerinde kullanılması ile elde edilecek faydalar

FAYDA	Elektrik Kaynaklı Fayda		Isıl Kaynaklı Fayda			
			Doğalgaz Eşdeğerine Göre		Kömür Eşdeğerine Göre	
İLÇELER	Üretim (kWh/yıl)	Faydası (TL/yıl)	Miktar (m ³ /yıl)	Fayda (TL/yıl)	Miktar (ton/yıl)	Fayda (TL/yıl)
MERKEZ	17 055 108	6 992 594	1 947 256	1 168 354	5355	803243
İLİÇ	978866	401335	111761	67057	307	46102
KEMAH	1 235 717	506644	141087	84652	388	58198
OTLUKBELİ	950725	389797	108548	65129	299	44776
TERCAN	6 792 722	2 785 016	775555	465333	2133	319916
REFAHİYE	2 410 970	988498	275271	165163	757	113549
KEMALİYE	441307	180936	50386	30232	139	20784
ÜZÜMLÜ	4 523 229	1 854 524	516437	309862	1420	213030
ÇAYIRLI	3 637 220	1 491 260	415277	249166	1142	171302
TOPLAM	38 025 864	15 590 604	4 341 579	2 604 947	11939	1 790 901

Erzincan ilinde hayvansal atıkların biyogaz santrallerinde değerlendirilmesiyle, elektrik kaynaklı olarak yıllık 15 590 604 TL fayda sağlanması mümkün olacaktır. Atık ısıdan sağlanabilecek fayda kömür ve doğalgaz eşdeğerine göre hesaplanmıştır. Eğer elde edilecek atık ısı, doğalgaz ile elde edilirse sağlanacak fayda yıllık 2 604 947 TL olacaktır. Kömür ile elde edilecek olur ise, kömürün daha düşük maliyetli bir yakıt olması sebebiyle yıllık sağlanacak fayda 1 790 901 TL olacaktır.

4.3. Tesis Senaryoları

Tez çalışması kapsamında, Erzincan iline ait ilçeler bazında elde edilebilecek enerji potansiyelleri hesaplanmıştır. İlçe bazlı hayvansal atık potansiyelinin, biyogaz enerji santrali kurulumu için ekonomik olmadığı öngörülmesi nedeniyle mesafeler göz önüne alınarak çeşitli senaryolar oluşturulmuştur. Senaryolar tasarlanırken, yakın mesafelerde bulunan ilçelerdeki hayvansal atıkların merkezi bir lokasyonda toplanarak tasarlanan tesisin verimli ve ekonomik bir şekilde çalışması hedeflenmiştir.

Metan gazı, doğada bulunan en önemli sera gazlarından birisidir. Hayvansal atıkların biyogaz santrallerinde değerlendirilmesi ile doğaya salınan sera gazı emisyonları azaltılacaktır. Ayrıca biyogaz proseslerinin diğer bir ürünü ise gübredir, proses sonucu elde edilen gübre tarımda toprak iyileştirme ve organik gübre olarak kullanılabilen bir üründür. Senaryolar içerisinde, gübre üretim miktarları ve sera gazı emisyon azaltımı miktarları da hesaplanmıştır.

İlçeler arası mesafeler 3 farklı grup içerisinde ele alınmıştır. Merkezi biyogaz tesislerinde finansal açıdan, taşıma mesafesi son derece önemlidir. Bu sebeple mesafe grupları belirlenmiş ve Tablo 4.3 ve Tablo 4.4'te hesaplama sonuçları verilmiştir.

Tablo 4.3. Uzaklık Seviyeleri

Lejand	Uzaklık	Mesafeler(km)
	1.seviye	0-25
	2.seviye	26-50
	3.seviye	51-70

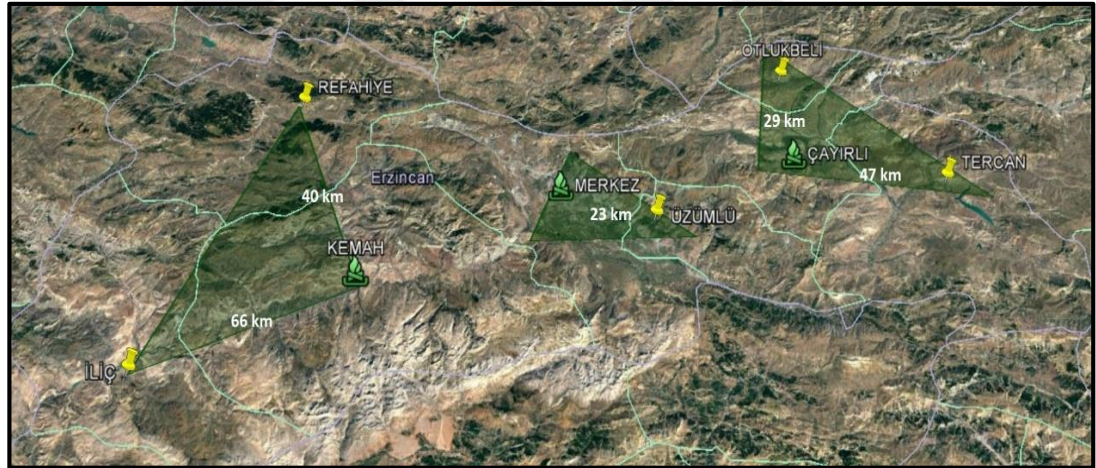
Lojistik açıdan ilçelerin birbirlerine mesafeleri ve yol durumları göz önünde bulundurularak maksimum 70 km lojistik taşıma mesafesine sahip 3 farklı biyogaz enerji santrali senaryosu ortaya çıkarılmıştır. Çalışma kapsamında, gruplandırmalar bazında tesis fizibiliteleri yapılarak senaryolar hazırlanmıştır.

Bu senaryolar şu şekildedir;

- Kemah Biyogaz Enerji Santrali
- Çayırli Biyogaz Enerji Santrali
- Erzincan Merkez Biyogaz Enerji Santrali

Tablo 4.4. Erzincan ilçeler arası mesafeler tablosu

	MERKEZ	İLİÇ	KEMAH	OTLUKBELİ	TERCAN	REFAHIYE	KEMALİYE	ÜZÜMLÜ	ÇAYIRLI
MERKEZ	0	115	51	139	97	70	151	23	122
İLİÇ	115	0	66	252	210	75	42	136	234
KEMAH	51	66	0	205	163	40	118	89	188
OTLUKBELİ	139	252	205	0	64	213	287	129	29
TERCAN	97	210	163	64	0	171	245	87	47
REFAHIYE	70	75	40	213	171	0	110	97	196
KEMALİYE	151	42	118	287	245	110	0	171	270
ÜZÜMLÜ	23	136	89	129	87	97	171	0	105
ÇAYIRLI	122	234	188	29	47	196	270	105	0



Şekil 4.4. Biyogaz enerji santrali yerleşimleri

Tablo 4.5. Biyogaz enerji santralleri için ilçe seçimi

Enerji Santrali Projesi	İlçeler
Kemah Biyogaz Enerji Santrali	İliç, Kemah, Refahiye
Çayırli Biyogaz Enerji Santrali	Otlukbeli, Çayırli, Tercan
Erzincan Merkez Biyogaz Enerji Santrali	Merkez, Üzümlü

4.3.1 Kemah biyogaz enerji santrali projesi

Kemah biyogaz enerji santrali projesi kapsamında bulunan ilçeler ve tasarlanan tesiste elde edilecek atık, biyogaz ve metan miktarları ile elektrik ve ısı üretimleri Tablo 4.6'da verilmiştir.

Tablo 4.6. Kemah biyogaz enerji santrali (İliç, Kemah, Refahiye) fizibilite çalışması
Atık ve Biyogaz Üretimi

Açıklama	Miktar	Birim
Büyükbaş Atık	44391	ton/yıl
Kanatlı Atık	302	ton/yıl
Küçükbaş Atık	12763	ton/yıl
Biyogaz Üretimi	1 886 795	m ³ /yıl
Metan Üretimi	1 226 417	m ³ /yıl

Elektrik ve Isı Üretimi

Açıklama	Miktar	Birim
Elektrik Üretimi	4 625 554	kWh _e /yıl
Isı Üretimi	4 356 987 122	kcal/yıl
Kurulu Güç	528,0	kW _e

Gelir ve Gider

Açıklama	Miktar	Birim
Elektrik Geliri	1 803 966	TL/yıl
Gübre Geliri	172 367	TL/yıl
Isıl Fayda (doğalgaz eşdeğeri)	316 872	TL/yıl
Toplam Gelir	2 293 204	TL/yıl
Toplam Gider	687 961	TL/yıl
Net Gelir	1 605 243	TL/yıl

Yatırım

Açıklama	Miktar	Birim
Yatırım	8 448 500	TL
Geri Ödeme Süresi	5,26	Yıl
Yatırım Oranı	16000	TL/kW _e

Kemah biyogaz enerji santrali, çalışma bölgesinde hayvansal atıklardan yıllık üretilebilecek biyogaz miktarı 1 886 795 m³ olarak hesaplanmıştır. Kemah biyogaz enerji santrali'nde üretilecek yıllık elektrik enerjisi miktarı 4 625 554 kWh ve atık ısı enerjisi miktarı ise 4 356 987 122 kcal olarak hesaplanmıştır.

Santralin ilk yatırım maliyeti 8 448 500 TL olarak hesaplanmıştır. Biyogaz tesisleri için tasarım giderleri, yerleşik kapasiteye bağlı olarak; her kW güç başına 2500-7500 € veya 1 m³ reaktör hacmi başına 250-700 € arasında değişir (Kaya ve Öztürk, 2012d). Bu nedenle hesaplamalar yapılırken, 5000 Euro/kW_e kurulu güce bağlı yatırım oranı kullanılmıştır.

Emisyon azaltımı ve gübre üretim miktarı Tablo 4.7'de verilmiştir.

Tablo 4.7. Kemah biyogaz enerji santrali ile sağlanabilecek faydalar

Emisyon Azaltımı		
Açıklama	Miktar	Birim
Elektrik Üretimi Kaynaklı	2405	ton/yıl
Metan Bertarafı Kaynaklı	12926	ton/yıl
Toplam	15332	ton/yıl

Karbon Geliri		
Açıklama	Miktar	Birim
Karbon Kredisi Birim Fiyatı	12,8	TL/tCO _{2e}
Karbon Geliri	196246	TL/yıl

Gübre Üretimi		
Açıklama	Miktar	Birim
Gübre	8618	ton/yıl

4.3.2. Çayırılı biyogaz enerji santrali projesi

Çayırılı biyogaz enerji santrali projesi kapsamında bulunan ilçeler ve tasarlanan Enerji Santralinden elde edilecek hayvansal atık, biyogaz ve metan miktarları ile elektrik ve ısı üretimleri Tablo 4.8’de verilmiştir.

Tablo 4.8. Çayırılı biyogaz enerji santrali (Otlukbeli, Çayırılı, Tercan) fizibilite çalışması

Atık ve Biyogaz Üretimi		
Açıklama	Miktar	Birim
Büyükbaş Atık	143922	ton/yıl
Kanatlı Atık	645	ton/yıl
Küçükbaş Atık	11275	ton/yıl
Biyogaz Üretimi	4 642 252	m ³ /yıl
Metan Üretimi	3 017 464	m ³ /yıl
Elektrik ve Isı Üretimi		
Açıklama	Miktar	Birim
Elektrik Üretimi	11 380 667	kWh _e /yıl
Isı Üretimi	10 719 889 091	kcal/yıl
Kurulu Güç	1299	kW _e
Gelir ve Gider		
Açıklama	Miktar	Birim
Elektrik Geliri	4 438 460	TL/yıl
Gübre Geliri	467524	TL/yıl
Isıl Fayda (doğalgaz eşdeğeri)	779628	TL/yıl
Toplam Gelir	5 685 612	TL/yıl
Toplam Gider	1 705 684	TL/yıl
Net Gelir	3 979 929	TL/yıl
Yatırım		
Açıklama	Miktar	Birim
Yatırım	20 786 607	TL
Geri Ödeme Süresi	5,22	yıl
Yatırım Oranı	16000	TL/kW _e

Çayırli biyogaz enerji santrali çalışma bölgesinde hayvansal atıklardan yıllık üretilebilecek biyogaz miktarı 4 642 252 m³ olarak hesaplanmıştır. Çayırli biyogaz enerji santralinde üretilecek yıllık elektrik enerjisi miktarı 11 380 667 kWh ve atık ısı enerjisi miktarı ise 10 719 889 091 kcal olarak hesaplanmıştır.

Santralin ilk yatırım maliyeti 20 786 607 TL olarak hesaplanmıştır. Biyogaz tesisleri için tasarım giderleri, yerleşik kapasiteye bağlı olarak; her kW güç başına 2500-7500 € veya 1 m³ reaktör hacmi başına 250-700 € arasında değişir (Kaya ve Öztürk, 2012e). Bu nedenle hesaplamalar yapılırken, 5000 Euro/kW_e kurulu güce bağlı yatırım oranı kullanılmıştır.

Emisyon azaltımı ve gübre üretim miktarı Tablo 4.9'da verilmiştir.

Tablo 4.9. Çayırli biyogaz enerji santrali ile sağlanacak faydalar

Emisyon Azaltımı		
Açıklama	Miktar	Birim
Elektrik Üretimi Kaynaklı	5918	ton/yıl
Metan Bertarafı Kaynaklı	31804	ton/yıl
Toplam	37722	ton/yıl

Karbon Geliri		
Açıklama	Miktar	Birim
Karbon Kredisi Birim Fiyatı	12,8	TL/tCO _{2e}
Karbon Geliri	482842	TL/yıl

Gübre Üretimi		
Açıklama	Miktar	Birim
Gübre	23376	ton/yıl

4.3.3. Erzincan merkez biyogaz enerji santrali projesi

Erzincan merkez biyogaz enerji santrali kapsamında bulunan ilçeler ve tasarlanan enerji santralinden elde edilecek hayvansal atık, biyogaz ve metan miktarları ile elektrik ve ısı üretimleri Tablo 4.10'da verilmiştir.

Tablo 4.10. Erzincan Merkez biyogaz enerji santrali (Merkez, Üzümlü) fizibilite çalışması

Atık ve Biyogaz Üretimi		
Açıklama	Miktar	Birim
Büyükbaş Atık	162116	ton/yıl
Kanatlı Atık	39121	ton/yıl
Küçükbaş Atık	15464	ton/yıl
Biyogaz Üretimi	8 801 952	m ³ /yıl
Metan Üretimi	5 721 269	m ³ /yıl
Elektrik ve Isı Üretimi		
Açıklama	Miktar	Birim
Elektrik Üretimi	21 578 337	kWh _e /yıl
Isı Üretimi	20 325 466 955	kcal/yıl
Kurulu Güç	2463	kW _e
Gelir ve Gider		
Açıklama	Miktar	Birim
Elektrik Geliri	8 415 551	TL/yıl
Gübre Geliri	650102	TL/yıl
Isıl Fayda (doğalgaz eşdeğeri)	1 478 216	TL/yıl
Toplam Gelir	10 543 870	TL/yıl
Toplam Gider	3 163 161	TL/yıl
Net Gelir	7 380 709	TL/yıl
Yatırım		
Açıklama	Miktar	Birim
Yatırım	39 412 487	TL
Geri Ödeme Süresi	5,34	yıl
Yatırım Oranı	16000	TL/kW _e

Erzincan Merkez biyogaz enerji santrali çalışma bölgesinde, hayvansal atıklardan yıllık üretilebilecek biyogaz miktarı diğer enerji santrali senaryolarına oranla 8 801 952 m³/yıl ile en yüksek biyogaz enerjisi üretiminin gerçekleştirildiği enerji santralini temsil etmektedir. Erzincan Merkez biyogaz enerji santralinde üretilen yıllık elektrik enerjisi miktarı 21 578 337 kWh ve atık ısı enerjisi miktarı ise 20 325 466 955 kcal olarak hesaplanmıştır.

Santralin ilk yatırım maliyeti 39 412 487 TL olarak hesaplanmıştır. Biyogaz tesisleri için tasarım giderleri, yerleşik kapasiteye bağlı olarak; her kW güç başına 2500-7500 € veya 1 m³ reaktör hacmi başına 250-700 € arasında değişir (Kaya ve Öztürk, 2012f). Bu nedenle hesaplamalar yapılırken, 5000 Euro/kW_e kurulu güce bağlı yatırım oranı kullanılmıştır.

Emisyon azaltım ve gübre üretim miktarı Tablo 4.11’de verilmiştir.

Tablo 4.11. Erzincan Merkez biyogaz enerji santrali projesi ile sağlanacak faydalar

Emisyon Azaltımı		
Açıklama	Miktar	Birim
Elektrik Üretimi Kaynaklı	11221	ton/yıl
Metan Bertarafı Kaynaklı	60302	ton/yıl
Toplam	71523	ton/yıl
Karbon Geliri		
Açıklama	Miktar	Birim
Karbon Kredisi Birim Fiyatı	12,8	TL/tCO _{2e}
Karbon Geliri	915493	TL/yıl
Gübre Üretimi		
Açıklama	Miktar	Birim
Gübre	32505	ton/yıl

5. SONUÇLAR

Erzincan ilinde büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvan çiftliklerinde oluşan hayvansal atıklar, herhangi bir atık yönetimine dâhil edilmeden, doğrudan belediyenin çöp depolama sahalarına gönderilmekte veya tarım alanlarında toprağın altına karıştırılarak gübrelemede kullanım amacıyla bertaraf edilmektedir. Bu uygulamalar, çevre ve hava kirliliği, kimyasal ve biyolojik bozunmalar sonucu atıklardan sızan sızıntı sularının, toprağa ve yeraltı sularına karışmasıyla çevre ve insan sağlığı bakımından son derece ciddi problemler oluşturabilmektedir. Tarım alanlarının verimsiz ve kullanılamaz hale gelmesine de sebebiyet verirken, temiz su kaynaklarıyla doğrudan doğruya bağlantılı olan yer altı sularını da kirletmektedir. Bunun yanısıra yüksek enerji üretim potansiyeline sahip olan bu hayvansal atıkların, değerlendirilmeden bertaraf edilmesi, milli enerji kaynaklarımızın bir kaybıdır.

Bu çalışmada değerlendirilmeyen atıkların ekonomiye kazandırılması yönünde, Erzincan Merkez ve ilçelerinde bulunan hayvancılık işletmelerinden kaynaklı atıkların, biyogaz enerjisi potansiyelinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Potansiyelin belirlenmesinde hayvan sayıları ile ilgili veriler saha çalışmalarından, birliklerden, kamu kurumları ve yerel enstitülerden alınmıştır. Elde edilen verilerden hayvansal atık miktarları ve bu atıkların biyogaz potansiyeli belirlenerek bölgedeki atıkların elektrik ve ısı enerjisi potansiyeli hesaplanmıştır.

Buna göre Erzincan ilinde toplam büyükbaş hayvan sayısı 64867 iken, 24646 ile en büyük kısmını Merkez ilçe ve 15222 ile de Tercan ilçesi oluşturmaktadır. Bunları sırasıyla Çayırlı, Refahiye, Üzümlü, Otlukbeli, Kemah, İliç ve Kemaliye izlemektedir. Toplamda küçükbaş hayvan sayısı ise 444718'dir. Bu rakamın 121644'ünü Merkez ilçe, 92255'ini ise Tercan ilçesi oluşturmaktadır. En az küçükbaş hayvan sayısı 4970 ile Refahiye, 2781 ile de Otlukbeli ilçelerindedir. İlde kanatlı hayvan sayısı ise toplamda 729214'tür. Bu rakamın 566390'sini Erzincan Merkez ilçe, 140440'lık kısmını ise Üzümlü ilçesi oluşturmaktadır. Bu iki ilçe ilin toplam kanatlı hayvan sayısının %97'sini oluşturmaktadır. Kemaliye ilçesi 220 adet kanatlı hayvan sayısı ile en düşük potansiyele sahiptir.

Çalışmada elde edilen bu sayısal verilere göre, Erzincan genelindeki toplam atık miktarı ise 434469 ton/yıl olarak hesaplanmıştır. İlçe bazlı hayvan atık dağılımı incelendiğinde en fazla atığın 174860 ton/yıl ile Merkez ilçede gerçekleştiği tespit edilmiştir. Merkez ilçeyi 91722 ton/yıl ile Tercan, 50862 ton/yıl ile Çayırılı, 41841 ton/yıl ile Üzümlü, 34332 ton/yıl ile Refahiye, 13665 ton/yıl ile Kemah, 13258 ton/yıl ile Otlukbeli, 9459 ton/yıl ile İliç, ve 4471 ton/yıl ile Kemaliye takip etmektedir. Bu atık miktarlarına göre Erzincan ilinin toplam biyogaz potansiyeli 15 511 011 m³/yıl olarak hesaplanmıştır. Biyogaz üretim potansiyeli ilçeler bazında incelendiğinde en yüksek potansiyele sahip ilçenin, 6 956 896 m³/yıl ile Merkez ilçe olduğu, bunu sırasıyla Tercan, Üzümlü, Çayırılı, Refahiye, Kemah, İliç, Otlukbeli ve Kemaliye ilçelerinin izlediği görülmektedir.

Buna göre biyogazdan üretilebilecek yıllık toplam elektrik üretimi potansiyeli 38 025 864 kWh_e'dir. Bu elektrik üretiminin 17 055 108 kWh_e'lik kısmını biyogaz potansiyelinin de en yoğun olduğu Merkez ilçe oluşturmaktadır. Merkez ilçeyi azalan sırayla Tercan, Üzümlü, Çayırılı, Refahiye, Kemah, İliç, Otlukbeli ve Kemaliye ilçeleri takip etmektedir. Ayrıca aynı kaynaklı biyogaz üretim potansiyelinden yararlanılarak ilde 35 818 027 112 kcal/yıl ısı enerjisi üretimi de elde edilebilmektedir.

Dolayısıyla çalışmanın konusunu oluşturan Erzincan'da yeter sayıda hayvansal atığın bulunduğu ve bu atıkların değerlendirilmesi yoluyla elektrik kaynaklı olarak yıllık 15 590 604 TL fayda sağlanacağı görülmektedir. Isı enerjisinden sağlanacak yıllık fayda kömür ve doğalgaz ile mukayese edildiğinde, doğalgaz eşdeğerine göre 2 604 947 TL iken daha düşük maliyetli kömüre göre ise 1 790 901 TL olacaktır.

Çalışmada bölgedeki büyükbaş hayvansal atıkların %50'si, küçükbaş hayvan atıklarının %13'ü, kanatlı hayvan atıklarının ise %99'unun elde edilebilir, tüm bu hayvansal atıkların eşit parçalanma kapasitesi ile biyolojik olarak parçalanabilir olduğu öngörüsüyle yapılan hesaplamalar sonucunda, biyogaz kaynaklı elektrik kurulu gücü bakımından Erzincan'ın 4.3 MW'lık bir potansiyel barındırdığı, biyogaz ve enerji üretimi değerleri açısından da kayda değer bir nitelik taşıdığı görülmektedir.

Erzincan ili ve ilçelerinde büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvan sayıları, hayvansal atık miktarı, bu atıklardan elde edilebilecek biyogaz, elektrik ve ısı enerjisi üretim potansiyelleri, hayvansal atık kaynaklı biyogaz yatırımları için umut vaat etmektedir. Bu durum biyogaz tesislerinin kurulmasını gerektirirken, tesis için olası potansiyel de bölgede mevcuttur.

Merkezi biyogaz enerji santrali tasarımında, hayvansal atıkların toplanma ve taşınması önemli bir etken olup sürdürülebilir bir lojistik planlamayı gerektirir. Biyogaz projelerinin en önemli parametresi de lojistik planlamadır. Bu bağlamda bölgede maksimum 70 km lojistik taşıma mesafesine sahip 3 farklı biyogaz enerji santrali senaryosu için fizibilite çalışmaları yapılmıştır. Buna göre, 528 kW_e kurulu gücü ile Kemah (İliç, Kemah, Refahiye), 1.299 kW_e ile Çayırli (Otlukbeli, Çayırli, Tercan) ve 2.463 kW_e ile Erzincan Merkez (Merkez, Üzümlü)'de Biyogaz Enerji Santrallerinin kurulabileceği görülmüştür. Her bir tesis için gerekli olan yatırımın geri ödeme süresi ise yaklaşık 5 yıldır. Bölgede, küçük boyutlarda olmak üzere, önerilen sayıdan daha fazla sayıda biyogaz tesisi kurmak da mümkündür.

Önerilen bu tesisler ile biyogaz enerjisi dönüşümünün çıktısı olan elektrik ve ısı enerjisi üretiminin yanı sıra hayvansal atıkların, atık yönetimi çerçevesinde bertaraf edilmesi, sera gazı salınımının önlenmesi, havaya salınan karbon emisyon oranının da önemli düzeyde azalmasıyla çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlanacaktır. Biyogaz kaynaklı elektrik enerjisi eldesiyle oluşturulan biyogaz enerji santrali senaryoları ile toplamda 124.577 ton/yıl karbon emisyon azaltımı gerçekleştirilecektir. Gönüllü karbon sertifikası kapsamında değerlendirmeye alınması yoluyla da projelerin geri dönüş sürelerini düşüren bir finans girdisi sağlanabilecektir.

Sonuç olarak Erzincan özelinde hayvansal atıkların bertaraf edilmesinde biyogaz teknolojisinin katma değeri yüksek önemli bir yöntem olduğu görülmektedir. İlerleyen yıllarda, sektörel gelişmelere bağlı olarak, Erzincan ve ilçelerinde hayvansal atıklarda artış yaşanacaktır. Mevcut geleneksel uygulamaların devam etmesi durumunda ise hayvansal atık kokusu, sera gazı salınımları nedeniyle azalan hava kalitesi, hijyen, atıkların gömülmesi ve depolama için uygun alan bulamama gibi sorunlar gittikçe artacak ve finansal açıdan yük oluşturmaya başlayacaktır. Oysa

biyogaz enerji santrallerinde atıkların bertaraf edilmesiyle çevresel ve mali problemler çözülecek, aynı zamanda kırsal kalkınma sağlanarak, hayvansal atıklar yenilenebilir enerji kaynağı olarak değerlendirilebilecektir.

Yapılan bu çalışmanın, Erzincan ilinde tesis edilecek biyogaz santrallerinin planlanmasında yol gösterici bir rehber olmasının yanı sıra büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvanlardan kaynaklı atıklardan enerji elde edilmesiyle sürdürülebilir bir atık yönetim modeli oluşturması hedeflenmektedir.



KAYNAKLAR

- Acaroğlu, M., “Biyokütle Enerjisinin Global Potansiyeli, Biyoenerji Politikaları”, *Avrupa Birliği ve Türkiye I. Ege Enerji Sempozyumu ve Sergisi*, Denizli, (2003).
- Aktaş, A., “Yukarı Akışlı Havasız Çamur Yataklı Reaktörlerde Çamur Granüllerinin Oluşmasına Etki Eden Faktörlerin Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2008).
- Al Seadi, T., Rutz, D., Prassl, H., Finsterwalder, T., Köttner, M., Volk S., Janssen, R., “Biogas Handbook”, *University of Southern Denmark Esbjerg*, Denmark, (2008).
- Amon, T., Boxberger, J., “Biogas Production From Farmyard Manure Institute”, *Institute for Agricultural, Environmental and Energy Engineering, University for Agricultural Sciences*, (2000).
- Asplund, S., “The Biogas Production Plant at Umeå Dairy Evaluation of Design and Start-up”, Degree thesis, *Linköpings Universitet, Inst. för Tema*, Swedish, (2005).
- Avan, H., “Tokat İlindeki Hayvansal Atıkların Biyogaz Üretim Potansiyelinin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Kullanılarak Değerlendirilmesi” Yüksek Lisans Tezi, *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Tokat, 20-23 (2014).
- Bostan Budak, D., “Analysis Of Renewable Energy And Its Impact On Rural Development In Turkey”, *AgriPolicy Enlargement Network for Agripolicy Analysis*, (2009).
- Bouallagui H., Touhami Y., Cheikh R.B. and Hamdi M., “Bioreactor performance in anaerobic digestion of fruit and vegetable wastes”, *Process Biochemistry*, 40: 989–995 (2005).
- Boyd, R., “Internalising Environmental Benefits of Anaerobic Digestion of Pig Slurry in Norfolk”, *University of East Anglia*, (2000).
- Buğutekin, A., “Atıklardan Biyogaz Üretiminin İncelenmesi”, Doktora Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2007).
- Çetinkaya, M., Karaosmanoğlu, F., “Biyogaz, Türkiye ve Seçenekler”, V. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, İstanbul, (2004).
- DBFZ - Deutsches Biomasse Forschungs Zentrum, “Türkiye’de biyogaz yatırımları için geçerli koşulların ve potansiyelin değerlendirilmesi”, *Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü ve Alman Uluslararası İşbirliği Kurumu (GİZ)*, Ankara, (2011).
- Deublein, D. and Steinhauser, A., “Biogas from Waste and Renewable Resources”, *WILEY-VCH Verlag*, Germany, 57-77 (2008).
- Eryaşar, A., “Kırsal Kesime Yönelik Bir Biyogaz Sisteminin Tasarımı, Kurulumu, Testi ve Performansına Etki Eden Parametrelerin Araştırılması”, Doktora Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, (2007).

Gustavsson, M., “Biogas Technology-Solution in Search of Its Problem A Study of Small-Scale Rural Technology Introduction and Integration”, Göteborg University, Göteborg, (2000).

Gül, N., “Tavuk Gübresinden Biyogaz Üretim Potansiyelinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, (2006).

Igoni, A.H., Ayotamuno, M.J., Eze, C.L., Ogaji, S.O.T. and Probert, S.D., “Designs of Anaerobic Digesters for Producing Biogas from Municipal SolidWaste”, *Applied Energy*, 85: 430-438 (2008).

İnternet: Asian Development Bank “Isı üretmek için kullanılan bir biyogaz yakıcı”
https://www.adb.org/sites/default/files/styles/content_media/public/content-media/6948-prc-deadly-methane-gas-clean-energy-feature-01.jpg?itok=pR7U6ZKD (2016h).

İnternet: Aljazeera – Türk “Biyogazın otobüslerde kullanımı”
<http://www.aljazeera.com.tr/haber/cevreci-otobus-yollarda> (2014).

İnternet: BEPA - Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü “Biyokütle Kaynaklı Elektrik Üretim Santralleri”
<http://bepa.yegm.gov.tr/> (2016d).

İnternet: Biogas Plant India “Hindistan'da işletilen bir biyogaz sistemi”
<http://biogas-in-india.blogspot.com.tr/2011/12/biogas-plant-technology-by-biotech.html> (2016a).

İnternet: Energy City “Biyogazın araçlarda yakıt olarak kullanımı”
http://energycity.dk/sites/default/files/foto_tom_jensen-1869_1g.jpg (2016g).

İnternet: Erzincan Belediyesi “Atıksu Tesislerinde Rehabilitasyon Çalışmaları”
http://www.erzincan-bld.gov.tr/haber/249/atiksu_tesislerinde_rehabilitasyon_calismalari.html (2014).

İnternet: Erzincan Belediyesi “Atık Projeleri”
http://erzincan.bel.tr/icerik/128/atik_projeleri.html (2014).

İnternet: Erzincan Damızlık Sığır Yetiştiriciler Birliği “Soy Kütüğü Projesi”
<http://www.erzincandsyb.org.tr/index.php/2015-08-31-13-44-28/soy-kutugu-projesi> (2015).

İnternet: Govardhan Eco Village “İlkel yöntemle işletilen biyogaz sistemi”
<http://www.ecovillage.org.in/ecopedia/common-technologies-for-biogas-production> (2016b).

İnternet: Erzincan İl Gıda Tarım ve Hayvancılık Müdürlüğü “Bilgi Edinme”
<http://erzincan.tarim.gov.tr/Link/8/Bilgi-Edinme> (2015).

İnternet: Ilic M., Miletic S. “Biogas Production From Manure”
<http://tap-energy.com/methane-digester2.html> (2010).

İnternet: Mevzuatı Geliştirme ve Yayın Genel Müdürlüğü “Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik”

<http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2010/03/20100326-13.htm> (2010).

İnternet: Mevzuatı Geliştirme ve Yayın Genel Müdürlüğü “Çevre Kanunu”

<http://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/1.5.2872.pdf> (1983).

İnternet: Mevzuatı Geliştirme ve Yayın Genel Müdürlüğü “İnsan Tüketimi Amacıyla Kullanılmayan Hayvansal Yan Ürünler Yönetmeliği”

<http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2011/12/20111224-3.htm> (2011).

İnternet: Mevzuatı Geliştirme ve Yayın Genel Müdürlüğü “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun”

<http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2005/05/20050518-1.htm> (2005).

İnternet: Precise Energy “Metan Bakterileri”

<http://preciseenergy.tiandieye.com/lookandfeel/images/bacteria/fig5.jpg> (2016e).

İnternet: Power Plants Around The World “Diesel and Gas-Engine Power Plants in Denmark ”

<http://www.industcards.com/ic-dk.htm> (2016c).

İnternet: Power Plants Around The World “Fuel Cell Power Plants in Germany”

<http://www.industcards.com/fuel-cells-de.htm> (2016i).

İnternet: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü “Çeşitli Kaynaklardan Elde Edilebilecek Biyogaz Verimleri ve Biyogazdaki Metan Miktarları”

<http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/biyogaz.aspx> (2016f).

İnternet: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü “Yan Ürün Değerlendirme İmkânları”

<http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/biyogaz.aspx> (2016j).

İnternet: Tunay Gıda “Meyve – Sebze İşletme Sezonları”

<http://www.tunaygida.com/croptimes-tr.asp> (2016k).

İnternet: Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası “Gösterge Niteliğindeki Merkez Bankası Kurları”

<http://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/TCMB+TR/TCMB+TR/Main+Menu/Istatistikler/Doviz+Kurlari/Gosterge+Niteligindeki+Merkez+Bankasi+Kurlarii> (2016l).

İnternet: Türkiye Şeker Fabrikaları A.Ş. “Şeker Fabrikaları”

<http://www.turkseker.gov.tr/hakkimizda.aspx> (2016).

İnternet: Türkveterin Bilgi Sistemi “Erzincan İli İlçe Bazlı İşletme ve Hayvan Sayısı Mevcutları”

<http://www.turkveterin.gov.tr/> (2017).

İnternet: Wilkie, A.C. “Biyogaz Döngüsü”

<http://biogas.ifas.ufl.edu/digesters.asp> (2007).

Kaya, D., Öztürk, H. H., “Biyogaz Teknolojisi Üretim – Kullanım - Projelendirme”, *Umutepe Yayınları*, İstanbul, (2012).

Koçer Nacar, N. , Öner, C. ve Sugözü, İ., “Türkiye’de Hayvancılık Potansiyeli Ve Biyogaz Üretimi”, *Fırat Üniversitesi Doğu Anadolu Araştırmaları Merkezi*, 17-20 (2006).

Kossmann, W., Pönitz, U., “Biogas Digest, Biogas Basics Volume I” *Information and Advisory Service on Appropriate Technology (ISAT)*, Germany, (1999).

Lampinen, A., “Biogas Developments In Finland”, *Baltic States Seminar On Bioenergy*, Estonia, (2007).

Lübken, M., Wicherna, M., Schlattmann, M., Gronauerb, A., Horna, H., “Modelling the energy balance of an anaerobic digester fed with cattle manure and renewable energy crops”, *Institute of Water Quality Control, Science Direct, Water Research*, 4085-4096 (2007).

Marchaim, U., “Biogas Processes for Sustainable Development”, *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, Rome, (1992).

Martineau, V., Worley, J., “Introduction to Biogas”, *Rosalie Forest Eco Lodge ECOFEST*, Dominica, (2009).

Onurbaş Avcıoğlu, A., “Tavukçuluk Atıklarından Biyogaz Eldesi Ve Kullanım Olanakları” *Tavuk Gübresinin İşlenerek Değerlendirilmesi Semineri*, Ankara, (2010).

Onurbaş Avcıoğlu, A., Türker, U., Atasoy, Z., Koçtürk, D., “Tarımsal Kökenli Yenilenebilir Enerjiler - Biyoyakıtlar”, *Nobel Yayınevi*, Ankara, 519 (2011).

Onurbaş, A., “Tarımda Kullanılan Sabit Patlamalı Motorlarda Çeşitli Gaz Yakıtların Kullanımını Sağlayacak Karıştırıcı Geliştirilmesi”, *TÜBİTAK Doğa Dergisi*, 17 (2): 559-568 (1993).

Rapport, J., Zhang, R., Jenkins, B.M., Williams, R.B., “Current Anaerobic Digestion Technologies Used for Treatment of Municipal Organic Solid Waste”, *California Environmental Protection Agency*, (2008).

Rutz, D., Canssen, R., “Biofuel Technology Handbook”, *WIP Renewable Energies*, Germany, 114 (2007).

Sözer, S., Yıldız, O., “Sığır Gübresi ve Peynir Altı Suyu Karışımlarından Biyogaz Üretimi Üzerine Bir Araştırma”, *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 179-183 (2006).

Worrell, W.A., Vesilind, P.A., “Solid Waste Engineering”, *Cengage Learning*, USA, 321 (2011).

Yıldız, O., “Organik Atıklardan Biyogaz Üretim Tekniği”, *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü*, (2005).

Yokuş, İ., “Sivas İlindeki Hayvansal Atıkların Biyogaz Potansiyeli”, Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 22-23 (2011).



ÖZGEÇMİŞ

1991 yılında Erzincan'da doğdu. İlköğretimini Erzincan Güvenlik İlköğretim Okulu'nda tamamladı ve 2009 yılında Erzincan Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2013 yılında Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 2014 yılında Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilimdalı'nda yüksek lisans eğitime başladı. 2015 yılından itibaren Oltan ve Köleoğlu Elektrik ve Enerji Üretimi Tic. A.Ş.'de yenilenebilir enerji yatırımları (güneş, rüzgar, biyokütle) üzerine çalışmalarını sürdürüyor.

