

**T.C.
SİİRT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SİİRT VE BATMAN İLLERİNİN BİYOGAZDAN ELEKTRİK ENERJİSİ
ÜRETİM POTANSİYELLERİNİN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Görkem TOPRAKÇIOĞLU
(143103008)**

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Selçuk YILDIRIM

**MAYIS-2016
SİİRT**

TEZ KABUL VE ONAYI

Görkem TOPRAKÇIOĞLU tarafından hazırlanan “Siirt ve Batman İllerinin Biyogazdan Elektrik Enerjisi Üretim Potansiyellerinin Belirlenmesi” adlı tez çalışması 17/05/2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliğiyle Siirt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

.....

.....

Danışman

.....

.....

Üye

.....

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Doç. Dr. Koray ÖZRENK
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin içerdiği yenilik ve sonuçların başka bir yerden alınmadığını, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

İmza

Görkem TOPRAKÇIOĞLU



Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖNSÖZ

Dünyada talep edilen enerjinin hızla artması sebebiyle ihtiyaç duyulan yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi gün geçtikçe artmaktadır. Mevcut enerji kaynaklarının çok kısa zamanda tükeneceği bilimsel bir gerçektir. Buna ilaveten artan nüfus ve enerji talebine bağlı olarak dünyanın emisyon değerinin mevcut sınırlar içinde tutulması mümkün değildir. Bu kirliliğin devam etmesi durumunda dünya sıcaklığının artacağı ve deniz seviyesinin yükseleceği vb. sonuçlar tüm dünyada enerji üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını kaçınılmaz hale getirmiştir. Enerji temini açısından %70'in üzerinde yurt dışına bağlı olan ülkemizde; alternatif, yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi çok daha fazladır.

Bu kapsamda atıkların doğru ve stratejik bir yaklaşımla idare edilmesi, alternatif yenilenebilir enerji kaynaklarının tercih edilmesi çok önemlidir. Bu çalışmada alternatif enerji kaynaklarından biyokütle ile metan gazı elde ederek elektrik ve enerji üretimi konusu ele alınmıştır.

Çalışmam süresince her türlü yardım ve fedakârlığı sağlayan, bilgi, tecrübe ve güler yüzü ile çalışmama ışık tutan, tez danışmanım Sayın Hocam Prof. Dr. Selçuk YILDIRIM'a, tüm eğitim hayatım boyunca benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen her zaman yanımda olan sevgili aileme teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Görkem TOPRAKÇIOĞLU
SİİRT-2016

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
TABLolar LİSTESİ.....	vii
KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Biyogaz Üretiminin Tarihsel Gelişimi.....	2
1.2. Biyogazın Özellikleri	4
1.3. Biyogazın Avantajları	5
1.4. Biyogazın Dezavantajları.....	5
1.5. Biyogaz Üretiminde Kullanılabilecek Hammaddeler	6
2. TÜRKİYE’DEKİ BİYOĞAZ TESİSLERİ.....	9
2.1. Türkiye’de Biyogaz Üretimi İçin Kullanılan Hayvansal ve Tarımsal Atıklar	9
2.1.1. Hayvansal atıklar	9
2.1.2. Tarımsal atıklar.....	11
2.1.2.1. Sebzelerin biyogaz potansiyeli:.....	13
2.2. Türkiye’deki Biyogaz Tesislerinin Mevcut Durumu	16
3. BİYOĞAZDAN ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİLMESİ.....	19
3.1. Biyogaz Üretim Aşamaları.....	19
3.1.2. Asit oluşum aşaması	21
3.1.3. Metan oluşum aşaması	21
3.2. Biyogaz Üretimini Etkileyen Parametreler	22
3.2.1. Hammaddeye bağlı parametreler.....	22
3.2.1.1. Hammadde cinsi	22
3.2.1.2. Karbon/Azot (C/N) oranı.....	23
3.2.1.3. Kuru madde miktarı.....	24
3.2.2. Prosese bağlı parametreler.....	24
3.2.2.1. Ortam asitliği (pH).....	24
3.2.2.2. Fermentörün yükleme oranı ve bekleme süresi.....	25
3.2.2.3. Ortam sıcaklığı	25
3.2.2.4. Partikül büyüklüğü	25

3.3. Biyogazın Enerjiye Dönüşüm Yolları.....	26
3.3.1. Biyogazın içten yanmalı motorlarda kullanımı	26
3.3.2. Dizel motorlarda biyogaz kullanımı	27
3.4. Kojenerasyon Sistemi ile Biyogazdan Elektrik Enerjisi Üretimi.....	28
3.4.1. Kojenerasyon sistemi.....	28
3.4.2. Gaz ve/veya buhar türbini kojenerasyonu	30
3.4.2.1. Mikrogaz türbini	31
3.4.3. Gaz motoru ya da dizel motor kojenerasyonu	32
3.4.4. Kojenerasyon sisteminde kullanılan yakıtlar.....	33
3.4.5. Kojenerasyon sisteminin avantajları.....	33
4. BATMAN İLİNİN BİYOGAZ POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ	35
4.1. Batman'ın Coğrafi Konumu	35
4.2. Batman İlindeki Bazı Hayvanların Atık Miktarları	36
4.3. Batman İlindeki Hayvansal Atıklardan Biyogaz Üretim Kapasitesinin Belirlenmesi.....	38
4.4. Batman İlindeki Tarımsal Atık Miktarları ve Biyogaz Üretim Kapasitesi	39
5. SİİRT İLİNİN BİYOGAZ POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ	43
5.1. Siirt İlinin Coğrafi Konumu.....	43
5.2. Siirt ilindeki Bazı Hayvanlardan Elde Edilen Atık Miktarları.....	43
5.3. Siirt İlinin Hayvansal Atıklardan Biyogaz Üretim Kapasitesinin Belirlenmesi	43
5.4. Siirt İlinin Tarımsal Atık Miktarları ve Biyogaz Üretim Kapasitesi	44
6. ÖRNEK BİYOGAZ TESİSİ KURULUMU	47
6.1. Siirt'in Kurtalan İlçesinde Bir Biyogaz Tesisinin Kurulumu	47
6.2. Tesis Tipinin Belirlenmesi	47
6.3. Tesisin Kapasitesinin Belirlenmesi	48
6.4. Tesisin Kurulum Materyalleri	49
6.4.1. Reaktör	49
6.4.2. Yükleme ünitesi	50
6.4.3. Karıştırıcı.....	50
6.4.4. Isı üretim ünitesi.....	51
6.4.5. Gaz depolama ünitesi	51
6.4.6. Seperatör	52
6.4.7. Yanma ünitesi.....	52
6.4.8. Kojeneratör Ünitesi	52

6.5. Tesis İçin Fiyatlandırma.....	53
6.5.1. Tesis kurulumu için alt yapı hazırlığı ve maliyeti.....	53
6.5.2. Tesisin kurulumu için gerekli materyallerin listesi ve fiyatlandırılması.....	55
6.6. Tesisin İşletme Maliyetleri.....	55
6.7. Tesisin Yıllık Olarak Elde Edeceği Kar ve Amortisman Hesabı.....	57
6.7.1. Tesisin kurulum ve işletme giderleri.....	57
6.7.2. Tesisin yıllık geliri.....	57
7. SONUÇLAR	59
8. KAYNAKLAR.....	61
9. KİŞİSEL BİLGİLER.....	65



TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1. Biyogaz bileşenleri ve bulunma miktarları(Sabuncu, 2010).....	2
Tablo 1.2. Çeşitli materyallerin TK, UK oranları ve biyogaz verimleri(Buğutekin, 2007).....	7
Tablo 1.3. Madde bazında biyogaz üretim miktarları (m ³ biyogaz/ton hammadde).....	7
Tablo 2.1. Yıllara göre Türkiye'deki büyükbaş hayvan sayıları(HAYGEM, 2015).....	10
Tablo 2.2. Yıllara göre Türkiye'deki küçükbaş hayvan sayıları(HAYGEM, 2015).....	10
Tablo 2.3. Yıllara göre Türkiye'deki kanatlı hayvan sayıları(HAYGEM, 2015).....	11
Tablo 2.4. Farklı tahıl türlerinden elde edilmesi mümkün atık miktarları	12
Tablo 2.5. Şekerpancarı yapraklarının metan içeriği(Türk-Alman-Biyogaz Projesi Raporu, 2011).....	13
Tablo 2.6. Meyve suyu üretim prosesine giden meyve miktarları, 2005 -2008 (1000 ton) (Türk-Alman-Biyogaz Projesi Raporu, 2011).....	14
Tablo 2.7. Dünyadaki Biyogaz Tesis Sayıları (Türk-Alman-Biyogaz.....	17
Tablo 2.8. Sektörlere göre biyogaz tesislerinin durumu(Türk-Alman-Biyogaz Projesi Raporu, 2011).....	17
Tablo 3.1. Çiftlik gübresinin gaz verimi ve metan verimi(Pouech ve Ark., 2000).....	22
Tablo 3.2. Bitkisel ürünlerin gaz verimi ve metan verimi (Pouech ve ark., 2000).....	23
Tablo 3.3. Zorg biyogaz üretim tesisinden elde edilen biyogaz verimleri(Zorg biyogaz üretim sistemleri, 2015).....	23
Tablo 3.4. Bazı materyallerin C/N oranları (Pound vd, 1981; Stuckey, 1981).....	24
Tablo 4.1. Batman ili ve ilçeleri için büyükbaş hayvan sayıları(Batman İli Tarımsal Yatırım Rehberi, 2015).....	36
Tablo 4.2. Batman için küçükbaş hayvan sayıları(Batman İli Tarımsal Yatırım Rehberi, 2015).....	36
Tablo 4.3. Batman için kanatlı hayvan sayıları(Batman İli Tarımsal Yatırım Rehberi, 2015).....	36
Tablo 4.4. Büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvanların yıllık dışkı miktarları	37
Tablo 4.5. Büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvan dışkılarındaki biyogaz miktarı(Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2015)	37
Tablo 4.6. Büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvanların dışkı toplanma oranları.....	37
Tablo 4.7. Batman ili ve ilçeleri günlük büyükbaş hayvanlar için biyogaz üretim değerleri ..	38
Tablo 4.8. Batman ili ve ilçeleri için günlük küçükbaş hayvanlar için biyogaz üretim değerleri	38
Tablo 4.9. Batman ili ve ilçeleri için günlük kanatlı hayvanlar için biyogaz üretim değerleri ..	38
Tablo 4.10. Batman ili tarım alanları ve üretim miktarları(Batman İli Tarımsal Yatırım Rehberi, 2015).....	39
Tablo 4.11. Batman ili tarım ürünleri üretim alanları, miktarları ve verimleri(Batman İli Tarımsal Yatırım Rehberi, 2015)	39
Tablo 4.12. Farklı tahıl türlerinden elde edilen artık miktarları(Türk-Alman Biyogaz Projesi Raporu, 2011).....	40
Tablo 4.13. Çeşitli bitki atıklarının biyogaz verimleri(Sabuncu, 2010).....	41
Tablo 4.14. Batman ili için çeşitli bitki atıklarından elde edilen yıllık metan miktarı.....	41
Tablo 4.15. Batman ilinin sahip olduğu günlük toplam biyogaz potansiyeli.....	41
Tablo 5.1. Siirt ili geneli büyükbaş ve küçükbaş hayvan sayıları(Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi, 2015).....	43
Tablo 5.2. Siirt ili için hayvansal atıklardan elde edilen biyogaz miktarı.....	43
Tablo 5.3. Siirt ilinin kullanım durumuna göre arazi dağılımı(Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi, 2015).....	44
Tablo 5.4. Siirt ilinin tarım arazilerinin kullanım durumuna göre sınıflandırılması(Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi, 2015)	45

Tablo 5.5. Siirt ilinde yem bitkilerinin ekiliş ve üretim durumu(Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi, 2015).....	45
Tablo 5.6. Siirt ili için bitkisel atıklardan elde edilecek biyogaz miktarı	46
Tablo 5.7. Siirt ilinin sahip olduğu günlük biyogaz potansiyeli	46
Tablo 6.1. Biyogaz tesisinin yıllık atık ihtiyacı ve üretilen güç, elektrik güç kapasitesi	48
Tablo 6.2. Tesiste kullanılacak olan atık ve oluşturacakları gaz miktarları (günlük).	49
Tablo 6.3. Tesis için yıllık madde giriş, çıkışı(sıvı-katı) ve depolama kapasitesi	49
Tablo 6.4. Tesiste elektrik üretimi için kullanılacak olan kojeneratörün teknik özellikleri.....	53
Tablo 6.5. Tesis kurulumu için alt yapı çalışmaları	54
Tablo 6.6. Biyogaz üretimi için gerekli teknolojik ekipmanların fiyat listesi.....	55
Tablo 6.7. Tesis için gerekli olan yıllık toplam atık miktarı ve fiyatlandırılması	56
Tablo 6.8. Biyogaz üretim tesisi için işletme maliyeti	56
Tablo 6.9. Biyogaz üretim tesisi için yıllık giderler tablosu	57
Tablo 6.10. 29.12.2010 tarihli 5346 sayılı yenilenebilir enerji kaynaklarının oluşturduğu elektrik alım fiyatları	57
Tablo 6.11. Yıllık gelir tablosu	58



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Tarım arazilerinin kullanım yüzdesi ve dağılımı(Türk-Alman-Biyogaz Projesi Raporu, 2011).....	11
Şekil 1.2. Tahıl arazilerinin tahıl çeşitlerine göre kullanım dağılımı(Türk-Alman-Biyogaz Projesi Raporu, 2011).....	12
Şekil 1.3. Türkiye’de en çok üretilen sebzelerin dağılımı(Türk-Alman-Biyogaz Projesi Raporu, 2011).....	13
Şekil 3.1. Anaerobik çürüme kademeleri	19
Şekil 3.2. Biyogaz oluşum aşamaları	20
Şekil 4.1. Batman ve Siirt İl Haritaları	35
Şekil 6.1. Siirt ili, Kurtalan ilçesi	47
Şekil 6.2. Biyogaz üretim tesisinin resmi.....	48
Şekil 6.3. Örnek Biyogaz Tesisi.....	48
Şekil 6.4. Zorg biyogaz üretim sistemlerinin tesislerinde kullandığı bir tür reaktör	50
Şekil 6.5. Zorg biyogaz üretim sistemlerinin tesislerinde kullandığı bir tür yükleme ünitesi .	50
Şekil 6.6. Zorg biyogaz üretim sistemlerinin kurulumunu gerçekleştirdiği bir gaz deposu	51
Şekil 6.7. Zorg biyogaz üretim sistemlerinin tesislerinde kullandığı bir tür seperatör	52
Şekil 6.8. Agenitor marka bir kojeneratör(Agenitor kojenerasyon makine kataloğu)	53
Şekil 6.9. İsviçre de alt yapı çalışmaları yapılan bir biyogaz üretim tesisinin resimleri.....	54
Şekil 6.10. Biyogaz tesisinde elektrik enerjisi üretmek için kullanılacak hayvansal ve bitkisel atıklar.....	56

KISALTMALAR VE SİMGELERLİSTESİ

<u>Kısaltma</u>	<u>Açıklama</u>
CHP	: Isı-Güç Sistemleri
LPG	: Likit petrol gazı
TK	: Toplam katı
TKM	: Toplam kuru madde
UKM	: Uçucu kuru maddeler
UK	: Uçucu katı
C/N	: Karbon azot oranı
KOİ	: Kimyasal oksijen ihtiyacı
YO	: Yükleme oranı
CO ₂	: Karbondioksit
H ₂ O	: Su
CH ₄	: Metan
CH ₃ COOH	: Asetik asit
H ₂ S	: Hidrojen sülfür
CO	: Karbon monoksit
N ₂	: Azot
H ₂	: Hidrojen
O ₂	: Oksijen
pH	: Bir çözeltinin asitlik veya bazlık derecesini ifade eden ölçü birimi
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
TL	: Türk Lirası
°C	: Derece santigrat
kWh	: Kilowatt saat
Mg	: Miligram
L	: Litre
H ₂ S	: Hidrojen sülfür
m	: Metre
kcal	: Kilokalori
ppm	: Milyonda bir parçacık
vd.	: Ve diğerleri
T	: Sıcaklık
V	: Hacim
PJ	: Petajoule
TJ	: Terajoule

ÖZET

SIİRT VE BATMAN İLLERİNİN BİYOGAZDAN ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİM POTANSİYELLERİNİN BELİRLENMESİ

Görkem TOPRAKÇIOĞLU

Siirt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Selçuk YILDIRIM

2016, 65 Sayfa

Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan biyokütle enerjisi, enerji problemlerine karşı önemli bir çözümdür. Son yıllarda enerji ithalinin artan maliyetleri, çevre kirliliği ve iklim değişikliklerinin olumsuz etkileri sebebiyle hızlanan çalışmalar, biyoenerji ve biyoyakıtların gelişimine ve yaygınlaştırılmasına katkı sağlamıştır.

Bu çalışmada, Siirt ve Batman illeri arasında bulunan Kurtalan ilçesinde, günlük biyogaz kapasitesi 11.000 m³ olan ve elektrik enerjisi üretim kapasitesi 1 MW olan bir biyogaz motorlu kojenerasyon tesisinin kurulumu amaçlanmıştır. Siirt ve Batman illerindeki hayvansal ve bitkisel atıklara ulaşımın kolay olması sebebiyle biyogaz tesisinin Kurtalan ilçesinde kurulması önerilmiştir.

Bunun için öncelikle, Siirt ve Batman illerinin hayvansal atık ve yetiştirilen bazı bitkisel ürünler yönünden sahip oldukları biyogaz potansiyelleri belirlenmiştir. Kurulması düşünülen tesis için; Siirt ile Batman yöresindeki yaklaşık olarak 5 bin adet büyükbaş hayvandan günlük 80 ton büyükbaş hayvan atığının kullanılması ve bu yörede yetiştirilen tarımsal atıklardan elde edilen günlük 4,93 ton mısır silajı, arpa ve buğday sapının kullanılması planlanmıştır.

Bu çalışma sonucunda, Siirt ve Batman yöresindeki çeşitli hayvansal ve bitkisel atıklardan önemli miktarda biyogaz elde edilebileceği ve dolayısıyla bu bölgenin biyogazdan elektrik enerjisi üretimi için büyük bir potansiyele sahip olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir enerji, biyokütle, biyogaz, biyoyakıtlar, enerji üretimi.

ABSTRACT

TO DETERMINE THE POTENTIAL OF PRODUCED ELECTRICITY ENERGY BY USING BIOGAS AT PROVINCES BATMAN AND SİİRT

Görkem TOPRAKÇIOĞLU

**The Graduate School of Natural and Applied Science of Siirt University
Department of Electrical-Electronics Engineering**

Supervisor : Prof. Dr. Selçuk YILDIRIM

2016, 65 Pages

One of the renewable energies, biomass energy is an important solution contrary to the energy problems. In recent years, increasing primary energy importation costs, environmental pollution and negative effects of climate change, studies have been accelerated, development and dissemination of bioenergy and biofuel have occurred.

At this study, has been purposed to build a biogas plant with cogeneration engine, which has got a daily 11.000 m³ biogas production potential and also has got a 1 MW production of electricity energy in Kurtalan district located between Siirt and Batman provinces. The reason of the build this plant in district Kurtalan is easy to obtain waste of animals and agriculturals at this area.

Initially for this reason, has been determined to biogas potentials the waste of some agricultural crops and animals which are grown between Siirt and Batman provinces. For plant that will be built, has been planned to use 80 ton waste from 5.000 cattlies and 4,93 ton agricultural wastes from stalkes of the corn, barley and wheat in this region.

End of this study, has been understood to produce considerable amount of biogas in Batman and Siirt region, thus it has been understood pretty much potential of the electricity energy by using biogas.

Keywords: Alternative energy, biomass, biogas, biofuels, renewable energy.

1. GİRİŞ

Enerji, çağımızda en önemli tüketim maddelerinden biri ve vazgeçilmez bir uygarlık aracıdır. Gelişmişlik düzeyi yüksek ülkelerin en önemli ihtiyaçlarının başında gelen enerji tüketimi, sürekli artmakta ve bu artış gelecekte de devam etmektedir. Bugün sahip olduğumuz teknolojik gelişmelerin devam etmesi ve sunduğu imkanların yaşamımızda sürmesi için doğrudan ve dolaylı olarak enerji tüketmek zorundayız. Tüketmek zorunda olduğumuz enerjinin bugün büyük bir çoğunluğu fosil yakıtlarından, geri kalanı ise nükleer ve yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmaktadır. Fosil yakıt kullanımının çevre ve insan sağlığına verdiği tüm dünya üzerindeki zararları, önlem alınmazsa bu zararların telafisi için gelecekte yaşayacak insanların ödeyeceği bedelin çok büyük boyutlara erişeceğini kaçınılmaz olacaktır (Uyar, 2001).

Enerji üretiminde fosil kaynak kullanımının devam edebilme olanağının kalmadığı, kabul edilmesi gereken bir gerçektir. Bu durumda, sanayinin gelişmeye başlaması ile kullanımı giderek artan, kalkınma ve sanayileşme yolunda verdiği zararlar, önceleri göz ardı edilen bu enerji kaynaklarının yerine çevremizin kendi doğal ürünü olan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasının arttırılması gerçeği her geçen gün daha iyi anlaşılmaktadır. Hava, su, toprak kirliliğinden bitki örtüsünün ve hayvanların yok olmasına kadar uzanan çevre sorunları, bu sorunlardan etkilenen insanlarda gelecek kaygısı uyandırmış, bu kaygı ile beraber, çevrenin korunmasına karşı hassasiyet de giderek artmaya başlamıştır.

Biyogaz, biyokütlenin havasız ortamda çeşitli bakteri gruplarının ortak faaliyetleri sonucunda çürütülmesi esnasında ortaya çıkan bir gazdır. Bu bakteri grupları çürüyebilecek biyokütlenin içerisinde bol miktarda bulunabilmekte ve uygun ortam koşullarını bulduklarında aktif hale gelerek çürütme işlemini gerçekleştirmektedirler. Havasız çürütme için uygun ortam koşulları doğada özellikle yaz şartlarında kolayca sağlanabildiği için biyogaz doğada kendiliğinden oluşabilmektedir. Günümüzde kullandığımız doğalgazdan çok önceki zamanlarda toprak altında kalmış biyokütlenin biyogaza, oluşan biyogazın da uzun yıllar içinde doğalgaza dönüşmesiyle oluşmuştur. Biyokütlenin biyogaza dönüşümü esnasında atıktan elde edilen enerjinin %10-12'si yeni hücrelerin üretiminde kullanılmakta iken, biyolojik olarak çözünebilen organik maddelerin %85-90'i metan ve diğer son ürünlere dönüştürülmektedir (McCarty, 1964).

Oksijensiz çürüme sonucunda biyogaz oluşurken beraberinde organik açıdan zengin gübre de oluşmaktadır. Dolayısıyla başlangıçta çevresel kirletici konumunda olan biyokütle, biyogaz gibi değerli bir gaz ve çevre dostu bir organik gübreye dönüşmüş olur. Ayrıca, biyogaz yanıcı bir gazdır ve bu özelliği sebebiyle bir enerji kaynağı olarak değerlendirilebilmektedir. Biyogaz; oksijensiz ortamlarda, bitkisel ve hayvansal atıklar gibi organik atıkların fermantasyonu sonucu oluşan, bileşiminde %60-70 metan, %30-40 karbondioksit ile az miktarda hidrojen sülfür, hidrojen, karbon monoksit ve azot içeren renksiz ve yanıcı bir gaz karışımıdır (Aslanlı, 2009). Tablo 1.1'de biyogaz bileşenleri ve bulunma miktarları gösterilmiştir.

Tablo 1.1. Biyogaz bileşenleri ve bulunma miktarları (Sabuncu, 2010)

Bileşenler	Miktar (%)
Metan (CH ₄)	55-75
Karbondioksit (CO ₂)	30-45
Hidrojen Sülfür (H ₂ S)	1-2
Azot (N)	0-1
Hidrojen (H ₂)	0-1
Karbon monoksit (CO)	Eser miktarda
Oksijen (O ₂)	Eser miktarda

Günümüzde, biyogaz üretimi için hayvansal, bitkisel, evsel ve endüstriyel atıkların organik özellik taşıyan bileşenlerinden yararlanılmaktadır. Bu atıkların oksijensiz ortamda, belli koşullar altında, farklı mikroorganizma gruplarının yardımıyla biyogaza dönüşümü sağlanmaktadır; geriye kalan kısım ise verimli bir gübre kaynağı olarak değerlendirilmektedir (Aslanlı, 2009).

1.1. Biyogaz Üretiminin Tarihsel Gelişimi

Varlığının bilinmesi ve kullanılması milattan öncesine dayanan biyogaz teknolojisi, en eski teknolojilerden birisidir. Biyogaz, Asurlular tarafından M.Ö. 1000 yıllarında sıcak su temininde kullanılmaya başlamıştır. M.S. 23–79 yılları arasında yaşayan Plinius, bataklıkların üzerinde titreyerek yanan alevlerden bahsetmektedir. 17. yüzyılda Jan Baptista Van Helmont, yanıcı gazların organik maddelerin bozunmasıyla ortaya çıktığını açıklamıştır. 1682 yılında Robert Böyle, hayvansal ve bitkisel atıkların çürütülmesiyle gaz üretimi oluştuğunu belirtmiştir. Kont Alessandro Volta 1776'da, bozunan organik madde miktarı ile üretilen yanıcı gaz miktarı arasında bir ilişki olduğunu ifade etmiştir. Sir Humphry Davy 1808'de,

büyükbaş hayvan atığının anaerobik fermantasyonu ile metan üretimini ispatlamıştır. İlk endüstriyel boyutta, yaklaşık 10 m³ hacminde tarımsal biyogaz üretim tesisi, Cezayir’de Isman ve Ducellier tarafından 1837 yılında kurulmuş ve katı atıkla işletilmiştir. Sistemin geliştirilmesi, ikinci dünya savaşı sırasında durdurulmuştur (Türker, 2008).

İlk anaerobik çürütme tesisi, 1859 yılında Hindistan’ın Bombay şehrinde yapılmıştır. Aralık 1881 ve Ocak 1882 yılında M. Louis Mauras, havasız bir kap içerisindeki partiküler organik maddenin, anaerobik olarak sıvılaştırılabileceğini gösteren çalışmasını Fransız dergisi Cosmos’da yayınlamıştır. Pasteur’ün öğrencilerinden Gayon, 1884 yılında hayvan gübresi ile anaerobik çürütme deneyleri yapmıştır. Pasteur, 35°C’de toplanan gaz hacminin büyüklüğünü görünce, gübrenin anaerobik fermantasyonu ile elde edilen gazın, ısıtma ve aydınlatmada kullanılabileceği sonucuna varmıştır. 1895’de İngiltere’de atık su arıtma sistemlerinden elde edilen biyogaz sokakların ışıklandırılmasında kullanılmıştır (Güç, 2010).

Biyogaz teknolojisinin 1930’lu yıllardaki gelişimi, bu teknolojinin mikrobiyolojisi üzerine yoğunlaşmıştır. Buswell ve arkadaşları (1930), biyogaz üretiminin artışında etkili anaerobik bakteriler ve bu bakterilerin uygun yaşam şartlarını belirlemişlerdir. Önceleri biyogaz üretiminde anaerobik havuzlar kullanılırken, 1920’li yıllardan sonra, verimde artış sağlayan düzenekler üzerine çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Biyogaz sistemine kapalı tanklar, karıştırıcı paletler ve bakterilere uygun sıcaklığı oluşturmak için ısıtma sistemleri eklenmiştir. 2. Dünya Savaşı döneminde vergilerin artması ve savaş hali gibi sebeplerden dolayı, biyogaz sistemleri unutulmaya yüz tutmuştur. Bu dönemlerde gelişmiş ülkelerin yüz çevirmesine karşın, gelişmekte olan Çin ve Hindistan gibi ülkelerde, biyogaz tesislerinin sayısında önemli artışlar olmuştur (Güç, 2010).

20. yy başlarında meydana gelen en önemli iki gelişme, anaerobik temas işleminin gelişmesi ve çürütücülerin karıştırılmasıdır. Karıştırma yöntemiyle, yüksek hızlı çürütücüler ortaya çıkmış ve bakteri ile atığın teması artmıştır. Stander, reaktörü terk eden akım ile bakterinin reaktöre geri döndürülmesi işleminin, reaktörde alıkonma süresini azalttığını deneysel olarak göstermiş ve daha sonra endüstriyel alanda uygulamıştır. Schroepfer ve arkadaşları 1955’de, reaktör çıkışına, aktif çamurdan çökeltme tankı ilave etmişler ve hidrolik alıkonma süresinin yirmi günden bir güne gerilediğini göstermişlerdir. Son yirmi yıldaki gelişmelerin en önemlilerinden biri ise, yukarı akışlı anaerobik çamur yatak (upflow anaerobic sludge blanket, UASB) reaktörlerinin geliştirilmesidir. Günümüzde, bu tip reaktörler anaerobik arıtmada en yaygın olarak kullanılmaktadır (Türker, 2008).

Asya ülkelerinde kırsal kesimin ihtiyacını karşılayan küçük ölçekli ilkel sistemlerle, Avrupa ve Amerika’da teknolojik gelişmeler ile biyogaz sistemlerinin bütünleşerek, üretilen

gaz miktarındaki artış üzerine çalışmalar yapılmıştır. Özellikle büyük hacimli sistemler ve bu sistemlerin verimliliği üzerine araştırmalar yapılarak, optimizasyon parametreleri belirlenmeye çalışılmıştır.

Dünyada biyogaz üretimi ve kullanımı giderek gelişmektedir. Hayvan gübresinden elde edilen biyogaz tesis oranları dikkate alınırđa dünyadaki tesislerin %80'i Çin'de, %10'u ise Hindistan, Nepal ve Tayvan'da bulunmaktadır.

Avrupa'da 2006 yılı sonu itibariyle, yaklaşık 3500 adet biyogaz tesisinde, toplam elektrik üretim kapasitesi 1100 MW civarındadır. Günümüzde sadece Almanya, Danimarka ve Avusturya'da yaklaşık 5000 adet biyogaz tesisi işletilmektedir. 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. Yapılan bu iyileştirmeler, bölgesel enerji ihtiyacının karşılanmasında, uzun vadede devletin yükünü hafifletmekte ve üretilen fazla enerjinin şebekeye aktarılarak üreticinin gelir elde etmesini sağlamaktadır.

1.2. Biyogazın Özellikleri

Organik atıkların, oksijensiz ortamda fermantasyonu sonucu ortaya çıkan biyogaz; renksiz, kokusuz, havadan hafif, parlak mavi bir alevle yanan, oktan sayısı yaklaşık olarak 110, yoğunluğu 1,21 kg/m³, yanma sıcaklığı 700 °C, alev sıcaklığı ise 870 °C olan bir gaz karışımıdır. Biyogaz, ancak 164 °C'de sıvı hale gelebilen ve kolayca bozunmayan sabit bir yapıya sahiptir (Aslanlı, 2009).

Biyogazın içerdiği gazların bileşimi; reaktörde beslenen maddenin özelliklerine, sıcaklığa, hammaddenin su içeriğine, reaktöre yükleme hızına, sistemin işletim şartlarına ve reaktördeki bakteriyel faaliyetlere bağlı olarak değişmektedir. Bu parametreler, biyogazdan elde edilebilecek enerji miktarını da etkilemektedir. Biyogazın yakıt değerı, karışımın en önemli bileşeni olan metan gazıyla doğrudan ilişkilidir. Metan gazının ısıl değerı ortalama 8900 kcal/m³tür. Biyogazın ısıl değerı yaklaşık 4700-5700 kcal/m³ (17-25 MJ/m³) aralığında olup, bileşimindeki metan oranına bağlı olarak değişmektedir. %50'den daha az metan içeren biyogaz bileşimlerinde, verimli bir yanma sağlanamamaktadır (Aslanlı, 2009).

1.3. Biyogazın Avantajları

Biyogaz sistemlerinin sağlayacağı yararlar beş kategori altında toplanabilir:

a) Enerjiyle ilgili yararlar: Yenilenebilir enerji üretimi sayesinde ticari ve ticari olmayan yakıtların yerine geçer. Böylece, ülke ve birey ekonomisine finansal yararlar sağlar (Mendis ve Van Nes, 2001).Lokal enerji üretimi sonucunda enerji iletim kayıpları azalır (Anon.,1999; Boyd, 2000; Dennis ve Burke, 2001).

b) Gübrelemeyle ilgili yararlar: Anaerobik fermantasyondan sonra geriye kalan atık organik gübre olarak adlandırılır. Beslemede kullanılan materyalin katı maddesinin yaklaşık %70'ini oluşturan elementler, fermantasyondan sonra miktarları ve yapıları değişmeden kalırlar. Fermente gübre içerisinde bulunan azot başlıca amonyum formundadır (Arnott, 1985). Bu form bitkilerin gelişimi açısından daha uygundur (Sasse, 1988). Çin'de yapılan çalışmalarda fermente hayvansal atıkların, fermente olmamışların kullanımına göre tarımsal verimliliği %10–30 oranında arttırdığı rapor edilmiştir (Sasse, 1988; Marchaim, 1992).

c) Kalkınmayla ilgili yararlar: Biyogaz sistemleri kırsal kesim yaşam standartlarının gelişmesini sağlar. Ayrıca yerel tesisat ve inşaat çalışanlarının gelir ve bilgilerinin artmasına neden olur. Kırsal kesimden oluşan göçü azaltır (Kishore ve ark., 1987).

d) Ekonomik yararlar: Biyogaz sistemleri, kurulduğu bölgelerde tasarrufların ve gelirin artışına neden olur (Gustavsson, 2000; Boyd, 2000). Lokal enerji ve gübre üretimi sayesinde, genel ekonomik dalgalanmalardan etkilenmesini azaltır. Makro seviyede enerji ve gübrede dışa bağımlılığı azaltır (Arnott, 1985).

e) Çevresel yararlar: Koku problemi yaratan amonyak emisyonu anaerobik prosesler sayesinde azalır. Biyogaz sistemleri, çevre kirliliğinin büyük ölçüde azalmasını sağlar (Dennis ve Burke, 2001). Biyogaz sistemleri sayesinde, çeşitli mikropların ve zararlıların üremesi için ortam hazırlayan atıklar, değerlendirilerek bertaraf edilmiş olur (Arnott, 1985).

1.4. Biyogazın Dezavantajları

Biyogaz sistemlerinin potansiyel zararları ve dezavantajları, çevresel, sağlıkla ilgili ve sosyo-ekonomik olmak üzere üç başlık altında toplanabilmektedir. Kurulum ve işletim aşamasında alınacak basit önlemlerle engellenebilecek olan bu dezavantajlar şunlardır:

a) Çevre açısından potansiyel zararlar: Besleme materyalindeki azot, amonyumun organik formuna dönüşmektedir. Amonyum, amonyak veya nitrate dönüşmektedir. Nitrat toprak altına süzülerek, yeraltı sularının kirlenmesine neden olabilir. Yine de mineral ve kompost gübrelere

göre nitrat kirlenmesi yaklaşık % 10-20 daha azdır (Easterly ve Lowenstein,1986; Dalemo ve ark., 1998; Leggett ve ark., 2002).

b) Sağlıkla ilgili potansiyel zararlar: Atıklardan kaynaklanan sağlık problemleri, biyogazın zehirlenme, patlama ve yangın riski söz konusudur(Anon, 2000a; Seadi, 2001; Nelson ve Lamb, 2002; Monnet, 2003).Özellikle belediye atıklarının kullanıldığı tesislerde, tesis çalışanlarına havada bulunan bakteriler nedeniyle sindirim sistemiyle ilgili hastalıklar bulaşabilmektedir (Ivens ve ark., 1997).

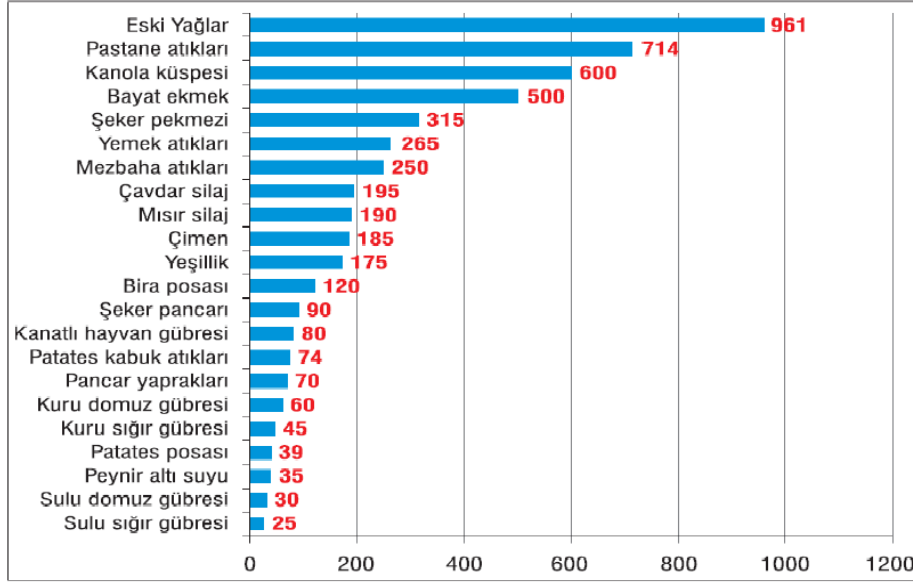
c) Sosyo-ekonomik dezavantajlar: Biyogaz tesislerinin ilk yatırım maliyetleri yüksektir. İşletilmesinde özen ve teknik bilgi gereklidir. Periyodik bakım zorunludur (Leggett ve ark., 2002). Biyogaz tesisleri, kullanıcıların ellerinde bulunan hayvan sayısının sabit olduğu varsayımı üzerine kurulmaktadır. Fakat atık miktarında düşüş olursa, başka atıkların kullanılmasıyla bu problem çözülebilmektedir (Vijayalekshmy, 1985).

1.5. Biyogaz Üretiminde Kullanılabilecek Hammaddeler

Tarımsal, toplumsal ve endüstriyel atık/atık sular gibi çok çeşitli kaynaklar biyogaz sistemlerinde besleme materyali olarak kullanılabilir. Enerji bitkileri, algler, kültür bitkilerinin hasat sonrası atıklar aynı hayvansal atıklar gibi biyogaz üretiminde kullanılabilir. Kentsel atık ve atık sular, özellikle gıda endüstrisine ait atıklar diğer önemli kaynaklardır. Belediyelere ait atık su arıtımında anaerobik fermantasyonun kullanımı diğer uygulamalara göre daha kompleks bir yapıya sahiptir. Çünkü bu atıklar toksik maddeler ve ağır metaller içermektedir (Arnott, 1985). Fakat hayvansal atıklar anaerobik fermantasyona daha uygundur (Steffen ve ark., 1998; Boyd, 2000). Avrupa'da çalışan biyogaz sistemlerinin %89'u bu kaynağı kullanmaktadır (Boyd, 2000). Hayvansal atıklarda atık miktarları, hayvanların beslenme rejimine, büyüklüklerine ve iklim şartlarına göre değişkenlik gösterir (Vijayalekshmy, 1985).

En fazla biyogaz/metan üretilen maddeler sırasıyla organik yağlar, proteinler ve karbonhidratlardır. Proteinler ve yağlar yüksek metan oranına neden olurken, şekerler gibi oksitlenen bileşiklerin fermantasyonu sonucunda düşük metan oranı elde edilir (Chynoweth, 1987). Fermantasyon sırasında karbonhidratlar yaklaşık olarak %13, proteinler %36 ve yağlar %76 civarında değişime uğrarlar (Chynowethve Mah, 1971; Stafford ve ark., 1981). Proteinler ve yağlar, karbonhidrata göre daha uzun zamanda fermente olurlar (Klein, 2002). Tablo 1.2'de madde bazında biyogaz üretim miktarları gösterilmiştir.

Tablo 1.2. Madde bazında biyogaz üretim miktarları (m³ biyogaz/ton hammadde)
(Bujoczek ve ark., 2000)



Çeşitli materyallerin TK ve UK oranlarıyla biyogaz verimleri ise Tablo1.3'te verilmiştir.

Tablo 1.3. Çeşitli materyallerin TK, UK oranları ve biyogaz verimleri (Buğutekin, 2007)

Organikler	Biyogaz verimleri (1/kg)	Gazın İçerdiği Metan Oranı (%)
Sığır Gübresi	90-310	65
Kanatlı Gübresi	310-620	60
Buğday Samanı	200-300	62-70
Çavdar Samanı	200-300	50-60
Arpa Samanı	290-310	59
Mısır Sapları ve Artıkları	380-460	59
Keten	360	59
Kenevir	360	59
Çimen	280-550	70
Sebze Atıkları	330-360	Değişken
Ziraat Atıkları	310-430	60-70
Yer Fıstığı Kabuğu	365	-
Dökülmüş Ağaç Yaprakları	210-290	58
Alg	420-500	63
Atık Su Çamuru	310-800	65-80

Sığır atığı gibi geviş getiren hayvanların atıkları sindirim sistemindeki metan bakterileri tarafından dönüştürülemeyen maddeleri içerir. Bu nedenle biyogaz verimleri görece daha düşük olmaktadır (Karve ve ark., 2005). Sığır atığında, hayvanın sindirim sisteminden gelen metan bakterileri bulunduğu için, biyogaz üretiminde doğal aşı malzemesi olarak kullanılmaktadır (Reddy ve Rao, 1996). Sığır için günlük elde edilen atık miktarı, cinsine, ağırlığına ve barınma şekline göre 8–40 kg arasında değişmektedir. Eğer sığırlar sadece geceleri sabit tutuluyorsa elde edilen atık, toplam atığın 1/2 – 1/3'ü arasındadır (Werner ve ark., 1989).

Tavuk atığı yumurta ve et tavukçuluğuna bağlı olarak değişik karakterdedir. Yumurta tavukçuluğunda atık sürekli alınmakta ve kullanılabilir. Et tavukçuluğunda ise tavuklar kesime götürüleceği zaman barınak temizlenmekte, atığın katı madde oranı yüksek olmaktadır. Bu yüzden biyogaz üretimine daha az uygundur (Werner ve ark., 1989).

2. TÜRKİYE'DEKİ BİYOGAZ TESİSLERİ

Türkiye'de, biyogaz ile ilgili ilk çalışmalara 1957 yılında, Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü kurularak başlanmıştır. 1960'lı yıllarda biyogazla ilgili çalışmalar yoğunlaşmış ve bazı Devlet Üretim Çiftlikleri'nde pilot tesisler kurulmuştur. 1963 yılında başlatılan çalışmalarla, 5 adedi Eskişehir Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Enstitüsü'nde, 2 adedi Eskişehir'in köylerinde ve biri de Çorum deneme istasyonunda olmak üzere, toplam 8 adet biyogaz tesisi kurulmuştur. 1980 sonrasında, teknik bilgi ve finans yönünden UNICEF'in desteklediği, DPT tarafından yürütülen çalışmalar kapsamında ilk olarak, Muş-Alpaslan Devlet Üretim Çiftliği'nde 35 m³'lük bir tesisin kurulmuştur.

1984–1987 yılları arasında Köy Hizmetleri Eskişehir Araştırma Enstitüsü tarafından, Ankara ve Erzurum'da da biyogazla ilgili araştırma projeleri yürütülmüştür. Ancak, projeler arasında iletişim kopukluğu ve yetişmiş personel eksikliğinden dolayı iyi sonuçlar alınamamıştır (Güç, 2010).

Enerji ihtiyacının artması ile birlikte konvansiyonel enerji maliyetindeki artışlara paralel olarak, biyogaz teknolojisine olan ilgi yeniden artmıştır. Kentsel atık su arıtma tesis projelerinde, tesiste oluşacak arıtma çamurunun anaerobik şartlandırmasına yönelik, biyogaz üretim sistemleri de projeye dâhil edilmiştir.

2.1. Türkiye'de Biyogaz Üretimi İçin Kullanılan Hayvansal ve Tarımsal Atıklar

2.1.1. Hayvansal atıklar

Türkiye'de hayvancılık sektörü genelde, küçük çaplı çiftliklerden oluşmaktadır. Düşük verimli yerli türler çoğunlukla, çayır ve meralarda otlatılır. Küçük hayvancılık işletmeleri yüksek üretim maliyetleri ve düşük verimlere sahiptir. Hayvancılık sektörüne ilgi özellikle yabancı yatırımcılar tarafından oldukça yüksektir.

Türkiye'de hayvansal atıklara dair problem, atığın toplanması işlemleri ile birlikte başlar. Özellikle doğu bölgelerinde uzun otlatma süreleri, atığın toplanmasını zorlaştırmaktadır. Bu problemten ötürü, Türkiye'nin batısı daha verimli olarak değerlendirilebilir. Çünkü hayvanlar modern ahırlarda otlatma yapılmaksızın tutulmaktadırlar. Batı, doğuya kıyasla daha büyük çaplı çiftlik ve işletmelerle karakterize edilir. Doğu bölgelerinde hayvancılık, geçinmek için en önemli kaynaktır. Arka bahçe hayvancılığı olarak da tasvir edilen, birkaç hayvanlı işletme tipi, doğu bölgelerinin yaygın bir özelliğidir. Tablo 2.1'de yıllara göre Türkiye'deki büyükbaş hayvan sayıları gösterilmiştir.

Tablo 2.1. Yıllara göre Türkiye’deki büyükbaş hayvan sayıları (HAYGEM, 2015)

Büyükbaş Hayvan Sayıları			
Yıl	Sığır	Manda	Büyükbaş Toplam
2002	9.803.498	121.077	9.924.575
2005	10.526.440	104.965	10.631.405
2010	11.369.800	84.726	11.454.526
2015	14.595.506	135.984	14.731.490

Hayvan atıklarının toplanması ise genelde, ahır içerisinde bulunan çukurlarda yapılır, çukurda toplanan bu atıklar daha sonra çiftlikten su ile birlikte atılır. Bu sulandırılmış atığın, ahır dışındaki depo sahalarında geçici olarak depolanması gereklidir. Fakat bu geçici depo sahalarının genelde standartlarda belirtilen geçirimsizlik özelliği yoktur ve bu durum yer altı sularının kirlenmesine sebep olan büyük bir çevresel soruna yol açmaktadır. Tablo 2.2’de yıllara göre Türkiye’deki küçükbaş hayvan sayıları gösterilmiştir.

Tablo 2.2. Yıllara göre Türkiye’deki küçükbaş hayvan sayıları (HAYGEM, 2015)

Küçükbaş Hayvan Sayıları			
Yıl	Koyun	Keçi	Küçükbaş Toplam
2002	25.173.706	6.780.094	31.953.800
2005	25.304.325	6.517.464	31.821.789
2010	23.089.691	6.293.233	29.382.924
2015	33.837.097	10.835.717	44.672.814

Tavukçuluk işletmeleri atıkları genellikle, yüksek katı madde, organik madde, NH₄-N konsantrasyonu ve patojenler ile karakterize edilir. Yetersiz ve kontrolsüz bertaraf yöntemleri, çevre ve halk sağlığı açısından tehlike arz etmektedir. Et tavuğu yetiştiriciliğinden elde edilen atıklar, yatak sisteminde kullanılan çakıl içeriği nedeniyle biyogaz tesislerinde ekipmanda zarara yol açabilecek potansiyele sahiptirler.

Türkiye’de son 20 yılda tarımda meydana gelen hızlı gelişmeler nedeniyle, entegre çiftlik ve işletme sayılarında önemli artış gerçekleşmiştir. Çoğu hayvan işletmesinin, atığın depolanmasına elverişli depolama tankları bulunmamaktadır ya da var olanlar yapısal olarak yeterli değildir. Bu durum, koku, görüntü kirliliği, su kirliliği ve çevre sağlığı problemlerini de içine alan çevresel problemlere neden olmaktadır.

Türkiye’de toplam hayvan sayılarının %60’nı büyükbaş ve %33’ünü ise kanatlı hayvanlar oluşturur. Sığır popülasyonu tüm Türkiye’ye dağılmıştır. Fakat kanatlı sektörü (et ve yumurta tavuğu) genellikle batı bölgesinde gelişmeye olanak bulmuştur. Et tavuğu sektörü

özellikle, batı ve kuzeydoğu Anadolu’da yaygın iken, yumurta tavukçuluğu tüm Türkiye’ye yayılmıştır. Tablo 2.3’de yıllara göre Türkiye’deki kanatlı hayvan sayıları gösterilmiştir.

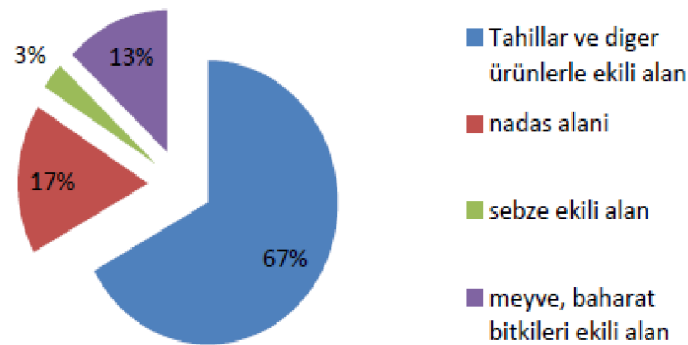
Tablo 2.3. Yıllara göre Türkiye’deki kanatlı hayvan sayıları (HAYGEM, 2015)

Kanatlı Hayvan		
Yıl		Toplam
2006	İşletme Sayısı	10.523
	Kümes Sayısı	15.749
2010	İşletme Sayısı	10.410
	Kümes Sayısı	16.442
2014	İşletme Sayısı	11.328
	Kümes Sayısı	19.738

2.1.2. Tarımsal atıklar

Tarım arazilerinin kullanım yöntemleri, yetiştirilen ürünlerin tür ve miktarları, hektar başına alınan verimler, işletmelerin büyüklüğü, parsel sayıları, TÜİK, 2010 veri sistemi kullanılarak elde edilmiştir. Bazı illere ait özel veriler ise belediyelerden elde edilmiştir. Domates, zeytin, şeker pancarı, mısır ve tahıllar, Türkiye’deki yüksek biyokütle verimleri nedeni ile yüksek biyogaz potansiyeline sahip olarak kabul edilmiştir.

Türkiye’nin toplam yüzey alanı, 78 milyon hektar civarındadır. Toplam tarım arazilerinin miktarı 24,4 milyon hektardır ve bunun da 4,25 milyon hektarını nadas alanları oluşturur. TÜİK, 2010 verilerine göre 16,3 milyon hektar alan tahıl ve diğer bitkilerin üretimi için kullanılırken, 8 milyon hektar sebze üretimi ve 30,5 milyon hektar meyve ve diğer baharat bitkilerinin üretimine ayrılmıştır.



Şekil 2.1. Tarım arazilerinin kullanım yüzdesi ve dağılımı (Türk-Alman-Biyogaz Projesi Raporu, 2011)

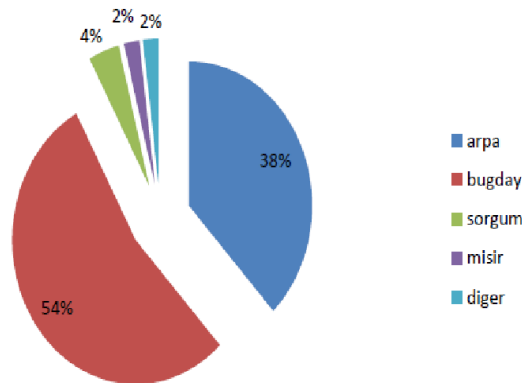
Tarımsal artıkların biyogaz potansiyel hesaplamaları için, domates artıkları, tahıl sapları, şeker pancarı yaprakları ve nadas arazileri üzerinde ekimi mümkün enerji bitkileri ele alınmıştır. Profesör Yıldız'a (2004) göre, Türkiye'nin tarımsal artıklarına ilişkin var olan durum aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

Hasat zamanından sonra, tarımsal ekinlerin artıkları genelde toplanır ve depolanır. Depolama süresince bu artıklar kurutulur, 3-4 ay sonra ise yakılırlar. Genel olarak, taze materyal biyogaz üretimi için kullanılmalıdır. Diğer türlü, artıkların silolanması şarttır. Silolama işleminden sonra bu silaj tüm yıl boyunca biyogaz üretimi için kullanılabilir. Fakat bu yöntem oldukça pahalıdır ve geniş alana ihtiyaç vardır, ne yazık ki tarım arazileri Türkiye'de pahalıdır. Tablo 2.4'de farklı tahıl türlerinden elde edilmesi mümkün atık miktarları gösterilmiştir.

Tablo 2.4. Farklı tahıl türlerinden elde edilmesi mümkün atık miktarları (Türk-Alman Biyogaz Projesi Raporu, 2011)

Tahıl Çeşidi	Atık Miktarı (kg/da)
Arpa	200
Buğday	325
Çavdar	450
Pirinç	600
Mısır	1482
Sorgun	1975
Trikale	738
Yulaf	434

Kullanılan tahıl arazileri dikkate alındığında, Şekil 2.2.'ye göre en fazla alanın buğday (>%53) üretimine ayrıldığı görülmektedir.

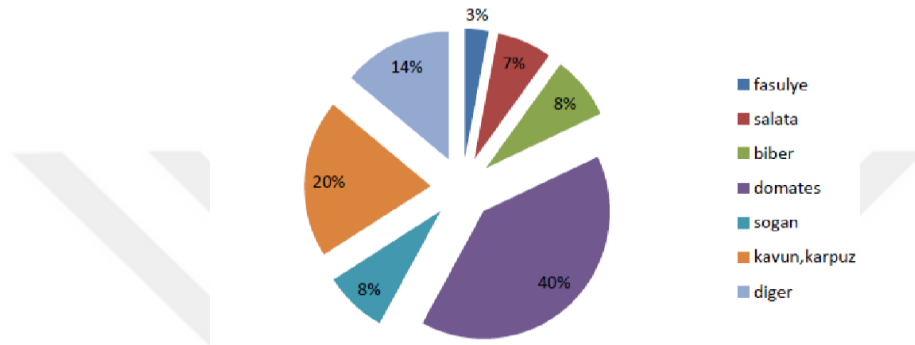


Şekil 2.2. Tahıl arazilerinin tahıl çeşitlerine göre kullanım dağılımı (Türk-Alman-Biyogaz Projesi Raporu, 2011)

Hesaplamalar sonucu, tahıl saplarının toplam teorik biyogaz potansiyeli 276,74 PJ/yıl (Petajoule/yıl) bulunmuştur. Teknik biyogaz potansiyeli ise sapsapların mevcut kullanım yöntemleri ve toprağın kalitesine bağlıdır.

2.1.2.1. Sebzelerin biyogaz potansiyeli

Şekil 2.3'te Türkiye'de en çok üretilen sebzeler gösterilmektedir. Üretilen sebzelere bakıldığında domates üretiminin büyük öneme sahip olduğu görülmektedir (toplam sebze üretiminin %40'ı).



Şekil 2.3. Türkiye'de en çok üretilen sebzelerin dağılımı (Türk-Alman Biyogaz Projesi Raporu, 2011)

a) Domates

Hesaplamalar sonucunda, tarladan gelen domates artıklarının teorik biyogaz potansiyeli 9.041 TJ/ yıl ve seralardan gelen domates artıkları için ise bu değer 2.004 TJ/yıl (Terajoule/yıl) olarak bulunmuştur. Tarlalar için teknik biyogaz potansiyelinin, teorik biyogaz potansiyelinin %25'ine eşit olduğu varsayılırken, seralar için bu değer %90 olarak kabul edilmiştir. Toplamda domates artıklarının teknik biyogaz potansiyeli 4.064 TJ/yıl olarak hesaplanmıştır.

b) Şeker pancarı yaprakları

Şeker pancarı üretimi özellikle Konya'da yüksektir. Şekerpancarı artıkları, biyogaz üretimi için uygundur ve miktarı, toplamadan sorumlu teknik ekipmana bağlı olarak değişir. Tablo 2.5'te şekerpancarı yapraklarının metan içeriği gösterilmiştir.

Tablo 2.5. Şekerpancarı yapraklarının metan içeriği (Türk-Alman Biyogaz Projesi Raporu, 2011)

Substrat	Pancar yaprak oranı	KM (%)	OKM (%)	Metan içeriği (%)	Metan verimi (%)
Şeker pancarı yaprağı	0,7	16	77,5	54,5	313

Tablo 2.5'te özetlenmiş varsayımlara dayanılarak, şeker pancarı yapraklarının biyogaz potansiyeli 17.517 TJ/yıl olarak bulunmuştur. Teknik potansiyelin, teorik potansiyelin %25'ine denk geldiği varsayılırsa, şekerpancarı yapraklarının teknik biyogaz potansiyeli 4.379 TJ/yıl olarak bulunur.

c) Nadas arazilerindeki enerji bitkileri

Nadas alanları üzerinde yetiştirilebilecek enerji bitkilerinin biyogaz potansiyel hesaplamalarına yönelik varsayımlar aşağıda listelenmiştir:

- **Geleneksel yaklaşım:** Nadas alanları üzerinde sadece çimen yetiştirme.
- **Çimen:** 27,1 ton TM/ha, 143 m³ biyogaz/tonTM, %55 metan içeriği.

Varsayımlar sonucu, 4,25 milyon hektar nadas alanından elde edilebilecek biyogaz potansiyeli 325,1 PJ/yıl olarak bulunmuştur. Eğer toplam nadas alanlarının %25'i (1,06 milyon ha) enerji bitkileri yetiştiriciliğinde (çimen) kullanılırsa, teknik biyogaz potansiyeli 81,3 PJ/yıl olarak hesaplanabilir. Ancak, Türkiye'de yem piyasasının öneminden dolayı, yem bitkileri yetiştiriciliği, enerji bitkisi yetiştiriciliğinden daha büyük öneme sahiptir. Dahası Türkiye'de var olan ekilebilir alanların ne yazık ki çoğu kullanımda değildir ve bu alanlar da enerji bitkisi yetiştirme amaçlı değerlendirilebilir. Bazı çiftçilerin ürünleri satılmadan ellerinde kalmaktadır. Bu nedenle enerji bitkileri yetiştiriciliği pek çok bölgede alternatif çözüm olabilir.

d) Zeytin üretimi atıkları

Türkiye; İspanya, İtalya ve Yunanistan'dan sonra en önemli zeytin ve zeytinyağı üreticisi ülkedir. Zeytinyağı üretim fabrikaları genelde, Akdeniz, Ege ve Marmara Denizi kıyılarına konumlanmış ve %95'lik dünya zeytinyağı üretimini yapan küçük işletmelerdir. Zeytin üretiminin %70'den fazlası, yağ üretimi için kullanılır. Türkiye'de çoğu küçük ölçekli, yaklaşık 900 zeytinyağı fabrikası bulunmaktadır.

e) Meyve suyu atıkları

Meyve ve sebze posalarının teorik biyogaz potansiyeli 1,80 PJ/yıl olarak bulunmuştur. Teknik biyogaz potansiyelinin, teorik biyogaz potansiyelinin %90'ına eşit olacağı varsayımı ile teknik biyogaz potansiyeli 1,62 PJ/yıl bulunmuştur. Fakat kesin bilgi için, turunçgil posalarının farklı ön işlemlerle biyogaz üretiminin gözlemlenebileceği, laboratuvar testleri gereklidir. Tablo 2.6'da meyve suyu üretim prosesine giden meyve miktarları gösterilmiştir.

Tablo 2.6. Meyve suyu üretim prosesine giden meyve miktarları, 2005-2008 (Türk-Alman Biyogaz Projesi Raporu, 2011)

Meyve Türü	2005 (1000 ton)	2006 (1000 ton)	2007 (1000 ton)	2008 (1000 ton)
Vişne	37,1	52,2	72,6	54,6
Kayısı	30,8	36,1	38,2	74,9
Şeftali	75,9	65,3	90,1	118,8
Elma	409,2	282,9	356,8	333,8
Portakal	33,1	37,8	53,3	63,9
Nar	17,6	46,6	57,5	49,5
Havuç			30,6	30,7
Domates	4,6	4,9	3,9	4,4
Diğerleri	10,2	47,9	4,3	32
Toplam	629,4	582,1	737,2	771,1

Sonuç olarak; biyokütle potansiyeli; nüfus artış hızı, kişi başına düşen tüketim, ekin verimlerindeki gelişme, yem ve biyokütle üretimi ile iklim değişikliğine bağlı parametrelere göre değişen, gelecek gıda ve hammadde ihtiyacına bağlıdır.

Türkiye'nin biyogaz potansiyeli aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Var olan biyokütlenin enerji üretimi için kullanımı, özellikle tarımdan, tarım-sanayiden ve belediye sektöründen kaynaklı atıkların biyogaz potansiyeli ile kıyaslandığında oldukça düşük seviyelerdedir.
- Tarımsal sektörün (büyükbaş ve kanatlı dışkıları) biyogaz potansiyeli oldukça yüksektir, ne yazık ki, bu potansiyel şu anda kullanımda değildir. Tarımsal sektöre yönelik en yüksek biyogaz potansiyeli, sığır gübresinden elde edilebilir. Hayvancılık atıkları, özellikle Türkiye'nin kuzey ve batı bölgelerinde yüksek potansiyele sahiptir.
- Hayvan atıklarının ve tarım-sanayi atıklarının kullanımı, çevresel sorunların çözümüne katkıda bulunabilir (örn. Sera gazı emisyonlarının azaltılması, yeraltı suyu güvenliği, nehir kirliliği).
- Özellikle arpa ve buğday saplarından kaynaklı yüksek biyogaz potansiyeli bulunmaktadır, ancak, saplar genellikle hayvan üretiminde yem olarak kullanılmaktadır. Sapların yakılması da diğer bir genel uygulamadır.
- Biyogaz prosesi sonucu oluşan son ürün tarımda gübre olarak kullanıldığında nitrat zincirinin tamamlanmasına yardımcı olur.
- Enerji bitkilerinin üretimi ile ilgili bilgiler kesin değildir ve toprağın kalitesi, iklim şartları ile alakalı detaylı araştırmanın yapılması, enerji bitkileri yetiştirilmesi için ne kadar ve hangi çeşit arazi gerektiği, ne tür verimin sağlanabileceği ve hangi

varsayımların yapılmasının doğru olduğunun bilinmesi açısından gereklidir. DBFZ'in enerji bitkileri ile alakalı bulmuş olduğu potansiyel, korumacı yaklaşım ile hesaplanmıştır ve bu potansiyel, Türkiye'de enerji bitkilerinin nadas arazileri üzerinde ekiminin, enerji üretimi açısından alternatif bir yöntem olarak kullanılabileceğinin kanıtıdır.

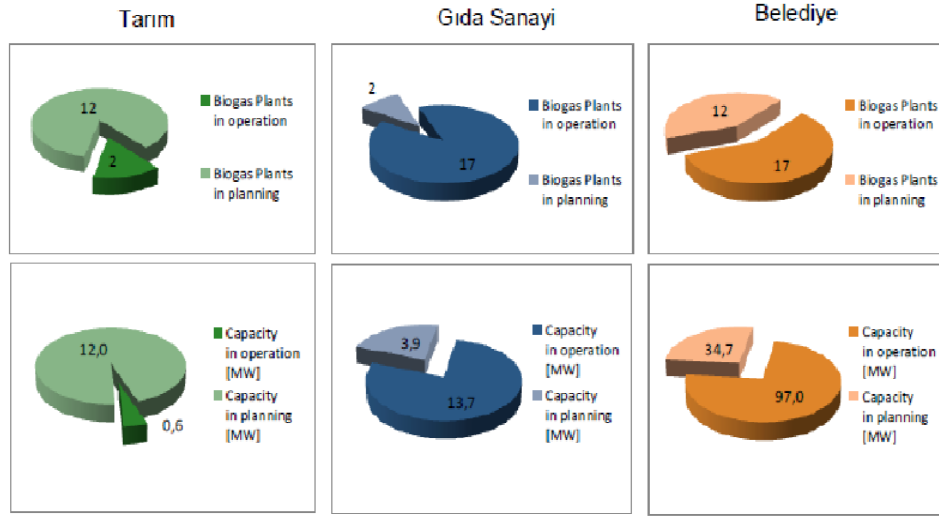
- Türkiye'de peynir altı atık suyu, zeytin karasuyu ve hayvan atıklarının bertarafı sorun teşkil etmektedir. Küçük işletmelerde üretilen bu atıklar, geniş bir coğrafyaya yayılmaktadır. Çoğu işletmenin, çevre dostu bertaraf yöntemlerine dair yatırım yapması mümkün olmamaktadır. Bu atıkların biyogaz sistemlerinde diğer substratlarla (enzim) beraber çürütülmesi, ekonomik açıdan kabul edilebilir bertaraf yöntemi sağlamakla kalmayıp, ekolojik olarak bertaraf sorununa da çözüm olmaktadır.
- Organik atıkların hesaplanmış teknik biyogaz potansiyelleri 112,6 / 221,5 PJ/yıl (enerji bitkileri ve saplar dahil değil/dahil) değerleri arasında değişmektedir. Bu biyogaz potansiyeli, Türkiye'nin birincil enerji ihtiyacının %2,5 – 4,8'ini, toplam enerji tüketiminin ise %3,2 – 6,3 arasında değişen kısmına denk gelir. Bu potansiyelin kullanımı ile enerji tüketimi içindeki yenilenebilir enerji yüzdesinin %35,9 – 70,6 değerlerine ulaşması mümkündür. Dahası, bu potansiyel ile Türkiye'deki doğalgaz tüketimini %19,2 – 37,7 oranında azaltmak mümkündür. Biyogaz kullanım tesisleri için elektrik verimi %40 kabul edildiğinde, hesaplanmış biyogaz potansiyeli ile Türkiye'nin toplam elektrik üretiminin %6 – 12'si karşılanabilir ve bu da elektrik üretimi içindeki yenilenebilir enerjilerin kullanım payının %22 – 44 değerlerine tekabül etmesi demektir.
- Hesaplamalar sonucu, Konya en yüksek biyogaz potansiyeline sahip il olarak bulunmuştur.

2.2. Türkiye'deki Biyogaz Tesislerinin Mevcut Durumu

Türkiye, sadece hayvan atıkları ile çalışabilecek, 2.000 adet biyogaz tesisi kapasitesine sahiptir (IEA Bioenergy Task 37, 2011). Fakat şu anda ülkemizde 36'sı çalışmakta olan toplam 85 biyogaz tesisi bulunmaktadır (Şekil 2.4).

Çoğu biyogaz tesisi belediye veya sanayi bünyesi içerisinde (çöp gazı veya atık su arıtma tesisi) ve genellikle Türkiye'nin batısında, özellikle İstanbul ve Kocaeli'de

konumlanmıştır. Tablo 2.7' de dünyadaki biyogaz tesislerinin sayıları ve Tablo 2.8'de sektörlere göre Türkiye'deki biyogaz tesislerinin durumu gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Türkiye'deki biyogaz tesislerinin dağılımı(Türk-Alman-Biyogaz Projesi Raporu, 2011)

Tablo 2.7. Dünyadaki biyogaz tesisi sayıları (Türk-Alman Biyogaz Projesi Raporu, 2011)

Ülkeler	Biyogaz Tesisi Sayıları
Çin	7.000.000
Hindistan	2.290.000
Nepal	49.500
Kore	29.000
Almanya	7.900
Türkiye	36

Tablo 2.8. Sektörlere göre Türkiye'deki biyogaz tesislerinin durumu (Türk-Alman Biyogaz Projesi Raporu, 2011)

	İşletme Halindeki Tesisler	İşletme Kapasite (MW)	Planlanan Tesisler	Planlamadaki Tesis Kapasitesi (MW)	Toplam Biyogaz Tesisi	Toplam Kapasite (MW)
Tarım	2	0,68	12	11,99	14	12,58
Gıda Sanayi	17	13,68	2	3,88	19	17,56
Belediye (Atık su)	17	96,98	12	34,72	29	131,70
Belediye (Çöp gazı)	13	93,04	9	32,03	22	125,08
Belediye	4	3,94	3	2,69	22	6,62
Sınırlan dırılmış	0	0	23	61,16	23	61,16
Toplam	36	111,23	49	111,76	85	222,99



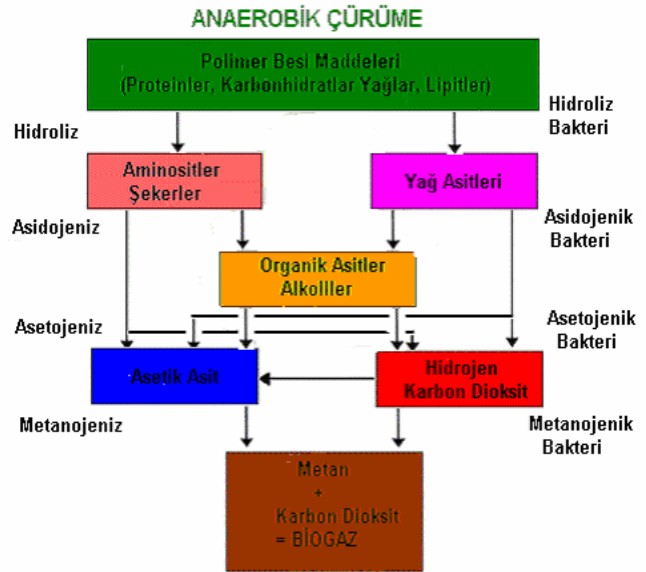
3. BİYOGAZDAN ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİLMESİ

Organik maddelerin değerlendirilmesi ve kullanılabilir başka ürünlere dönüşüm teknolojileri arasında, biyoteknolojinin önemli bir yer aldığı bilinmektedir. Biyoteknolojik yöntemlerin başında ise, özellikle katı atıkların değerlendirilmesi ve metan gazı üretiminde yaygın olarak kullanılan anaerobik işlem gelmektedir (Ardıç,2003). Anaerobik işlem, büyük ve karmaşık yapıları organik moleküllerin, oksijensiz ortamda, mikroorganizmalar yardımıyla başka ürünlere dönüştürülmesidir. Bir anaerobik işlemde, farklı türden ve birbirine bağımlı mikroorganizma gruplarının ortamda bulunması, karmaşık yapıları organik maddelerin tamamen metana dönüşebilmesi için gereklidir. Bu mikroorganizma grupları; hidroliz bakterileri (yüksek molekül ağırlıklı katı ve çözünmüş organik maddeleri, düşük molekül ağırlıklı çözünmüş organik maddelere dönüştüren bakteriler), asit oluşturan bakteriler ve metan üreten bakterilerdir. Her mikroorganizma grubu, kendilerinden önceki grupların ürettikleri maddeleri besin maddesi olarak kullanmakta ve ardından başka grup bakterilerin besin maddelerine çevirmektedir (Şekil 3.1). Basit yapıları herhangi bir organik madde, hiçbir mikroorganizma tarafından, tek başına metana dönüştürülemez (Ardıç,2003).

Biyogaz üretiminin sağlandığı, organik maddelerin anaerobik fermantasyonunun gerçekleştiği üç temel aşamada, aynı isimlerle bilinen üç değişik bakteri grubu etkilidir. Anaerobik fermantasyonun üç temel aşaması aşağıdaki gibi sıralanır (Öztuncay, 2009).

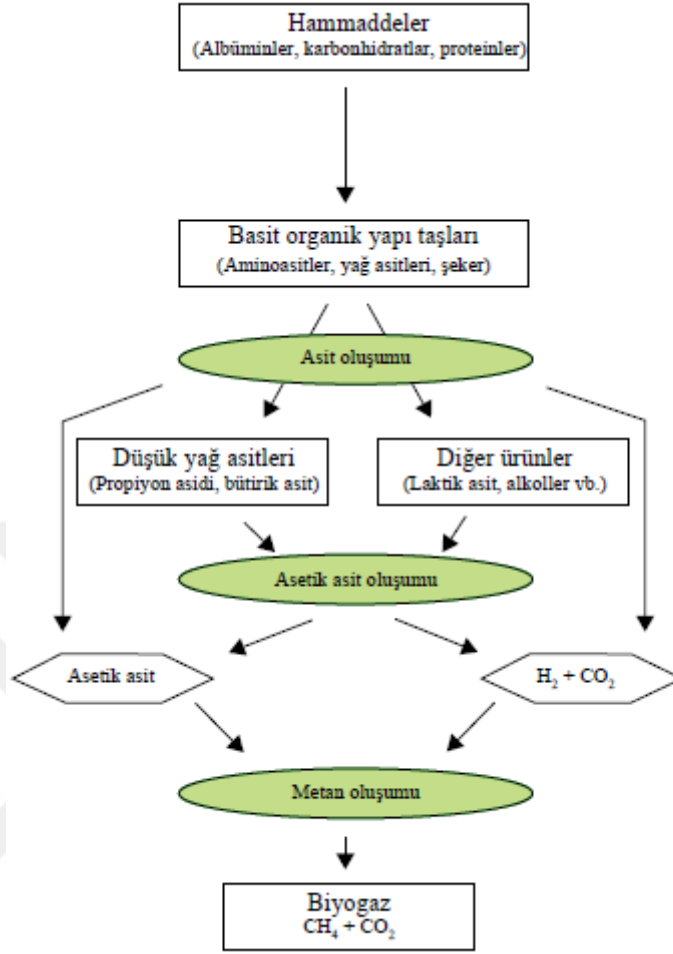
3.1. Biyogaz Üretim Aşamaları

- Hidroliz
- Asetik asidin oluşumu
- Metanın oluşumu



Şekil 3.1. Anaerobik çürüme kademeleri

Şekil 3.2’de biyogaz oluşum aşamaları gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Biyogaz oluşum aşamaları

3.1.1. Hidroliz aşaması

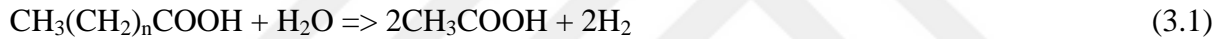
Hidroliz aşaması oksijensiz çürümenin ilk aşamasıdır. Bu aşamada hammaddeler içerisindeki karbonhidrat ($C_{10}H_{10}O_5$), yağ ($C_5H_{90}O_{10}$) ve protein ($10C_2NH_33H_2O$) gibi büyük moleküllü yapılar daha küçük yapı taşlarına parçalanırlar. Hidroliz esnasında hücre dışı enzimler faaliyet içerisinde olduğundan dolayı yavaş ilerleyen bir süreçtir. Kimi araştırmacılara göre bu aşama oksijensiz çürütme için hız sınırlayıcı aşamadır. Büyük moleküllü yapılar içerisinde selülozik yapıların hidrolizi diğer karbonhidrat ve protein yapılara göre daha uzun sürmektedir.

3.1.2. Asit oluşum aşaması

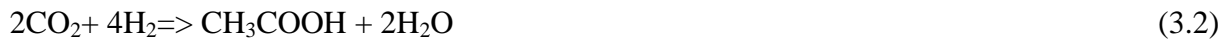
Hidroliz aşamasıyla birlikte yürüyen bir fazdır. Hidroliz aşamasında parçalanam hammadeler bu aşamada asit bakterileri tarafından organik asitlere dönüştürülürler. Bu organik asitler; propiyonik, butirik, izobutirik, valerik ve izovalerik asit gibi asitlerdir. Bu aşama için reaktör içindeki hidrojen basıncı önemli bir parametredir. Hidrojen basıncının 4-10 atmosferi aşması durumunda butirik ve propiyonik asit oluşumu hızlanır ve ortam pH'ı şiddetli bir şekilde düşerek inhibasyona neden olur (Mc Carty, 1964).

Asit oluşum fazı diğer aşamalara göre daha hızlı yürüyen bir faz olduğu için oksijensiz çürütme prosesleri için kontrol edilmesi önem arz eden bir aşamadır. Asit oluşum fazının hızlanması ile proses içindeki asit oluşum ve tüketim dengesi bozularak süreç inhibasyona doğru gidebilmektedir.

Asetik asit oluşum fazında bir önceki fazlarda oluşan organik asitler tek karbonlu asit olan asetik asite dönüştürülürler. Bu aşamada asetojenik (asetik asit üreten) bakteri grupları faaliyet göstermektedir. Bir kısım asetojenik bakteriler uçucu yağ asitlerini asetik asit ve hidrojene dönüştürmektedirler.



Diğer bir kısım asetojenik bakteri grubu ise, açığa çıkan karbondioksit ve hidrojeni kullanarak asetik asit oluşturur. Ancak bu ikinci yolla oluşan asetik asit miktarı, birinciye oranla daha azdır.



3.1.3. Metan oluşum aşaması

Metan oluşum aşaması oksijensiz çürütmenin son aşamasıdır. Asetik asit ve hidrojen kullanan bakteriler tarafından metan oluşturulmaktadır.



Oksijensiz çürütme proseslerinde oluşan metanın yaklaşık %70'i asetik asitten %30'u ise hidrojen ve karbondioksitten üretilmektedir. Metan bakterileri ortam koşullarından en çok etkilenen bakterilerdir. pH 6'nın altına düştüğünde metan üretimi durmaktadır. Bu sebeple metan üretim sürecinde üreteç içinin 6,7 ile 8,0 aralığında tutulması esastır. Ayrıca, metan bakterileri ortam sıcaklığının değişimlerinden de en çok etkilenen bakteri grubudur.

Oksijensiz çürütme proseslerinde belli bir sıcaklık aralığı seçilmeli bu sıcaklık aralığı oldukça dar tutularak sıcaklık dalgalanmalarına izin verilmemelidir. Metan oluşum aşaması da hidroliz aşaması gibi yavaş bir süreç olarak bilinmektedir. Hidroliz aşaması gibi metan oluşum aşaması da zaman zaman hız belirleyici aşama olabilmektedir (Öztürk, 1999).

3.2. Biyogaz üretimini etkileyen parametreler

Biyogaz üretimini etkileyen birçok parametre bulunmaktadır. Biyogaz üretimi bu parametrelere bağlı olarak çeşitli seviyelerde değişiklik göstermektedir. Aşağıda biyogaz üretimini etkileyen parametreleri ana başlıklar halinde etkileme oranları ile detaylı bir şekilde tablolar ve veriler cinsinden açıklanmaktadır.

3.2.1. Hammaddeye bağlı parametreler

3.2.1.1. Hammadde cinsi

Özellikle hayvancılık alanında işletme kapasitelerinin büyümesi ve dışıkların müteakip kullanımı konusunda artan çevresel gereklilikler yüzünden, oluşan sıvı veya katı gübre için alternatif değerlendirme ve işleme yolları bulunmalıdır. İklimin korunması açısından da depolama emisyonlarının belirgin oranda düşürülmesi için çiftlik gübresinin enerji bağlamında kullanımı gereklidir. Çiftlik gübresinin önemli özellikleri Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Çiftlik gübresinin gaz verimi ve metan verimi (Pouech ve ark., 2000)

Materyal	Biyogaz Üretimi (m ³ /t)	Metan Verimi (m ³ /t)	Özgül Metan Verimi (m ³ /t)
Sıvı sığır gübresi	20-30	11-19	110-275
Sığır gübresi	20-35	12-21	180-360
Kanatlıların gübresi	130-270	70-140	200-360

Ülkemizin sahip olduğu çeşitli iklim koşulları nedeniyle birçok ürün yetişebilmektedir. Tarım arazilerinin kullanım yöntemleri, yetiştirilen ürünlerin tür ve miktarları, hektar başına alınan verimler, işletmelerin büyüklüğü, parsel sayıları ile doğrudan ilgilidir.

Tablo 3.2'de biyogaz verimliliği yüksek olan tarımsal ürünlerin biyogaz metan gazı ve biyogaz oluşturma verimleri ve Tablo 3.3'te Zorg biyogaz üretim tesisinden elde edilen biyogaz verimleri gösterilmiştir (Zorg biyogaz üretim sistemleri, 2015).

Tablo 3.2. Bitkisel ürünlerin gaz verimi ve metan verimi (Pouech ve ark., 2000)

Materyal	Biyogaz Üretimi (m ³ /t)	Metan Verimi (m ³ /t)	Özgül Metan Verimi (m ³ /t)
Mısır silajı	170-230	89-120	234-364
Tahıl sapı	170-220	90-120	290-350
Tahıl taneleri	620	320	380
Ot silajı	170-200	93-109	300-338
Şeker pancarı	120-140	65-76	340-372
Yemlik pancar	75-100	40-54	332-364

Tablo 3.3. Zorg biyogaz üretim tesisinden elde edilen biyogaz verimleri (Zorg biyogaz üretim sistemleri, 2015)

Ürün	Çıkış (m ³ /ton)	Ürün	Çıkış (m ³ /ton)
Büyükbaş gübresi	43	Patates atığı	32
Tavuk gübresi	103	Yağ(temiz)	1300
Mısır silajı	187	Ağ atıkları	250
Taze ot	195	Sebze atıkları	100
Peynir altı suyu	36	Teknik gliserin	500
Tahıl, un, ekmek	538	Balık atıkları	300
Şeker pancarı	128	Katı evsel atık	100

3.2.1.2. Karbon/Azot (C/N) oranı

Karbon biyogaz oluşumu için gerekli olurken, azot anaerobik bakterilerin gelişimi ve yeniden üretilmesi için gereklidir. Mikroorganizmalar karbonu enerji kaynağı olarak kullanırlarken, azotu yeni hücrelerin oluşturulmasında yapı malzemesi olarak kullanırlar. Karbon azota göre 25–30 kat daha fazla kullanılır (Arnott, 1985).

Organik madde içerisinde karbonun en önemli kaynağı karbonhidratlar, azot kaynağı ise protein, nitrat ve amonyaktır (Koç ve ark., 1990; Arnott,1985). Azot azlığı hücresel gelişimi engellediği için verimi düşürür, çok olması durumunda da amonyak birikimi söz konusu olur ve pH değeri 8,5'a yaklaşır. Bu da sistemin inhibe olmasına neden olur. Böylece kötü kokulu, yanmayan bir gaz elde edilir (Arnott, 1985; Gustavsson, 2000; Verma, 2002; Al-Azzam, 2003). C/N oranının 8'den düşük olması durumunda bu etki görülür (Werner ve ark., 1989). 15:1 ila 30:1 arasındaki C/N oranları anaerobik fermantasyon için uygun olmaktadır (Jenangi,1981; Sasse, 1988; Marchaim, 1992).

Tablo 3.4'te bazı materyallerin C/N oranları verilmiştir. Sığır gibi geniş getiren hayvanların atığında azot daha az bulunur. Çünkü sindirim sırasında bakteriler azotun bir bölümünü kullanır. Bu yüzden diğerlerine göre C/N oranı yüksek olmaktadır (Fry, 1973).

Tablo 3.4. Bazı materyallerin C/N oranları (Pound ve ark, 1981; Stuckey, 1981)

Materyal	C/N	Materyal	C/N
Sığır atığı	6-20	Mısır sapı	30-70
Koyun atığı	20-33	Pirinç atığı	50-78
Kanatlı atığı	3-27	Buğday samanı	80
Mezbaha atığı	2	Yer fıstığı atığı	31
Kan	3	Çimen	15-19
Balık atıkları	5	Kuru ot	10-27
Küspe	35	Dökülmüş yaprak	41-80
Nilüfer	10-21	Patates kabuğu	25
Algler	5	Domates atığı	13
Deniz yosunu	79-80	İnsan atığı	3-10

3.2.1.3. Kuru madde miktarı

Materyallerin niteliği içlerindeki kuru madde oranına bağlıdır. Bu da biyogaz teknolojisinin yaş ve katı fermantasyon süreci olarak temel ayırımını teşkil eder. Yaş fermantasyon sürecinde pompalamaya uygun materyallerle çalışılır. Katı fermantasyonda istiflenebilir materyaller kullanılır. Yaş fermantasyon ile katı madde fermantasyonu (kuru fermantasyon olarak da adlandırılır) kavramları arasında belirgin bir sınırlama mevcut değildir. Federal Çevre Bakanlığı'nın bir yorumunda EEG 2004 düzenlemeleri esas alınarak "kuru fermantasyon" belirli koşullara bağlanmıştır. Buna göre girdi içindeki kuru madde oranının en az %30 olması ve fermentördeki yükleme oranının en az 3,5 kg OKM/(m³ · d) olması gerekmektedir.

3.2.2. Prosesle ilgili parametreler

3.2.2.1. Ortam asitliği (pH)

pH değeri için de sıcaklık için bahsedilenlere benzer yaklaşımlar geçerlidir. Bozunmanın çeşitli aşamalarına katılan mikroorganizmalar, optimum büyüyecekleri farklı pH değerlerine ihtiyaç duyarlar. Örneğin hidrolize eden ve asit üreten bakteriler için pH optimum düzeyi 5,2 ila 6,3 arasında bulunmaktadır. Ancak bu bakteriler bu değerlere bağlı kalmak zorunda olmayıp, çok az daha yüksek pH değerlerinde de materyalleri dönüştürebilirler.

3.2.2.2. Fermentörün yükleme oranı ve bekleme süresi

Biyogaz tesislerinin yapımında genellikle ekonomik düşünceler ön planda bulunmaktadır. Bundan ötürü fermentör büyüklüğünün seçiminde her zaman azami gaz verimi veya hammaddede bulunan organik kütlenin tümüyle bozunması hedeflenmemektedir. Organik içerik maddelerinin bütünüyle bozunmasının sağlanması istenildiği takdirde, bunun gerçekleştirilmesi için materyalin fermentörde çok uzun sürelerde kalması ve uygun büyüklükte tank hacmi sağlanmalıdır, çünkü bazı maddeler çok uzun sürelerden sonra bozunmaktadırlar. Dolayısıyla karşılanabilir bir ekonomik maliyetle optimum bozunma performansının sağlanmasına çalışılmalıdır. Bu anlamda yükleme oranı (BR) önemli bir işletme parametresidir. Yükleme oranı bir m³ çalışma hacmine bir zaman dilimi için kaç kilogram organik kuru madde beslemesi yapılması gerektiğini belirler. Yükleme oranı kg OKM/(m³ d) olarak verilir.

3.2.2.3. Ortam sıcaklığı

Esas olarak çevre ısısı ne kadar yüksekse, kimyasal reaksiyonların da o kadar hızlı gerçekleştiği kabul edilir. Ancak bu durum biyolojik bozunma ve indirgenme proseslerine kısmen uygulanabilir. Burada metabolizma prosesine katılan mikroorganizmaların varlıklarını farklı sıcaklık koşullarında sürdürdükleri göz önünde bulundurulmalıdır. Bu optimal sıcaklık alanlarının altına düşüldüğünde veya üstüne çıktığında, bu durum sürecin kesintiye uğramasına ve uç durumlarda sürece katılan mikroorganizmaların geri dönüşü olmayacak zararlara uğramasına yol açabilir.

3.2.2.4. Partikül büyüklüğü

Materyallerin parçalanması ile biyolojik bozunma ve buna bağlı olarak metan üretimi için materyal yüzey alanı oluşturulur. Esas olarak parçalanma derecesinin yükselmesiyle birlikte biyolojik bozunmanın hızının artacağı, ancak gaz veriminin buna bağlı olarak artmayabileceği kabul edilir. Metan üretimi, başka faktörlerin yanı sıra bekleme süresi ile parçalanma derecesinin ilişkisine bağlıdır. Bundan ötürü doğru tekniğin kullanılmasına büyük önem verilmelidir.

3.3. Biyogazın enerjiye dönüşüm yolları

Biyogaz, doğalgazın kullanım alanlarıyla paralel olarak kullanılabilen bir enerji kaynağıdır. Biyogazın kullanım alanları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- a) Doğrudan yakarak ısınma ve ısıtma,
- b) Motor yakıtı olarak kullanımı suretiyle ulaşım,
- c) Türbin yakıtı olarak kullanımı ile elektrik üretimi,
- d) Yakıt pillerinde kullanımı,
- e) Mevcut doğalgaza katılarak maliyetlerin düşürülmesi,
- f) Kimyasal maddelerin üretimi sırasında biyogaz kullanımı.

Tüm bu kullanım alanlarının yanı sıra biyogaz çevreye karşı duyarlı bir enerji kaynağıdır. Bu yüzden gelişen koşullarda çevre kirliliğinin önlenmesinde yeşil yakıt olarak bilinen organik madde kökenli biyogaz kullanımı daha önemlidir. Biyogaz üretimi için kullanılan ham maddeler tarımsal arazilerde üretildiği için, tarımsal işletmelerde gerek seraların ve iskan yapılarının ısıtılmasında gerekse traktörlerin yakıtı olarak kullanılmasında önemli bir fayda sağlamaktadır. Böylece kullanılan biyogaz işletme maliyetlerini önemli ölçüde azaltmaktadır.

3.3.1. Biyogazın içten yanmalı motorlarda kullanımı

Biyogaz hem binek taşıtlarda hem de ağır vasıtalarda kullanılabilir. Biyogazın motorlu taşıtlarda yakıt olarak kullanılabilmesi için, biyogaz içerisindeki metan oranının %96-97'ye kadar yükseltilmesi ve içeriğindeki H_2S 'in 17 ppm'nin altına düşürülmesi gerekmektedir. İçeriğinde %97 metan bulunduran 1 metreküp biyogaz, yaklaşık olarak 1 litre benzine eşdeğer enerjiye sahiptir (Eğidoğan, 2008).

Saflaştırılarak metan oranı yükseltile ve H_2S 'i ayrıştırılan biyogaz, 200-250 bar basınç altında sıkıştırılarak, benzin-biyogaz veya benzin-doğalgazla çalışabilen çift yakıtlı motorlarda hiçbir değişikliğe gerek duyulmadan kullanılabilir (Eğidoğan, 2008).

İçten yanmalı motor, yapısında bulunan yanma odasında, yakıtı havanın oksijen ile yakarak, yakıt enerjisine önce ısı enerjisine ve sonra bu enerjiyi hareketli organları yardımıyla mekanik enerjiye dönüştüren makinelere içten yanmalı motor denmektedir.

İçten yanmalı motorlarda mekanik enerji etmek için mutlaka ısı enerjisi verecek bir yakıtı ihtiyacı vardır. Biyogaz da bir çeşit yakıt karıştırıcı olup bünyesinde %60-62 CH_4 , %38-40 CO_2 'den oluşan yanıcı bir karışımdır. Isıl değeri 5100 kcal/m^3 olan biyogaz CO_2 'den arındırılırsa ısıl değeri 9000 kcal/m^3 'e kadar çıkabilmektedir (Kasap ve Ergüneş, 1989).

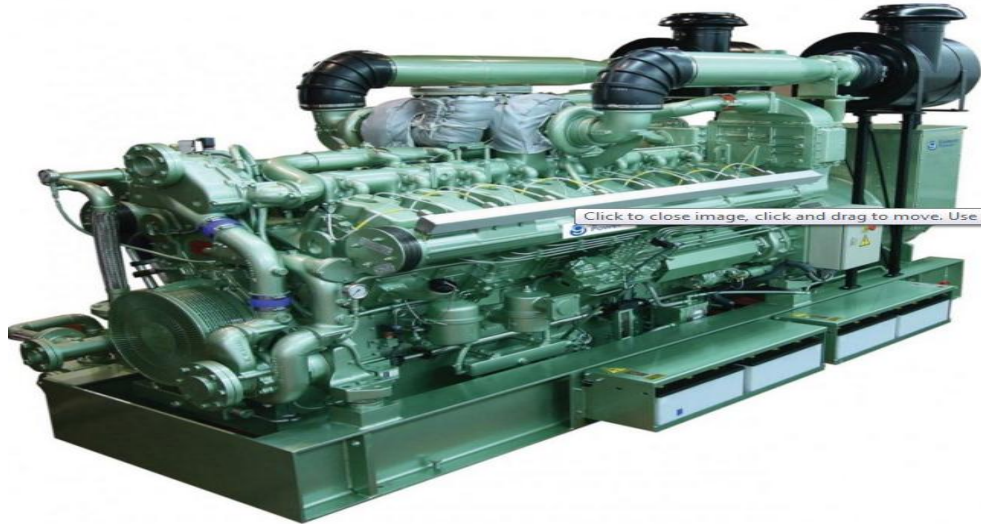
Biyogazın sahip olduğu bu ısıl değerinden dolayı içten yanmalı motorlarda yakıt enerjisi olarak kullanılmaktadır. Biyogazın yanması sonucu su buharı karbondioksit, kükürt oksit, azot oksitler, karbon monoksit oluşmaktadır. Kükürtoksitin nedeni gazda bulunan H₂S'dir. Biyogazdan temizlenmiş durumda kükürtdioksidin oranı azalır (Yaldız, 2004).

Biyogaz diğer bileşiklerden temizlendiğinde metan yandığı zaman is ve kül bırakmadığı için metanın zenginleştirilmesi halinde motorlarda ideal bir yakıt olarak kullanılabilir.

3.3.2. Dizel motorlarda biyogaz kullanımı

Dizel motorları, dizel yakıtı (motorin) ile çalışan motorlardır. Bu motorlarda, filtre edilmiş hava silindir içinde sıkıştırılarak üzerine yakıtın püskürtülmesi sonucunda yanma oluşur. Dizel motorlarında hava 30-35 bara kadar sıkıştırılır, sıkıştırma sıcaklığı 700-900 °C'ye ulaşır. Daha sonra dizel yakıtı püskürtülerek yakıt-hava karışımı kendi kendine ateşlenir ve yanar (Ülger ve ark, 1996).

Dizel motorlar, biyogazın kullanılması için ilk akla gelen motorlardır. Bu motorların dizelden biyogaz kullanımına dönüştürülmesi, ateşleme sistemi eklenerek veya çift yakıtlı motora çevrilerek iki şekilde olmaktadır.



Şekil 3.3. Dual yakıtlı (doğalgaz ve biyogaz) dizel motoru

3.4. Kojenerasyon sistemi ile biyogazdan elektrik enerjisi üretimi

3.4.1. Kojenerasyon sistemi

Yapılan araştırmalar göre, dünya petrol rezervi 2050, doğalgaz rezervi 2070 ve kömür rezervi de 2150 yılında tükenmiş olacaktır. Bundan dolayı sanayi ve bilim alternatif enerji kaynaklarına yönelmek zorundadır. Yapılan planlamalardan ve yeni teknolojilerden biri dekojenerasyondur. Kojenerasyon, enerjinin hem elektrik hem de ısı elde etmek için, sistemde birlikte üretilmesidir. Isı ve elektrik enerjisini ayrı ayrı üretmekten daha ekonomiktir. Gaz türbini ya da gaz motoru ile sadece elektrik üretildiğinde, kullanılan enerjinin %30– 40 kadarı elektriğe çevrilebilir. Sistem, kojenerasyon sistemi ile kullanıldığında ise, sistemden dışarıya atılacak olan ısı enerjisinin büyük bir bölümü de kullanılır. Böylece toplam enerji girişinin %70–90'ı değerlendirilir. Bu tekniğe "birleşik ısı-güç sistemleri" ya da "kojenerasyon" denir. Üretilen enerjinin enerji hatları ile nakli yerine, tüketim merkezlerine yakın bölgelerde üretim yapılması, kullanım dışı enerji sarfiyatını büyük ölçüde azaltır. Kojenerasyon tesislerinin, tüketim merkezlerinin yakınında kurulması, yüksek verimli ve temiz enerji üretim teknolojisi ortaya çıkarır.

Enerji ihtiyaçlarının arttığı günümüz dünyasında, enerjinin daha verimli üretilmesi, üretim sonrası atıkların değerlendirilmesi çalışmaları bilim adamlarının en güncel konusudur. Bu çalışmalar doğrutusunda, atık enerjinin geri kazanımı, daha az yakıt ile daha verimli çalışabilen enerji üreteçlerinin tasarımı ve üretim hammaddesi bitmeyecek yakıtların arayışı sürmektedir.

Tüm orta ve uzun dönem stratejik yaklaşımlar göstermektedir ki 2030'lu yıllar enerji kaynaklarının kullanımı açısından oldukça kritik noktalara geldiği yıllar olacaktır. Bir taraftan, fosil yakıt rezervlerinin yavaş yavaş birçok yerde tükenmeye yüz tuttuğu, sadece belirli coğrafik alanlarda varlığını bir müddet daha sürdürmek için uğruna acımasız kavgaların daha da hızlanacağı tahmin edilmektedir. Bununla beraber 21.yüzyılın ilk çeyreğinden itibaren enerji üretim sektöründe primer kaynak kullanım ağırlığı, nükleer ve yenilenebilir kaynakları olarak gündemde yerini alacak ve enerji kullanımında verimliliği artırıcı teknolojilerin gelişmesine hız verdiği yıllar olacaktır (Eltekin, 2003).

Sanayide, tarımsal işletmelerde ve konut ısıtılmasında gerekli olan elektrik enerjisinin ve ısı enerjisinin biyogazdan karşılanması ile yapılacak olan enerji tasarrufu çevre kirliliğini ve dışa bağımlılığı azaltırken, kaynaklarımızın hızla tükenmesini de önleyecektir. Bundan dolayıdır ki; elektrik ve ısı enerjisinin aynı kaynaktan karşılanması yöntemi yani kojenerasyon teknolojisi gereklidir.

Elektrik üretimine yönelik olan ve ülkemizde de yaygınlaştırılarak kullanılmak istenen ve bu yeni teknoloji, ısı ve elektriği birlikte üretecek ısı-güç sistemleri (CHP) yani kojenerasyon teknolojisi. Bu teknolojinin ilk basit örnekleri 20. yüzyılın ilk yarısında görülmüştür. Ancak ucuz yakıt döneminde ise terk edilmiştir. Petrol krizleri ardından geliştirilerek yeniden uygulamaya konulmuştur.

Kojenerasyon; ısı ve elektrik enerjilerinin birlikte üretim teknolojisi. Gaz türbini veya gaz motorun egzozundan çıkan ve son yıllara kadar havaya atılan ısı enerjisini değerlendiren bir sistemdir. Bu suretle, gaz türbini jeneratöründe sanayicinin ihtiyacı olan kaliteli (gerilimi ve frekansı sabit) kesintisiz elektrik üretirken, egzoz gazları üzerine konulan atık ısı kazanı ile fabrikanın ihtiyacı olan buhar ya da ısıtma ısısı neredeyse bedavaya gelecek cüzi bir fiyat ile elde edilecektir.

Kojenerasyon tesislerinde, elektrik ve ısının aynı enerji kaynağından aynı anda üretimiyle %92'lerde çevrim verimi elde edilmektedir. Bu çevrim verimi bir kömür veya linyit santralinde %35, fuel-oil santralinde %8'dir. Yani kojenerasyon tesisiyle, klasik elektrik üretim sistemlerinin 1 kWh elektrik üretmek için kullandığı yakıtın 3'te 1 miktarı ile (kalori bazında) 1 kWh elektrik elde edilmektedir. Böylece, enerji girdisinin maliyet üzerindeki etkisi çok fazla olan sanayi kuruluşlarının enerji faturası 3'te 1'e düşürülmektedir.

Isıl değerleri incelendiğinde biyoyakıtlardan oluşan biyogaz kojenerasyon sistemlerinde kullanılabilir. Böylece hem çevremiz daha temiz ve güvenli hale gelir, hem de enerjinin hammaddesi masrafsız karşılanmış olur. Yakıt seçiminde en önemli kriterler, yakıt fiyatı ve bulunabilme güvenilirliğidir. Dünya rezervlerinin tükenme durumunda olan fosil yakıtlar düşünüldüğünde biyogazın işletme ömrü daha uzun, sürdürülebilir ve güvenilirdir. Bu çalışmada hedeflenen; gerek sanayi sektörü gerekse tarımda makineleşme ile birlikte günlük hayatta da yaşamı kolaylaştıran ev aletlerinin sürekli artan enerji ihtiyacını ucuz, sürdürülebilir ulusal kaynaklardan maksimum verimle karşılamaktır.

Kojenerasyon sistemlerinde amaç; kullanılan akışkana verilen ısının bir bölümünü enerjiye dönüştürmektir. Birçok mühendislik sistemi, elektrik enerjisi veya mekanik enerji ile çalışır. Mühendislik sistemlerinin büyük bir bölümünde enerji gereksinimi ısı biçimindedir. Kimya, kağıt, petrol, çelik, gıda ve tekstil endüstrileri gibi bazı endüstrilerde ısıl işlemler önemli bir yer tutar. Isıl işlemler için gerekli ısıya proses ısısı adı da verilir. Bu endüstrilerde proses ısısı genellikle 5 – 7 atm basınçları arasında ve 150 – 200 °C sıcaklıkları arasında su buharıyla sağlanır. Kojenerasyon sistemleri, bu atık ısıları kullanarak enerji korunumu sağlamaya çalışır. Sistemde, değişik ihtiyaçlara değişik makineler yardımı ile atık ısıdan

enerji elde edilir. Böylece çift enerji üretimi sağlanmış olur. Kojenerasyon, iki farklı ana tahrik ünitesi ile uygulanır.

1. Gaz ve/veya Buhar Türbini Kojenerasyonu (Topping-cycles)

2. Gaz Motoru ya da Dizel Motor Kojenerasyonu (Bottoming-cycle)

Bu ünitelerin seçimi sistemden elde edilmek istenen sonuca bağlıdır. Eğer sistemde asıl amaç güç üretimi ise “Gaz ve/veya Buhar Türbini Kojenerasyonu” kullanılır. Amaç, bir prodesten geri kazanılan düşük seviyeli enerjiden güç üretmek ise “Gaz Motoru ya da Dizel Motor Kojenerasyonu” kullanılır. Türbin kojenerasyonu sisteminde yakıt, elektrik üretmek üzere yakılır. Bu prodesten çıkan ısı enerjisi proses ısısı olarak ya da ısıtma amacıyla kullanılabilir. Motor kojenerasyonu sisteminde ise endüstriyel bir proses uygulamasından çıkan atık ısı elektrik üretmek üzere kullanılır.

3.4.2. Gaz ve/veya buhar türbini kojenerasyonu

Buhar türbini ve gaz türbini olmak üzere iki tip türbin kojenerasyonu sistemi bulunmaktadır. Kullanılan pek çok türbin kojenerasyonu sistemi kömür, fuel-oil, gaz ya da proses atık yakıtları ile kullanılmaktadırlar. Klasik buhar türbinleri sistemi kömür, fuel-oil, doğalgaz ya da artık yakıt kullanırken, gaz türbin kojenerasyon sistemleri doğalgaz veya fuel-oil kullanılmaktadırlar. Türbin kojenerasyonu tesislerinde katı atık malzemelerin doğrudan yakılması yakıt masrafı açısından daha verimlidir.

Gaz türbini kojenerasyonunda, sıkıştırılmış hava, bir gaz yakıt (doğalgaz) ya da sıvı bir petrol ürünü ile yakılarak üretim gerçekleştirilir. Yanarak genişleyen sıcak gazlar türbinin içinden geçerek bir rotoru döndürür. Gaz türbin rotoru bir jeneratöre bağlıdır ve jeneratör elektrik enerjisi üretir. Türbinden çıkan sıcak gazlar bir atık ısı boilerine girerek endüstriyel proses uygulaması ve alan ısıtması için buhar üretirler ya da direkt olarak proses ısısı uygulamasında kullanılırlar. Bu ısıya egzost gazı ısısı denir. Egzost gazı ısısı, buhar, sıcak su, kızgın su ya da kızgın yağ üretmek için veya hava ile karıştırılarak direkt kurutma uygulamalarında kullanılabilir. Bu işlemler sayesinde toplam çevrim verimi %80 seviyelerini yakalayabilmektedir.

Gaz türbini kojenerasyonu sistemi, buhar türbini kojenerasyonu sisteminden daha fazla yakıtı ihtiyaç duyar. Ancak gaz türbin sistemi, buhar türbin sisteminden birim proses buharı başına daha fazla elektrik gücü üretir. Kullanılan bazı gaz türbinleri çift yakıtlıdır. Hem doğalgaz hem de petrol türevlerini kullanabilirler.

Buhar türbini sistemleri ise genel olarak bir buhar ve karşı basınçlı buhar türbininden oluşur. Bu sistemde 750 – 950 °F sıcaklıklar arasında buhar üretmek için fosil yakıtlar veya atık yakıtlar yakılır. Bu yüksek basınçlı buhar, bir rotoru döndürmek üzere buhar türbinine gönderilir. Buhar türbinleri, gaz türbinleri ya da dizel motorlarda üretilen birim güç başına daha az yakıtı ihtiyaç duyarlar. Buhar türbinlerinde kömür, doğalgaz, akaryakıt gibi çok değişik yakıt türlerinin kullanılabilir. Eğer fazla elektrik gücü gerekli ise gaz türbini ve buhar türbininin bir birleşimi olan “Kombine Çevrim” kullanılabilir. Türbinin dönmesiyle üretilen elektrik ile fazla egzost ısını ilave elektrige dönüştüren buhar çevriminin birleştirilmesinden oluşan birleşik çevrim ile sürülen doğalgaz türbini %60’a varan termal verimliliğe ulaşabilir (Ekren ve Yılmaz, 2004).

3.4.2.1. Mikrogaz türbini

Mikrogaz türbinleri küçük hacimli gaz türbin sisteminin yeni teknolojisidir. 300 kW’tan az olmak koşuluyla elektrik enerjisi üretebilen bu türbinler kojenerasyon sistemlerinde kullanılmaya 90’lı yıllarda başlanmıştır. Genelde kullanım aralıkları 100 ila 300 kW’tır. Sıcaklık değerleri ise 650 °C’a kadar çıkabilir. Boyut olarak gaz türbinlerinden çok daha küçük olması kullanımı, taşınması ve montaj mahalli açısından kolaylık sağlamaktadır. Enerji üretimi değerinin küçük olmasından dolayı büyük endüstriyel tesislerde kullanım için uygun değildir. Ancak düşük enerji gereksinimli tesislerde ve işyerlerinde, konutlarda kullanım için uygundur. Ayrıca yüksek sıcaklık ihtiyacı için kullanımda buhar üretimi, termoyağ ısıtması ve atık gaz ile kurutma proseslerinde kullanılabilir. Bütün bunların yanında, mikrogaz türbinleri genel olarak kojenerasyon sistemlerinde kullanılmakta ve elektrik enerjisinin yanında atık gazları ile ısı enerjisi üretimine de katkı sağlamaktadırlar. Çünkü bir mikrogaz türbininin atık gaz çıkış sıcaklığı en az 260 °C civarındadır. Bu atık gazın ısı alınıldığında türbinin ve sistem kompresörünün elektrik enerjisi üretiminin yanında ısıtma amaçlı da kullanılması söz konusu olmaktadır.

Mikrotürbinler, oldukça küçük, ancak çok yüksek devirde dönebilen bir gaz türbini ve türbin mili içerirler. Bugüne kadar yapılmış uygulamalara göre, mikrogaz türbini sadece yeni bir teknoloji olmaktan çok proses ısısı üretiminde kullanılan kojenerasyon sistemlerinde kullanım için uygundur. Birincil enerji tasarrufu ve ekonomik verimlilik sağlar. Ayrıca ısı ve elektrik üretimi sırasında düşük CO₂ emülsiyonu sağlayarak çevre kirlenmesini de daha az etkiler.

Bu çalışmada, Capstone Türbine Corporation tarafından üretilmiş olan Capstone C30 model mikrogaz türbini kullanılacaktır.

Capstone C 30 model mikrogaz türbini için teorik değerler:

Tasarlanan sistemde tercih ettiğimiz Capstone marka C 30 model mikrogaz türbini tam verimde çalıştırılırsa, $P_{el} = 30$ kW elektrik enerjisi ve buna bağlı olarak verimi $\eta_{el} = 0,36$ olur. Ancak mikrogaz türbininin bir kojenerasyon sisteminde kullanılması istendiğinde, alınmak istenilen sıcaklık değeri değişebilir olduğundan, bu verimlilik değeri belirlenemez. Çünkü bu değer yanmış gazdan istenilen sıcaklığa göre değişecektir.

Bu çalışmada, tasarlanacak olan biyogaz tesisinde kurulması düşünülen Capstone C 30 model mikrogaz türbini için bazı teorik değerler Tablo 3.5'te gösterilmiştir.

Tablo 3.5. Capstone C 30 model mikrogaz türbini için teorik değerler

Güç	30 kW net (± 2) 38,2 kVA
Toplam Gaz Çıkışı	420.000 BTUs/Hr
Gaz Giriş Sıcaklığı	0.2-55 psi
Verim (LHV)	%26 (± 2)
Isı Oranı (LHV, BTUs/kWh)	13,10
Toplam Egzost Enerjisi	310.000 BTUs/Hr
Egzost Gazı Sıcaklığı	530 °F
Kütle Akışı	0,49 Lbs/s

3.4.3. Gaz motoru ya da dizel motor kojenerasyonu

Gaz motorlarında atık ısının yaklaşık 1/3 oranı egzost gazından, 2/3'ü de motorun soğutma sistemlerinden geri kazanılır. Buna egzost eşanjöründen elde edilen ısı eklenir. Motor kojenerasyon sistemlerinin bu soğutma gerekliliği ile geri kazanılan ısı, sıcak olarak kullanılabilir. Böyle bir sistemde toplam sistem verimi %90 seviyesini geçebilir.

Gaz motorları küçük güçlerde, Türkiye'de özellikle 1 MW seviyelerinde uygulanır. Tek modülde 100 kW seviyelerinden 3 MW seviyelerine kadar motorlar mevcut olup, bunların çoklu modülleri ile yapılan santrallerde 10 MW seviyelerine ulaşılabilir (Ekren ve Yılmaz, 2004).

3.4.4. Kojenerasyon sisteminde kullanılan yakıtlar

Kojenerasyon sistemleri, kömür, petrol türevi yakıtlar; dizel, fuel-oil 4, fuel-oil 6, doğalgaz, biyogaz, propan, kok gazı, pyrolis (odun) gazı gibi çeşitli yakıtlarla çalıştırılabilir. Isıl değerler incelendiğinde ise çöplüklerde oluşan gazlar kojenerasyon sistemlerinde değerlendirilebilir. Böylece hem çöplükler daha güvenli hale gelir hem de yakıt masrafsız karşılanmış olur. Yakıt seçimindeki en önemli kriter, yakıt fiyatı ve bulunabilme güvenliğidir. Dünya rezervlerinin tükenme durumdan dolayı sıvı ve gaz yakıtlar tercih edilirken işletme ömrü göz önüne alınmalıdır. Tablo 3.6'da bazı yakıtlara ait değerler gösterilmiştir.

Tablo 3.6. Yakıt değer çizelgesi

Yakıt	Öz Kütlesi (kg/Nm ³)	Alt Isıl Değer (kWh/Nm ³)	Metan Sayısı	Lam Alev Hızı (cm/sn)
H ₂	0,0899	2,996	0	302
CH ₄	0,717	9,971	100	41
C ₃ H ₈	2,003	26	33	45
CO	1,25	3,51	75	24
Doğalgaz	0,798	10,14	80	41
Aritma gazı	1,158	6,5	135	27
Çöplük gazı	1,274	4,98	150	20
Odun gazı	1,25	1,38	13	

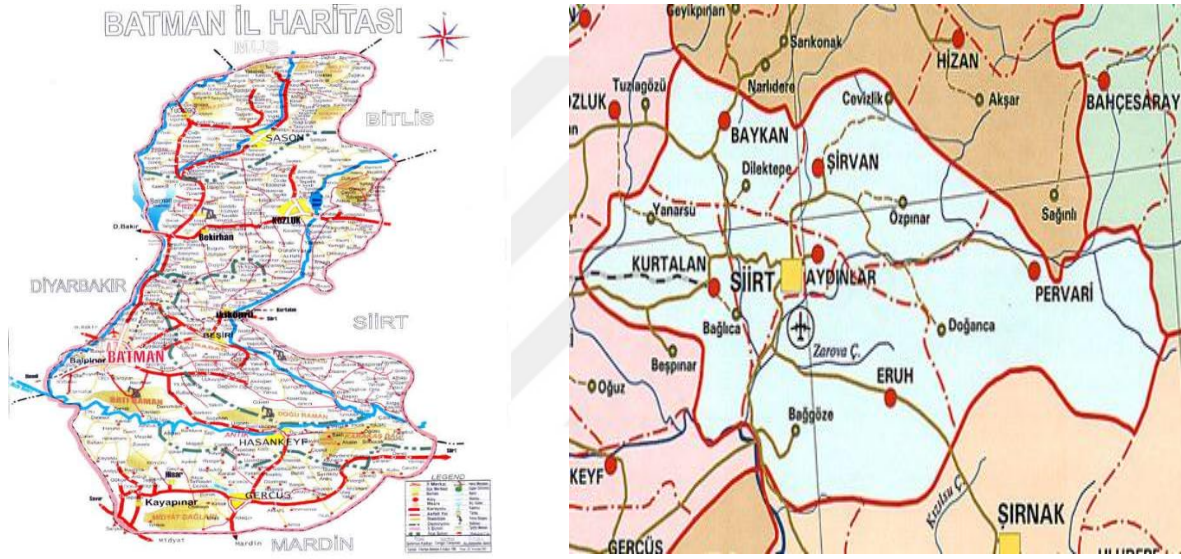
3.4.5. Kojenerasyon sisteminin avantajları

- Sistemin enerji çevrim verimi yüksektir.
- Sistemde çeşitli yakıtlar kullanılabilir.
- Enerji üretimi ucuz ve kalitelidir.
- Elektrik ya da ısı enerjisi elde etmek için sistemde kullanılan enerji kaynaklarından tasarruf edilir.
- Enerji üretimi bu enerjinin tüketileceği yerde gerçekleştirilir, böylece elektrik enerjisi iletim ve dağıtım kayıpları yok edilir.
- Isı üretimi sonucu, çevreye atılan katı, sıvı ve gaz madde miktarı, yalnız elektrik üreten enerji santraline veya yalnız buhar üreten bir endüstri kazanına göre daha az olur.
- Enerji giderlerinin azalması, ürün kalitesini düşürmeden, ürün maliyetini azaltır ve şirketin rekabet gücünü artırır.



4. BATMAN İLİNİN BİYOGAZ POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ

Bu bölümde Batman ve Siirt illeri için biyogaz üretim kapasiteleri araştırılmıştır. Enerji bakımından dışa bağımlı olan ülkemiz için biyogazdan enerji üretip ve bu enerjiyi günlük ve endüstriyel hayatta kullanmak son derece önemlidir. Ülkemizde biyogaz enerjisi üzerine yapılan çalışmalar ve kurulan tesisler genellikle batı şehirlerini ve birkaç orta Anadolu şehirlerini kapsamıştır. Bölüm 2’de ülkemizdeki mevcut biyogaz tesisleri başlığı altında detaylı olarak konuya değinilmiştir. Bu çalışma da bilhassa biyogaz enerjisinin Batman ve Siirt illeri için olan önemi ve potansiyeli detaylı bir şekilde araştırılmıştır.



Şekil 4.1. Batman ve Siirt il haritaları

4.1. Batman’ın Coğrafi Konumu

Batman ili 41 derece 10 dakika ve 41 derece 40 dakika doğu boylamları ile 38 derece 40 dakika ve 37 derece 50 dakika kuzey enlemleri arasında yer alır. Batman ili Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin Dicle Bölümü'nde deniz seviyesinden 550 metre yükseklikte yer almaktadır. Komşuları olarak güneydoğusunda; Bitlis, Siirt; kuzeyinde; Muş; batısında; Diyarbakır ve güneyinde Mardin illeri ile çevrilidir. Düz bir arazi üzerinde kurulan Batman ilinde karasal iklim hakimdir. Bölgede yazlar sıcak ve kurak, kışlar ise nispeten ılık ve yağışlı geçer. Kuzey ve kuzeydoğusu dağlık ve sarp olup; güney, dağlık ve engebelidir. Batman il merkezi verimli ovalara sahip Batman Çayı havzasında kurulmuştur. İlin doğusunda petrol üretimi yapılan 1288 metre yüksekliğe sahip Raman Dağları yer alır. Bu dağların bir diğer özelliği de Türkiye'de petrolün ilk bulunduğu dağlar olmasıdır.

4.2. Batman İlindeki Bazı Hayvanların Atık Miktarları

Batman ili için elde edilecek olan biyogaz miktarını belirlemede kullanılacak olan hayvansal atıkların ne kadar olduğunun belirlenmesi amacıyla, Batman ili ve ilçelerindeki bütün hayvan çeşitleri ve sayıları Tablo 4.1-4.2-4.3'te gösterilmiştir.

Tablo 4.1. Batman ili ve ilçeleri için büyükbaş hayvan sayıları (Batman İli Tarımsal Yatırım Rehberi, 2015)

İlçe Adı	Buzağı	Dana-Düve	İnek	Boğa-Tosun	Manda	Toplam
Merkez	702	4.222	7.247	3.672	101	15.944
Beşiri	200	1.200	3.594	389	3	5.386
Gercüş	102	546	1.698	520	-	2.866
Hasankeyf	205	108	456	90	-	859
Kozluk	714	5.250	12.630	3.042	201	21.837
Sason	702	3.833	5.708	2.305	-	12.548
TOPLAM	2.625	15.159	31.333	10.018	305	59.440

Tablo 4.2. Batman için küçükbaş hayvan sayıları (Batman İli Tarımsal Yatırım Rehberi, 2015)

İlçe Adı	Keçi	Koyun	Toplam
Merkez	12.000	170.000	182.000
Beşiri	13.000	95.000	108.000
Gercüş	10.000	35.000	45.000
Hasankeyf	5.000	10.000	15.000
Kozluk	12.000	90.000	102.000
Sason	15.000	30.000	45.000
Toplam	67.000	430.000	757.000

Tablo 4.3. Batman için kanatlı hayvan sayıları (Batman İli Tarımsal Yatırım Rehberi, 2015)

İlçe Adı	Tavuk	Hindi	Ördek	Kaz
Merkez	62.500	26.500	2.200	3.700
Beşiri	37.795	12.444	270	410
Gercüş	11.800	950	25	610
Hasankeyf	988	33	0	35
Kozluk	2.100	19.200	2.850	1.850
Sason	4.683	2,184	692	357
TOPLAM	119.866	61.311	5.997	6.962

Farklı hayvan türlerinden, hayvanın türüne, beslenme alışkanlığına, büyüklüğüne bağlı olarak farklı miktarlarda dışkı elde edilir. Biyogaz tesisleri için atık oranları hesaplanırken toplam büyükbaş ve küçükbaş hayvan et ve yumurta tavuğu dikkate alınmıştır. Diğer hayvanların sayıları az olduğundan veya dışkılarının toplanması mümkün olmadığından, hesaplamalara dahil edilmemişlerdir.

Tablo 4.4'te büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvanların yıllık dışkı miktarları ve Tablo 4.5'te bu dışkılardan elde edilen biyogaz miktarı gösterilmiştir.

Tablo 4.4. Büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvanların yıllık dışkı miktarları

Hayvan Adedi	Hayvan Cinsi	Yaş Gübre Miktarı (Ton/Yıl)
1	Büyükbaş	3,6
1	Küçükbaş	0,7
1	Kanatlı	0,022

Tablo 4.5. Büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvan dışkılarındaki biyogaz miktarı (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2015)

Gübre Cinsi	Gübre Miktarı	Elde Edilecek Biyogaz Miktarı (m ³ /yıl)
Büyükbaş	1 Ton	33
Küçükbaş	1 Ton	58
Kanatlı	1 Ton	78

Hayvanlar ahırlarda, çayır ve meralarda otlatılmadan tutulmaktadır. Ayrıca doğu bölgelerinde ise uzun otlatma günleri, dışkının biyogaz üretimi için toplanmasını imkansız hale getirmiştir, bu yüzden Batman ili için hayvan dışkı miktarları hesaplanırken toplam dışkının %30'u dikkate alınmıştır. Teorik biyogaz potansiyeli hesaplamaları için Tablo 4.6'da belirtilen veriler kullanılmıştır.

Tablo 4.6. Büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvanların dışkı toplanma oranları (Türk-Alman Biyogaz Projesi Raporu, 2011)

Hayvan Türü	Toplanabilir Hayvan Dışkısı Oranları
Süt sığırı	0,5
Besi Sığırı	0,5
Et tavuğu	0,99
Yumurta tavuğu	0,99

4.3. Batman İlindeki Hayvansal Atıklardan Biyogaz Üretim Kapasitesinin Belirlenmesi

Biyogaz üretim kapasitesinin belirlenmesi için Tablo 4.1'den Tablo 4.6'ya kadar olan veriler kullanılarak Tablo 4.7-4.8-4.9'da büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvanlara ait birim kilogram dışkı başına üretilen metan gazı miktarları hesaplanmıştır.

Tablo 4.7. Batman ili ve ilçeleri günlük büyükbaş hayvanlar için biyogaz üretim değerleri

İlçe Adı	Büyükbaş Hayvan Sayıları	Günlük Dışkı Üretimi (kg)	Toplanabilir Atık Miktarı (%30) kg	Metan Miktarı (m ³)
Merkez	15.944	159.440	47.832	1.148
Beşiri	5.386	53.860	16.158	388
Gercüş	2.866	28.660	8.598	206
Hasankeyf	859	8.590	2.577	62
Kozluk	21.837	218.370	65.511	1.572
Sason	12.548	125.480	37.644	903
TOPLAM	59.440	594.400	178.320	4.280

Tablo 4.8. Batman ili ve ilçeleri için günlük küçükbaş hayvanlar için biyogaz üretim değerleri

İlçe Adı	Küçükbaş Hayvan Sayıları	Günlük Dışkı Üretimi (kg)	Toplanabilir Atık Miktarı (%30) kg	Metan Miktarı (m ³)
Merkez	182.000	364.000	109.200	2.621
Beşiri	108.000	216.000	64.800	1.555
Gercüş	45.000	90.000	27.000	648
Hasankeyf	15.000	300.000	9.000	216
Kozluk	102.000	204.000	61.200	1.469
Sason	45.000	90.000	27.000	648
Erkek Sayısı	260.000	520.000	156.000	3.744
Toplam	757.000	1.514.000	454.000	10.901

Tablo 4.9. Batman ili ve ilçeleri için günlük kanatlı hayvanlar için biyogaz üretim değerleri

İlçe Adı	Kanatlı Hayvan Sayıları	Günlük Dışkı Üretimi (kg)	Toplanabilir Atık Miktarı (kg)	Metan Miktarı (m ³)
Merkez	94.900	5.694	5.637	395
Beşiri	730.329	48.814	43.376	3.036
Gercüş	13.385	803	795	56
Hasankeyf	1.056	63	63	4
Kozluk	25.960	1.558	1.542	108
Sason	7.916	475	470	33
TOPLAM	873.456	52.476	51.883	3.632

4.4. Batman İlindeki Tarımsal Atık Miktarları ve Biyogaz Üretim Kapasitesi

Batman ili genelinde, tarıma elverişli arazilerin belirlenmesi ve bu arazilerde yetiştirilen bütün tarım ürünlerinin kapsamlı bir şekilde tespit edilmesi ve bu ürünlerden biyogaz üretme verimliliği ve çok miktarda yetiştirilen ürünlerin belirlenmesi, bu ürünlerden oluşacak atıklara ulaşım yöntemlerinin belirlenmesi, bu atık ürünlerin yüzde kaçının tam olarak biyogaz üretimi için kullanılabileceğinin tespiti yapılmıştır. Tablo 4.10'da Batman ili tarım alanları ve üretim miktarları ve Tablo 4.11'de Batman ili tarım ürünleri üretim alanları, miktarları ve verimleri gösterilmiş ve hesaplanmıştır.

Tablo 4.10. Batman ili tarım alanları ve üretim miktarları (Batman İli Tarımsal Yatırım Rehberi, 2015)

	Alan (dekar)	2015 Üretim (ton)
Tarla Bitkileri	1.000.343	382.068
Meyve	104.167	42.999
Sebze	42.949	97.231

Tablo 4.11. Batman ili tarım ürünleri üretim alanları, miktarları ve verimleri (Batman İli Tarımsal Yatırım Rehberi, 2015)

Ürün adı	Ekilen Alan (dekar)	Üretim (ton)	Verim (kg/da)
Arpa	40.985	12.459	304
Buğday (Ekmeklik)	522.154	133.671	256
Buğday (Makarnalık)	82.189	19.590	238
Fiğ	1541	506	329
Kırmızı Mercimek	46.285	9.534	206
Mısır, dane	36.028	27.272	757
Mısır, silajlık	13.429	60.537	4.508
Mürdümük	2.673	1.002	375
Nohut	4.447	662	149
Pamuk	5.713	2.542	445
Tütün	111	35	320
Yonca	924	746	808

Tarımsal artıkların biyogaz potansiyel hesaplamaları için, tahıl sapları ve nadas arazileri üzerinde ekimi mümkün enerji bitkileri ele alınmıştır. Profesör Yıldız'a (2004) göre, Türkiye'nin tarımsal artıklarına ilişkin var olan durum aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

Hasat zamanından sonra, tarımsal ekinlerin artıkları genelde toplanır ve depolanır. Depolama süresince bu artıklar kurutulur. 3-4 ay sonra ise yakılırlar. Genel olarak, taze materyal biyogaz üretimi için kullanılmalıdır. Diğer türlü, artıkların silolanması şarttır. Silolama işleminden sonra bu silaj tüm yıl boyunca biyogaz üretimi için kullanılabilir. Bu durumun Batman İli şartları açısından uygulanabilirliği çok yüksektir. Şu an için sadece hayvanların beslenme ihtiyaçları karşılanabilmektedir ve diğer kalan atık malzemeler ne yazık ki arazilerde çürümeye bırakılmaktadır.

Batman'da toplam tarım arazilerinin %67'si tahıl üretimi için kullanılmaktadır. Buğday üretimi, toplam tahıl üretimi içinde %54'lük paya sahiptir. Farklı tahıllar farklı miktarda artık oluşturur. En yüksek miktarda artık (kg/da) sorgumdan (süpürge darısı) elde edilebilir. Buğday saplarından uygun teknoloji mevcut ise (yüksek ön işlem) ya da şeker pancarı gibi çabuk bozunabilir ürünlerle beraber kombine etmek mümkünse, yüksek miktarda biyogaz elde edilebilir. Dahası, humusun yeniden üretilebilme potansiyeli için sapların bir kısmı tarlada bırakılmalıdır. Bu durum, toprağın yapısına bağlı olarak değişir ve gerçekçi oranların belirlenmesi için Türkiye bazında, toprak kalitesi ile alakalı detaylı araştırma yapılması gereklidir. Sapların mevcut kullanım yöntemleri ile ilgili daha fazla bilgi edinilmesi de gereklidir. Türkiye'de sapların en yaygın kullanımı hayvancılıkta yem olarak kullanılmaktadır. Sapların yakılması da diğer bir yaygın uygulamadır. Bu durum nitrat kaybına, hava kirliliğine ve sera gazı emisyonlarında artışa neden olmaktadır. Biyogaz tesislerinden gelen son katı ürün, digestat gübre olarak kullanılabilir. Bu yolla, hektar başına tahıl üretim verimini, toprağın kalitesini artırmak ve hava kirliliğini azaltmak mümkündür.

Tahılın biyogaz potansiyel hesaplarını yapabilmek için, TÜİK, 2010 veri tabanında yayınlanan tahıl hasat arazilerinin büyüklüğü (da) ve farklı tahılların potansiyel sap artık miktarları (kg/da) için ise Teknodan çalışması kullanılmıştır.

Tablo 4.12. Farklı tahıl türlerinden elde edilen artık miktarları (Türk-Alman Biyogaz Projesi Raporu, 2011)

Tahıl Çeşidi	Artık Miktarı (kg/da)
Arpa	200
Buğday	325
Çavdar	450
Pirinç	600
Mısır	1.480
Sorgun	1.975
Trikale	738
Yulaf	434

Tablo 4.13. Çeşitli bitki atıklarının biyogaz verimleri (Sabuncu, 2010)

Kaynak	Biyogaz Verimi (l/kg)	Metan Oranı (% Hacim)
Sığır Gübresi	90-310	65
Kanatlı Gübresi	310-620	60
Buğday Samanı	200-300	50-60
Mısır Sapları ve Atıkları	380-460	59
Keten-Kenevir	360	59
Sebze Atıkları	330-360	Değişken
Ziraat Atıkları	310-430	60-70
Algler	420-500	63
Atık Su Çamuru	310-800	65-80

Batman ilindeki mevcut farklı tahıl türlerinden elde edilen artık miktarları Tablo 4.12'de, yetiştirilen bazı ürünlerden elde edilen atıkların kg başına oluşturdukları metan gazı miktarları litre bazında Tablo 4.13'de verilmiştir. Tablo 4.11-12-13'de bulunan verilere göre hesaplanan biyogaz miktarları hesaplanarak Tablo 4.14' te gösterilmiştir.

Tablo 4.14. Batman ili için çeşitli bitki atıklarından elde edilen yıllık metan miktarı

	Ekili Alan (da)	Atık Miktarı (Ton)	Toplanabilir Atık Miktarı (%50)	Organik Kuru Madde Oranı	Metan Miktarı (m³)
Arpa	40.985	8.197	4.099	1.025	307.388
Buğday	604.343	196.411	98.206	24.551	4.910.287
Mısır	36.028	11.709	17.329	4.332	1.516.328
Mısır, Silaj	13.429	4.364	60.538	15.134	5.058.793
Yeşil Ot	5.138	1.670	835	209	62.619
Tahıl	46.285	15.043	3.009	752	225.639
Toplam	746.208	237.394	184.015	46.004	13.076.055

Batman ili için, ürünlerin depolanabilme ve saklanabilme koşullarının yerine getirildiği düşünülerek bitkisel atıklardan günlük olarak elde edilebilecek biyogaz miktarı 50.519 m³ ve olarak hesaplanmıştır. Batman ilinde günlük tarımsal ve hayvansal atıklardan elde edilecek toplam biyogaz miktarları Tablo 4.15'te gösterilmiştir.

Tablo 4.15. Batman ilinin sahip olduğu günlük toplam biyogaz potansiyeli

Atık Çeşitleri	Metan Miktarı (m³)
Büyübaş Hayvan Atığı	4.279
Küçükbaş Hayvan Atığı	10.900
Kanatlı Hayvan Atığı	3.631
Bitkisel Atıklar	50.519
Toplam	69.329



5. SİİRT İLİNİN BİYOGAZ POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ

5.1. Siirt İlinin Coğrafi Konumu

Siirt ili topraklarının büyük bir bölümü dağlarla kaplıdır. Kuzeyde Muş Güneyi Dağları, doğuda Siirt Doğusu Dağları ilin doğal sınırlarını oluşturan sıradağlardır. 1990 yılında değişen sınırlardan sonra Siirt ilinin yüzölçümü 6.186 km²'ye inmiş olup, km²'ye 42 kişi düşmüştür. 2011 yılı Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemine göre 5.473 km²olan yüzölçümüne karşılık 310.468 kişilik nüfusu ile km²'ye 57 kişi düşmektedir.

Siirt ilinde yeryüzü şekilleri içinde en ağırlıklı yeri yaklaşık olarak % 75 ile dağlar alırken, bunu yaklaşık % 22 ile ovalar izlemektedir.

5.2. Siirt ilindeki Bazı Hayvanlardan Elde Edilen Atık Miktarları

İl genelinde, biyogaz üretimi için kullanılacak olan hayvan atıkları hesaplanırken toplam büyükbaş ve küçükbaş hayvan sayıları dikkate alınmıştır. Diğer hayvanların sayıları az olduğundan veya atıklarının toplanması mümkün olmadığından, hesaplamalara dahil edilmemiştir. Tablo 5.1'de Siirt ili genelindeki büyükbaş ve küçükbaş hayvan sayıları gösterilmiştir.

Tablo 5.1. Siirt ili geneli büyükbaş ve küçükbaş hayvan sayıları (Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi, 2015)

	Siirt İli Toplam Hayvan Sayısı
Büyükbaş Hayvan Sayısı	30.828
Küçükbaş Hayvan Sayısı	899.873

5.3. Siirt İlinin Hayvansal Atıklardan Biyogaz Üretim Kapasitesinin Belirlenmesi

Biyogaz üretim kapasitesinin belirlenmesi için; Tablo 5.1'deki veriler kullanılarak Tablo 5.2'de Siirt ili için hayvansal atıklardan elde edilen metan gazı miktarı hesaplanmıştır.

Tablo 5.2. Siirt ili için hayvansal atıklardan elde edilen metan miktarı

Siirt	Günlük Dışkı Üretimi (kg)	Toplanabilir Atık Miktarı (%30) kg	Metan Miktarı (m³)
Büyükbaş Hayvan	308.280	92.484	2.219
Küçükbaş Hayvan	1.799.746	539.924	12.959

5.4. Siirt İlinin Tarımsal Atık Miktarları ve Biyogaz Üretim Kapasitesi

Siirt ili genelinde bitkisel atıklardan üretilecek olan biyogaz miktarını belirlemek için, başlıca ve yoğunluklu olarak yetiştirilen tarımsal ürünler baz alınmıştır. Hesaplamalarda buğday ve arpa, mısır silajı, hububatlar ve yeşil ot (yonca, fiğ ve korunga) gibi tarımsal ürünler kullanılmıştır.

Siirt ilinde (2014 yılı verilerine göre), toplam arazi varlığı 562.667 hektar olup, mevcut arazi varlığının %18,3'ünde tarım yapılabilmektedir. Ormanlık ve fundalık alan 214.394 hektar ile toplam alan içindeki %8,1 oranıyla en fazla yer kaplarken, çayır ve mera alanı 124.441 hektar, tarım dışı arazi miktarı ise 120.938 hektardır. Tablo 5.3'te Siirt ilinin kullanım durumuna göre arazi dağılımı gösterilmiştir.

Tablo 5.3. Siirt ilinin kullanım durumuna göre arazi dağılımı (Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi, 2015)

İlçeler	Yüzölçümü (ha)	Tarım Arazisi (ha)	Orman ve Fundalık (ha)	Çayır ve Mera (ha)
Merkez	63.549	17.351	19.414	12.542
Tillo	11.998	4.110	2.123	2.197
Baykan	48.499	7.491	22.092	9.882
Eruh	100.440	8.388	57.768	23.062
Kurtalan	80.422	50.399	6.624	9.908
Pervari	162.998	8.765	71.515	45.241
Şirvan	94.799	6.390	34.394	21608
Toplam	562.667	102.894	214.394	214.441

Siirt ili tarımsal ürün deseni incelendiğinde tarım arazilerinin %41,3'ünde hububat ekiminin yapıldığı, bunu %23,1 ile meyve dikili alanların takip ettiği görülmektedir. Kırsal kesimde ekim yapılan alanlar ile nadas alanlarının tarım arazisi içindeki payı (%16,7 dekar) önemli yer kaplamaktadır. Toplam tarım alanı içerisinde yem bitkilerinin ekiliş alanı ise 7.921 hektar olup, oldukça düşük düzeydedir.

Tablo 5.4'te Siirt ilinin tarım arazilerinin kullanım durumuna göre sınıflandırılması gösterilmiştir.

Tablo 5.4. Siirt ilinin tarım arazilerinin kullanım durumuna göre sınıflandırılması (Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi, 2015)

T. Arazi (ha)	Merkez	Tillo	Baykan	Eruh	Kurtalan	Pervari	Şirvan	Toplam
Hububat	3.200	200	2.475	3.350	29.750	1.700	1.800	42.475
Nadas	2600	1.500	2.500	11	9.000	-	1.500	17.111
Sebze	395	8	150	532	823	65	50	2,023
Meyve	9.000	2.330	1.783	3.017	4.006	1.070	2.550	23.756
Bağ	200	60	450	600	750	60	180	2.300
Baklagil	1.100	-	60	140	3.530	20	8	4.858
Endüstri Bitkisi	280	-	-	-	2.170	-	-	2.450
Yem Bitkileri	143	3	107	866	48	5.867	887	7.921
Toplam	17.351	4.110	7.491	8.386	50.399	8.765	6.390	102.894

Tablo 5.5. Siirt ilinde yem bitkilerinin ekiliş ve üretim durumu (Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi, 2015)

İlçeler	Yonca (da)	Korunga (da)	Fiğ (da)	Silajlık Mısır (da)	Toplam (da)
Merkez	-	-	809	617	1.426
Tillo	-	-	29	-	29
Baykan	-	-	1.070	-	1.070
Eruh	111	28	8.520	-	8.659
Kurtalan	101	-	380	-	481
Pervari	10.192	18.761	29.420	295	58.668
Şirvan	721	6,955	1,194	7	8.877
Toplam	11.125	25.744	41.422	919	79.210

Siirt ilinde yem bitkileri yetiştiriciliği incelendiğinde; yem bitkileri üretimi amacıyla fiğ, korunga, yonca ve silajlık mısır tarımının yaygın olduğu, 41.422 dekar ile en fazla fiğ ekiminin yapıldığı, bunu 25.744, 11.125 ve 919 dekar ile sırasıyla korunga, yonca ve silajlık mısır ekilişinin takip ettiği tespit edilmiştir. Tablo 5.5'te Siirt ilinde yem bitkilerinin ekiliş ve üretim durumu gösterilmiştir.

Biyogaz üretim kapasitesinin belirlenmesi için; Tablo 5.3-5.4-5.5'deki veriler kullanılarak Tablo 5.6'da bitkisel atıklardan elde edilebilecek biyogaz miktarları hesaplanmıştır.

Tablo 5.6. Siirt ili için bitkisel atıklardan elde edilecek biyogaz miktarı

	Ekili Alan (da)	Atık Miktarı (Ton)	Toplanabilir Atık Miktarı (%50)	Organik Kuru Madde Oranı	Metan Miktarı (m³)
Buğday	4.000	1.300	650	163	32.500
Mısır(silaj)	919	1.379	1.379	345	137.850
Yeşil Ot	78.291	25.445	12.722	3.131	954.172
Hububat	42.475	13.804	2.761	690	207.066
Toplam	125.685	41.927	17.512	4.378	1.331.587

Tablo 5.7’de Siirt ilinde tarımsal atıklardan günlük olarak elde edilebilecek atık miktarı ve biyogaz miktarı hesaplanmıştır. Siirt ili koşullarında üretilecek atıkların uygun bir biyogaz tesisi kurulumu için ve bu biyogaz tesisinin sürekli beslemeli olarak çalışabilmesi için atıkların depolanmasının düşünüldüğü varsayılarak günlük olarak tarımsal atıklardan elde edilebilecek biyogaz miktarı 3.648 m³ olarak hesaplanmıştır. Siirt ili için hayvansal ve bitkisel atıklardan elde edilebilecek toplam biyogaz miktarı 18.283 m³ olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5.7. Siirt ilinin sahip olduğu günlük biyogaz potansiyeli

Atık Çeşitleri	Metan Miktarı (m³)
Büyübaş Hayvan Atığı	1.677
Küçükbaş Hayvan Atığı	12.958
Bitkisel Atıklar	3.648
Toplam	18.283

6. ÖRNEK BİYOGAZ TESİSİ KURULUMU

6.1. Siirt'in Kurtalan İlçesinde Bir Biyogaz Tesisinin Kurulumu

Bu bölümde coğrafi konumu ve potansiyeli itibari ile hayvansal ve bitkisel atıklara ulaşımın kolay olduğu Batman ve Siirt illeri arasında bulunan Kurtalan ilçesinde biyogaz kapasitesi günlük 11.000 m³ olan bir tesis kurulumu tasarlanmıştır. Ayrıca Kurtalan ilçesinin konumu itibari ile Batman ve Siirt illerindeki farklı çiftliklerden ve hayvan yetiştiriciliği yapan tesislerden biyogaz tesisi için gerekli olan atıkların kolayca elde edilebileceği, ekstra ulaşım için bir maliyet oluşmayacağı için bu bölge seçilmiştir.

Kurulacak olan tesis için; atıkların yaklaşık olarak 5000 adet (2000 et, 3000 süt olmak üzere) büyükbaş hayvandan ve ilçe geneli ve çevre ilçelerde yetiştirilen tarımsal atıklardan temin edilmesi, yaklaşık olarak günlük 80 ton büyükbaş hayvan atığı, 4,93 ton mısır silajı, arpa ve buğday sapının kullanılması planlanmıştır.



Şekil 6.1. Siirt ili, Kurtalan ilçesi

6.2. Tesis Tipinin Belirlenmesi

Yukarıda açıklanan atıkların günlük olarak kullanabilecek ve bu atıklardan biyogaz enerjisi elde edilebilecek bir biyogaz tesis tipinin seçilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda sürekli beslemeli bir biyogaz tesisinin kurulumu tasarlanmıştır. Şekil 6.2 ve Şekil 6.3'de bir biyogaz tesisinin temsili resmi gösterilmiştir.



Şekil 6.2. Biyogaz üretim tesisinin resmi



Şekil 6.3. Örnek Biyogaz Tesisi

6.3. Tesisin Kapasitesinin Belirlenmesi

Tesis için gerekli olan atık miktarı yukarıda belirtilmiştir. Belirlenen bu atıklara göre tesisin çalışabileceği kapasite ve üreteceği elektrik miktarı Tablo 6.1'de verilmiştir. Yapılan hesaplamalar Bioconstruct ve Zorg biyogaz üretim tesisleri kuran firmalar ile yapılan görüşmeler sonucu oluşturulmuş, kurulacak olan tesis için fiyat teklifi niteliği taşımaktadır.

Tablo 6.1. Biyogaz tesisinin yıllık atık ihtiyacı ve üretilen güç (elektrik gücü) kapasitesi

Parametreler	Miktar
Ortalama yıllık madde akışı	74.800 t
Gerekli olan fermentör hacmi	8.197 m ³
Saatte üretilen biyogaz	495 m ³
Kurulu elektrik gücü	1.052 kW
Yıllık üretilen elektrik miktarı	9.216.512 kWh
Yıllık üretilen ısı miktarı	9.409.116 kWh

Tablo 6.2’de ise, tesise günlük olarak yüklenecek olan atık miktarlarına göre tesisin oluşturacağı gaz oranları ve verimleri gösterilmiştir.

Tablo 6.2. Tesiste kullanılacak olan atık ve oluşturacakları gaz miktarları (günlük)

Günlük Madde Girişi (ton)	Materyal	Günlük gaz çıkışı		Günlük materyal		
		Hacim (m ³)	Kütle (t)	Toplam (t)	KM (t)	KM içeriği (%)
80	Katı dışkı	2.296	2,8	77,2	5,29	6,9
120	Sulu dışkı (az samanlı)	8.505	10,4	109,6	19,9 6	18,2
4,9	Mısır silajı	1.068	1,3	3,6	0,36	9,8
204,9	Toplam	11.879	14,6	192,4	25,6	13,5

Tesise yıllık olarak girecek olan madde miktarları, tesisten çıkacak olan sıvı ve katı madde miktarları, gerekli olacak deponun kapasitesi, depolama süresi Tablo 6.3'te gösterilmiştir.

Tablo 6.3. Tesis için yıllık madde giriş, çıkışı (sıvı-katı) ve depolama kapasitesi

Yıllık madde girişi	74.800 ton
Yıllık madde çıkışı	69.479 ton
Operasyon içindeki sıvı madde	49.773 ton
Operasyon içindeki katı madde	19.706 ton
Gerekli depolama kapasitesi	12.443m ³
Maksimal depolama süresi	3 aylık

6.4. Tesisin Kurulum Materyalleri

6.4.1. Reaktör

Biyogaz reaktörleri çelik panellerden yapılmış olup, yüksek kaliteli elamel materyalinden kaplı olmalıdır. Bu örtü uzun ömürlü olup kimyasal etkilere, korozyona ve darbelere dayanıklı olmalı. Konstrüksiyon hızlı şekilde kurulup toplanabilir şekilde üretilmeli. Betonarme yapılara göre çelik konstrüksiyon daha dayanıklı olup tüm mevsim kullanılabilir. Biyogaz sisteminde yapının karıştırıcılar, gözetim penceresi gibi tüm biyogaz sisteminin özellikleri hesaplanarak üretilmelidir. Şekil 6.4’de biyogaz üretim tesislerinde kullanılan bir reaktör gösterilmiştir.



Şekil 6.4. Zorg biyogaz üretim sistemlerinin tesislerinde kullandığı bir tür reaktör (Zorg biyogaz üretim sistemleri, 2015)

6.4.2. Yükleme ünitesi

Mısır silajı veya diğer katı maddeleri, biyogaz reaktörünün içine aktarma işlemini yapan ünitelere denir. Bu yükleme ünitesi aktarma işlemini helezonal bir sistem ile yapmaktadır. 2 adet helezonla 24 saat yükleme işlemi devamlı olarak yapılabilir. Şekil 6.5'te bir yükleme ünitesi gösterilmiştir.



Şekil 6.5. Zorg biyogaz üretim sistemlerinin tesislerinde kullandığı bir tür yükleme ünitesi (Zorg biyogaz üretim sistemleri, 2015)

6.4.3. Karıştırıcı

Karıştırıcılar reaktör içerisine toplanan atığın bekleme süresi boyunca daha fazla gaz üretiminin sağlanması için reaktör içerisine yerleştirilen mekanik bir sistemdir. Bu karıştırıcılar belirli aralıklar ile karıştırma işlemini yapmaktadır. Tesis tipine ve reaktörün yapısına göre çeşitli tip karıştırıcılar mevcuttur; dikey ve yatay karıştırıcılar. Karıştırıcılar biyogaz reaktörünün içinde çalışmasına yöneliktir.

6.4.4. Isı üretim ünitesi

Gaz üretiminin maksimum seviyede olması için reaktörün içerisinde bulunan atıkların belirli bir sıcaklık değerinde tutulması gerekir. Reaktör için gerekli olan sıcaklığı sisteme monte edilmiş bir ısı üretim sistemi sağlamaktadır. Reaktörün iç sıcaklığı +37 derecede tutulmalıdır. Reaktörün ısınması ısı iletkenleri ile yapılmaktadır. Reaktörün girişinde ısı iletkenlerinin sıcaklıkları +80 çıkışta ise +55 derecedir. Isı iletkenleri; kazanlar, pompalar ve ısı tutuculardır ve reaktör duvarına yerleştirilmişlerdir. Eğer biyogaz sistemi kojenerasyon ünitesi içeriyorsa soğutucu reaktör ısıtmasında da kullanılmalıdır. Biyogaz sisteminin ısıtıcıları biyogaz, doğalgaz, elektrik ile çalışabilir.

6.4.5. Gaz depolama ünitesi

Gaz depolama ünitesi reaktörden üretilen gazın toplandığı, muhafaza edildiği bir bölümdür bu bölüm çok hassas olup tasarımı ve kurulumu çok önem taşımaktadır. Biyogaz ambarıdır. Reaktör tepesindeki ünite sızdırmaz bir şekilde monte edilmelidir. İki bölümden oluşur dış bölme; PVC materyalinden üretilmiş kaplama olmalı yağış ve UV ışınlarına dayanıklı olmalıdır. Biyogaz ile direkt temas eden bölme ise PELD materyalinden üretilmiş olmalıdır. İç bölüm biyogaz ile temas ederken gerilir. Her iki bölmenin arasında hava olup iç bölüme basınç uygulanırken aynı zamanda dış bölümde etkilenir. İş bölümündeki biyogaz basıncı 200 ila 500 Pa'dır. Şekil 6.6' da bir biyogaz üretim tesisinde kullanılan gaz depolama ünitesi gösterilmiştir.



Şekil 6.6. Zorg biyogaz üretim sistemlerinin kurulumunu gerçekleştirdiği bir gaz deposu (Zorg biyogaz üretim sistemleri, 2015)

6.4.6. Seperatör

Fermente edilmiş ürünleri sıvı ve katı ürünlere ayırır. Parçaları paslanmaz çelik olmalıdır. Karışım pompa ile depolama ünitesine aktarılır. Toplama ünitesinden karışım separatör ile depolama ünitesine aktarılır. Separatör ünitesi silindir şeklinde elek olup sıkma yöntemiyle karışımı katı ve sıvı birimlere ayırır. Sıvı kısım borular ile sıvı toplama ünitesine alınır. Katı birim ise katı birim toplama ünitesine alınır. Şekil 6.7’de bir seperatör ünitesi gösterilmiştir.



Şekil 6.7. Zorg biyogaz üretim sistemlerinin tesislerinde kullandığı bir tür seperatör (Zorg biyogaz üretim sistemleri, 2015)

6.4.7. Yanma ünitesi

Sürekli veya zamanlı olarak biyogazı yakmak için üretilmiş olup, biyogazı kullanım imkanı olmadığında devreye girmektedir. Sistem brülör ve ek ünitelere oluşmaktadır. Brülör enjeksiyon yanmanın bir örneği olup, enjektör, hava verme ünitesi, yangından koruma birimi ve regülasyon biriminden ibarettir. Ünite paslanmaz çelikten olmalıdır. Brülörün yanma regülasyonu kutu içerisine monte edilmiştir.

6.4.8. Kojeneratör ünitesi

Daha önceden bahsedildiği gibi kojeneratör, biyogaz üretim tesisinde üretilen biyogazı yakarak elektrik ve ısı enerjisi üreten termik makinedir. Bu biyogaz üretim tesisinde meydana gelen gaz çok fazla olduğundan o gazı yüksek bir verimle yakabilecek ve yüksek performansta enerji üretecek bir kojeneratöre ve dolayısıyla bir kojeneratör ünitesine ihtiyaç vardır. Bu sistemde kullanılacak olan kojeneratörün performans gücü 1.191 kW’tır. Tablo 6.4’te biyogaz tesisinde elektrik üretimi için kullanılacak olan kojeneratörün teknik özellikleri ve Şekil 6.8’ de temsili bir resmi gösterilmiştir.

Tablo 6.4. Biyogaz tesisinde elektrik üretimi için kullanılacak olan kojeneratörün teknik özellikleri

BHKW	CHP Model 1
Adet	1
Konum	BGP
Hedeflenen çalışma kapasitesi	% 95
Kojenerasyon performans gücü	1.191 kW
CHP	GE Jenbacher JMS 416 B325
Yanma işlemi	Gaz
Kojenerasyon verim gücü	% 42
Termik ısı çıkış oranı	% 41
CHP saat başına gaz tüketimi	508 Nm ³
Tüm Kojenerasyonlarda üretilen Bruto ısı	9.911.502 kWh
Teknik uygunluk CHP için	% 97
Tüm CHP net elektrik üretimi	9.614.157 kWh
Tüm CHP net ısı üretimi	9.409.116 kWh
Ortalama performansı	1098 kWh
Toplam net elektrik üretimi	9.614.157 kWh



Şekil 6.8. Ajenitor marka bir kojeneratör (Ajenitor kojenerasyon makine kataloğu)

6.5. Tesis İçin Fiyatlandırma

6.5.1. Tesis kurulumu için alt yapı hazırlığı ve maliyeti

Yıllık 9.216.512 kWh elektrik enerjisi üretecek olan tesisin alt yapı çalışmaları için yapılacak olan uygulamalar çeşitli biyogaz üretim tesisi kuran firmalar tarafından keşfi yukarıdaki bahsedilen değerler doğrultusunda yapılmış ve aşağıdaki tablo hazırlanmıştır. Hazırlanan bu tablo tesisi kuracak olan kişinin aşağıdaki işleri yapabilme kapasitesine ve potansiyeline göre fiyatlar değişebilir, verilen fiyatlar Türkiye geneli ortalama bir fiyattır.



Şekil 6.9. İsviçre’de alt yapı çalışmaları yapılan bir biyogaz üretim tesisinin resimleri

Tablo 6.5. Tesis kurulumu için alt yapı çalışmaları

Yapılacak İşler	Açıklama	Adet	Birim Fiyat (TL)	Toplam (TL)
Arsa	Biyogaz tesis alanı	1		
Toprak hafriyat ve kazı işleri	Temel tabakasına kadar gerekli zemin niteliğini oluşturmak, boru hendekler, höyükler	1	300.000	300.000
Susuzlaştırmak, drenaj	Susuzlaştırma sistemi, yağmur havzası	1	20.000	20.000
Yol ve asfaltlama çalışmaları	Altyapı dahil (çakıl)	3.000 m ²	50	150.000
Şebeke bağlantısı	Orta ve alçak gerilim kablosu, gerekirse trafo	1	160.000	160.000
Tesis etrafı	Aydınlatma ve kamera	1	20.000	20.000
Binalar, bacalar, temeller	Fermentör ve pompa şaftları arasındaki işletme binası vb.	1	90.000	90.000
Kantar	60 tonluk	1	70.000	70.000
Makineler	Lastikli taşıyıcılar	1	100.000	100.000
Isı kullanım konsepti	X m boru, eşanjör vb.			
Diğer	Araçlar, yedek parça vb.	1	100.000	100.000
Faaliyete geçirme	Tesisin başlangıcı için ısı, aşı (inokülüm), yardımcı materyaller	1	110.000	110.000
Çukur açma		1	50.000	50.000
Beton inşaatı/tank			800.000	800.000
Planlama giderleri	Tavsiye, rapor, teslim alma	1	100.000	100.000
Toplam: (bu fiyatlandırma ve yapılacak işler tamamen tesis sahibi içindir.)				2.070.000

6.5.2. Tesisin Kurulumu için Gerekli Materyallerin Listesi ve Fiyatlandırılması

Biyogaz üretim tesisi ve elde edilen biyogazdan elektrik enerjisi üretmek için gerekli olan ekipmanlara ulaşım ve tedariki Türkiye şartlarında çok zor olmaktadır. Gerekli teknolojik ekipmanlara Almanya merkezli olmak üzere Rusya, ABD, Çin vb. ülkelerden ulaşılmaktadır. Tablo 6.5 ve Tablo 6.6'da ekipmanlara ait yaptığımız fiyat listesi Bioconstruct ve Zorg firmalarından alınan fiyat teklifleri doğrultusunda hazırlanmıştır.

Tablo 6.6. Biyogaz üretimi için gerekli teknolojik ekipmanların fiyat listesi

EKİPMANLAR	FİYAT (TL)
Reaktör Karıştırıcılar Seperatör Yükleme ünitesi Yakma ünitesi Kojeneratör ünitesi Gaz depolama ünitesi Otomasyon sistemi Isı üretim üniti Diğer teknolojik ekipmanlar	9.405.000
Toplam:	9.405.000

6.6. Tesisin işletme maliyetleri

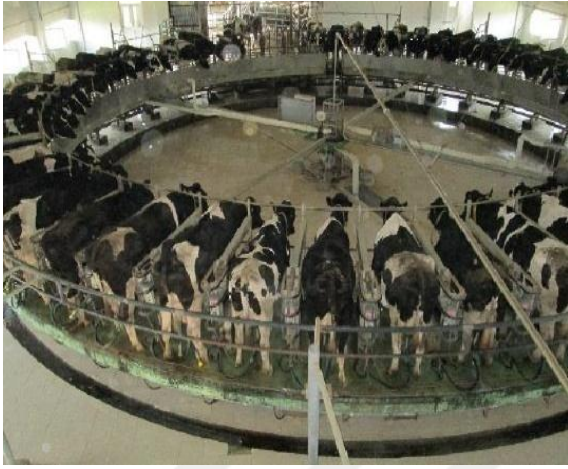
Kapasitesi belirlenen tesis için günlük 80 ton büyükbaş hayvan atığına, 4,93 ton mısır silajına ve çeşitli hububat saplarına (buğday, arpa, ot vb.) ihtiyaç vardır. Yapılan araştırmalar sonucunda mısır silajının tonunun maliyeti yaklaşık olarak ve yıldan yıla değişkenlik göstermek üzere 50 TL'dir. Büyükbaş hayvan atığı fiyatları ise tonunu en fazla 5-6 TL arasında alacak şekilde veya çeşitli büyükbaş üretim çiftliklerinden bedelsiz olarak temin edilip, üretilecek olan yüksek kaliteli yanmış gübrenin verilmesini içeren anlaşmalar yapılabilir.

Ayrıca silaj, ot üretimi belirli dönemlerde olduğu için ekstra bir depolama maliyetinin de hesaplanması gerekir.

Bitkisel atıkları, hayvan dışkılarını toplama masrafları göz önünde bulundurularak yapılan hesaplamalar Tablo 6.7'de gösterilmiştir.

Tablo 6.7. Tesis için gerekli olan yıllık toplam atık miktarı ve fiyatlandırılması

	Günlük atık miktarı (ton)	Atık birim fiyat (TL/ton)	Fiyat (TL)	Atık toplama Maliyeti (%10)	Toplam Fiyat (TL)
Büyükbaş hayvan	80	2	160	16	176
Mısır silaj, ot vb.	4,93	50	246,5	24,6	271,1
Toplam günlük	84,93	52	406,5	40,6	447,1
Toplam yıllık					160,956



Şekil 6.10. Biyogaz tesisinde elektrik enerjisi üretmek için kullanılacak hayvansal ve bitkisel atıklar

Tablo 6.8'de, 1.052 kW'lık bir biyogaz tesisi için yaklaşık bir işletme maliyeti oluşturulmuştur.

Tablo 6.8. Biyogaz üretim tesisi için işletme maliyeti

İşletme Türü	Fiyat (TL)
Yıllık gerekli olan atığın maliyeti	160.956
Yıllık gerekli işçilik maliyeti	65.000
Yıllık bakım maliyeti	280.000
Yıllık diğer parametrelerin maliyeti	200.000
Toplam işletme maliyeti	705.956

6.7. Tesisin Yıllık Olarak Elde Edeceği Kar ve Amortisman Hesabı

6.7.1. Tesisin Kurulum ve İşletme Giderleri

Siirt ili Kurtalan ilçesinde kurulumu tasarlanan tesisin yıllık toplam giderleri, yukarıdaki parametreler baz alınarak Tablo 6.9'da oluşturulmuştur.

Tablo 6.9. Biyogaz üretim tesisi için yıllık giderler tablosu

	FİYAT (TL)
İşletme ve yıllık bakım ve kaynak giderleri	705.956
Tesis alt yapı ve betonarme işler	2.070.000
Teknolojik ekipmanlar	9.405.000
TOPLAM	12.180.956

Tablo 6.9'a göre tesisin kurulum ve işletme masrafları ilk yıl için 12.180.956 TL'dir. Bu rakamın yaklaşık yüzde %9'u işletme ve kaynak tedariki için kullanılmaktadır, %91'i ise tesisin alt yapısı ve teknolojik materyaller için kullanılmaktadır.

6.7.2. Tesisin Yıllık Geliri

Tesisin faaliyete geçmesinden sonra üreteceği enerji kaynakları ve meydana gelecek gübre miktarları yukarıdaki tablolarda belirlenmiştir. Bu tabloda ise tesisin üreteceği enerji miktarları ve satışından elde edeceği gelir hesaplanmıştır. Tesis yakıt olarak bitkisel ve hayvansal atıkları kullanırken, biyogaz adı verilen bir tür gaz üretilip meydana gelen gaz vasıtasıyla elektrik ve ısı enerjisi ayrıca tarlarda kullanılmak üzere sulu ve katı gübre üretmektedir. Bu yakma sonucunda yaklaşık yılda 40.000 ton karbon meydana gelmektedir.

Üretilen bütün bu enerji ve gübrelerin, Batman-Siirt bölgesinde kullanılmak üzere belirlenmiş bir fiyat karşılığı satımı düşünülmektedir.

Tablo 6.10. Yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektriğin alım fiyatları (29.12.2010 tarihli 5346 sayılı kanun)

Yenilenebilir Enerji Kaynağına Dayalı Üretim Tesis Tipi	Uygulanacak Fiyatlar (ABD doları cent/kWh)
Hidroelektrik Üretim Tesis	7,3
Rüzgar Enerjisine Dayalı Üretim Tesis	7,3
Jeotermal Enerjisine Dayalı Üretim Tesis	10,5
Biyokütle Enerjisine Dayalı Üretim Tesis	13,3
Güneş Enerjisine Dayalı Üretim Tesis	13,3

Tablo 6.10'daki değerler kullanılarak Tablo 6.11'de tesisin bir yılın sonunda elde edebileceği gelir hesaplanmıştır.

Tablo 6.11. Biyogaz tesisinin yıllık gelir tablosu

		Miktar	Birim Fiyat (TL)	Toplam Gelir (TL)
Elektrik üretimi		9.216.512 kWh	0,39	3.594.469
Gübre üretimi	Sıvı	30.000 ton	40/ton	1.200.000
	Katı	11.800 ton	100/ton	1.180.000
Karbon üretimi		40.000 ton	6/ton	240.000
Isı üretimi		9.409.116 kWh	İstek- talep	-
Toplam				6.014.469

Sonuç olarak, tesisten elde edilecek olan gelir yıllık olarak 6.014.469 TL'dir. Tesisin ilk yatırım maliyetleri işletme ve kaynak temini için gerekli olan yatırım masrafları göz önüne alındığında, tesis yaklaşık olarak 2 yıl sonra bu maliyetleri karşılamaktadır. Hem hayvansal ve bitkisel atıklardan meydana gelecek çevre kirliliğinin önüne geçilmiş olunacaktır.

Tüm bu parametreler düşünöldüğünde enerji bakımından dışa bağımlı olan ölkemizde, bilhassa Siirt-Batman yöresi için planlanan böyle bir tesisin kurulması hayati bir önem taşımaktadır.

7. SONUÇLAR

Biyokütle enerjisi, başta elektrik enerjisi olmak üzere çeşitli enerji kaynaklarına dönüşebilen ve çevreye karşı duyarlı bir enerji kaynağıdır. Son zamanlarda ülkemizde elektrik enerjisi üretmek için yapılan yüksek maliyetli yatırımlar göz önüne alındığında, biyogazdan elektrik enerjisi elde etmek daha cazip ve avantajlı hale gelmiştir.

Petrol, kömür, doğalgaz gibi tükenmekte olan enerji kaynaklarının kısıtlı olması, ayrıca bunların çevre kirliliği oluşturması nedeniyle, biyogazdan elektrik enerjisi elde edilmesi, özellikle Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanması konusunda önemli bir alternatif olarak görünmektedir.

Bu çalışmada ilk önce, Batman ve Siirt yörelerindeki çeşitli hayvansal ve bitkisel atıklardan elde edilecek olan biyogaz miktarı belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, Batman ve Siirt illerinde bulunan tarımsal ve hayvansal atıklardan elde edilecek olan toplam biyogaz miktarı yaklaşık olarak günlük 88.000 m³ olarak hesaplanmıştır. Burada, Batman ilinin özellikle tarımsal atık potansiyelinin yüksek olduğu (50.519 m³) ve Siirt ilinin tarımsal atık potansiyelinin yaklaşık 14 katı kadar olduğu tespit edilmiştir.

Daha sonra, Batman ve Siirt illeri arasında bulunan Kurtalan ilçesinde 1 MW'lık elektrik enerjisi üretim kapasitesine sahip biyogaz tesisi kurulumu planlanmıştır. Bu biyogaz tesisi için gerekli olan bitkisel ve hayvansal atıklardan üretilen biyogaz miktarı günlük yaklaşık 11.000 m³ olup, bu miktar incelenen bölgedeki toplam atık potansiyelinin %12'sini oluşturmaktadır.

Bu çalışma sonucunda, biyogazdan elektrik enerjisi üretimi için gerekli hammadde potansiyeli ve gerekli finansman bütçesinin ne kadar olduğu açık bir şekilde ortaya konularak 1 MW kurulu gücündeki biyogaz tesisinin maliyeti hesaplanmıştır.

Kurulacak olan biyogaz tesisinin kurulum ve işletme masraflarının ilk yıl için 12.180.956 TL olacağı ve tesisten elde edilecek olan yıllık gelirin 6.014.469 TL olacağı hesaplanmıştır. Böylece tesisin ilk yatırım maliyetleri göz önüne alındığında, tesisin yaklaşık olarak 2 yıl sonra bu maliyetleri karşılayacağı belirlenmiştir.

Bu verilere bakıldığında, Batman ve Siirt illerinin biyogaz potansiyelinin tamamı değerlendirildiği takdirde elektrik enerjisi üretim kapasitesinin 8 MW'a kadar çıkabileceği ve bölgenin enerji ihtiyacının büyük bir bölümünün karşılanabileceği görülmektedir. Bununla birlikte, enerji üretimi sonrasında ortaya çıkacak olan kaliteli gübre sayesinde tarım alanlarında yapılan üretim miktarlarında da artış olacaktır.



8. KAYNAKLAR

- Ahn, J.H., Do, T.H., Kim, S.D., Hwang, S., 2006. The Effect of Calcium on The Anaerobic Digestion Treating Swine Wastewater, *Biochemical Engineering Journal*, 30, pp. 33–38.
- Akpınar, 2006. Kentsel Katı Atıklardan Enerji Üretimi (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Bilimi ve Teknolojileri, İstanbul.
- Al-Azzam, S.M.,2003. Biogas a Source of Energy,
- Anon, 1999d. Biogas Digest Volume III- Biogas - Costs and Benefitsand Biogas – Programme Implementation, Information and Advisory Service on Appropriate Technology.
- Anon., 2000a. Anaerobic Digestion of Farm and Food Processing Residues, British Biogen, www.mrec.org/biogas/adgpg.pdf
- Anon., 2006. State of Renewable Energies in Europe – 2006, http://www.energies-renouvelables.org/observer/stat_baro/barobilan/barobilan6.pdf
- Arnott, M.,1985. The Biogas/Biofertilizer Business Handbook, PeaceCorps, Information Collection and Exchange, Reprint R-48.
- Aslanlı, Ş., 2009. “Hayvansal Atıklardan Biyogaz Üretimi Üzerine Çeşitli Bor Bileşiklerinin Etkinliğinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Biyoloji Anabilim Dalı, Şanlıurfa, 4-6, 27 s.
- Boyd, R., 2000. Internalising Environmental Benefits of Anaerobic Digestion of Pig Slurry in Norfolk, University of East Anglia, www.green-trust.org/PigSlurryADProject.pdf
- Börjesson, P., Berglund, M., 2006. Environmental Systems Analysisof Biogas Systems— Part I: Fuel-Cycle Emissions, *Biomass and Bioenergy*, 30, pp. 469–485.
- Buğutekin, A., 2007. “Atıklardan Biyogaz Üretiminin İncelenmesi”, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, İstanbul, 14, 19-20, 35-36s.
- Chynoweth, D.P., Jerger, D., 1988. Energy Production From the Methane Fermentation of Hardwoods, *5th International Symposium on Anaerobic Digestion*, Bologna, Italy, pp. 913-916.
- Chynoweth, D.P., Srivastava, V.J., Henry, M.P., Tarman, P.B., 1980. Biothermal Gasification of Biomass, *Energy from Biomassand Wastes*, IV, pp. 527-554, Lake Buena Vista, FL.
- Cumby, T.R., Nigro, E., Sandars, D.L., Cañete, C., Williams, A.G.,Scotford, I.M., Audsley, E., 2000. Cleaning Up Natural Waste on Land -Anaerobic Digestion of Agricultural Wastes, Cleaning Upthe Environment, Imperial College.

- Demuyneck, M., Nyns, J., Palz, W., 1984. Biogas Plants in Europe, Energy from Biomass Series, 6. D. Reidel Publishing Company, Boston, USA.
- Dennis, A., Burke, P.E., 2001. Dairy Waste Anaerobic Digestion Handbook, Options for Recovering Beneficial Products From Dairy Manure, Environmental Energy Company, Digestion, AD-NETT.
- Easterly, J.L., Lowenstein, M.Z., 1986. Cogeneration from Biofuels: A Technical Guidebook, Prepared Under TVA, Contract No. TV-67207A, Tennessee Valley Authority Biomass Program, Southeastern Regional Biomass Energy Program, U.S. Department of Energy).
- Ekren, N., Yılmaz, O., 2004. Kojenerasyon Teknolojisi. 3e Electrotech Enerji, Elektrik, Elektronik Dergisi, Cilt 121(7) s.80.
- Eyidoğan, M., 2008. "Biyogazın Saflaştırılması ve Motorlu Taşıt Yakıtı Olarak Kullanımı", Mühendis ve Makine Dergisi, Cilt: 49, Sayı: 584, 21-22 s.
- Gielen, D.J., Gerlagh, T., Bos, A.J.M., 1998. Biomass for Energy or Materials, The Netherlands Energy Research Foundation ECN, Project Number: 77018-77125
- Göğüş, A.Y., 1986. İşte Biyogaz, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, Cilt 9, Sayı 4, s. 42-44.
- Gruber, E., Herz, H., 1996. The Role of Small-Scale Biogas Production in Rural Areas for Sustainable Development in Germany and Peru, *Energy for Sustainable Development*, Volume III, 4, pp. 58-63.
- Gustavsson, M., 2000. Biogas Technology-Solution in Search of Its Problem – A Study of Small-Scale Rural Technology Introduction and Integration", Göteborg University, Göteborg.
- Güç, A., 2010. "Büyükbaş Hayvan Atığından Biyogaz Üretimi ve Uşak İli İçin Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Güneş Enerjisi Anabilim Dalı, İzmir, s. 5-10.
<http://www.novaenergie.ch/iea-bioenergy-ask37/Dokumente/managementpaw3.pdf>
- Ivens, U.I., Ebbehøj, N., Poulsen, O.M., Skov, T., 1997. Gastrointestinal Symptoms Among Waste Recycling Workers, *Ann. Agric. Environ. Med.*, 4, pp. 153–157.
- Jenangi, L., 1981. Producing Methane Gas From Effluent, Adelaide University Diploma in Agricultural Production. www.ees.adelaide.edu.au/pharris/biogas/project.pdf
- Karve, A.D., Karve, P., Kulkarni, G., 2005. A New Compact Biogas System Based on Sugary/Starchy Feedstock, *Energy for Sustainable Development*, Volume IX, 1, pp. 63-65, Gustavsson.
- Kasap ve Ergüneş, 1989. "Biyogazın Oluşumu, Özellikleri ve Kullanım İmkanları", C.Ü. Tokat Ziraat Fakültesi Dergisi, cilt 5 (1), 391-401, Tokat.

- Kishore, V.V.N., Raman, P., Rao, V.V.R., 1987. Fixed Dome Biogas Plants-A Design, Construction and Operation Manual, Tata Energy Research Institute, New Delhi.
- Krich, K., Augenstein, D., Batmale, J.P., Benemann, J., Rutledge, B., Salour, D., 2005. Biomethane from Dairy Waste: A Sourcebook for the Production and Use of Renewable Natural Gas in California.
http://www.calstart.org/info/publications/Biomethane_from_Dairy_Waste_Full_Report.pdf
- Leggett, J.A., Graves, R.E., Lanyon, L.E., 2002. Anaerobic Digestion: Biogas Production and Odor Reduction from Manure.
<http://www.age.psu.edu/extension/factsheets/g/G77.pdf>
- Marchaim, U., 1992. Biogas Processes for Sustainable Development, Food and Agriculture Organization of the United Nations, ISBN92-5-103126-6.
- Mc Carty, 1964. "One Hundred Years of Anaerobic Treatment", in proceedings of the 2nd Int. Symp. On Anaerobic Digestion. Eds. D.E.Huges, D.A. Stafford et al, Elsevier Biomedical press.
- Mendis, M.S, Biogas in rural household energy supply: The Nepal Biogas Support Program, www.unescap.org/esd/energy/information/biomass_seminar/Stake-Holders_Nepal.pdf
- Monnet, F., 2003. An Introduction to Anaerobic Digestion of Organic Wastes,
http://www.remade.org.uk/documents/reports/An%20Introduction%20to%20Anaerobic%20Digestion%20_27153953177.pdf
- Nelson, C., Lamb, J., 2002. Final Report: Haubenschild Farms Anaerobic Digester, The Minnesota Project, www.mnproject.org/pdf/Haubyrptup_dated.pdf
- Öztuncay, M., K., 2009. "Türkiye'de Biyogaz Enerjisinin Kullanılabilirliği ve Ekonomikliği", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 10-11, 15-16 s.
- Öztürk, 1999. "Anaerobik Biyoteknoloji ve Atık Arıtımındaki Uygulamaları".
- Patrabansh, S., Madan, M., 2000. An Alternative Resource for Biogas Production, *Energy Sources*, 22, pp.713-722.
- Pauss, A., Nyns, E.J., 1993. Past, Present and Future Trends in Anaerobic Digestion Applications, *Biomass and Bioenergy*, Vol.4, 4, pp. 263-270.
- Reddy, A.C., Rao, Y.J., 1996. Biogas from An Industrial Waste, *Energy for Sustainable Development*, Volume III, 1, pp. 41-43.
- Santana, A., Pound, B., 1980. The Production of Biogas From Cattle Slurry, The Effects of Concentration of Total Solids and Animal Diet, *Trop. Anim. Prod.*, 5:2, pp. 130-135 (Mata-Alvarez vd., 2000).

- Santana, A., Pound, B., 1980. The Production of Biogas From Cattle Slurry, The Effects of Concentration of Total Solids and AnimalDiet, *Trop. Anim. Prod.*,5:2, pp. 130-135 (Singh vd., 2001).
- Sasse, L., 1988. Biogas Plants, A Publication of the Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien, GATE, A Division of the Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH.
- Sadi, T.A., 2001. Good Practice Quality Management of AD Residues from Biogas Production, Task 24-Energy from Biological Conversion of Organic Waste, IEA Bioenergy.
- Stafford, D.A., Hawkes, D.L., Horton, R., 1981. Methane Production from Waste Organic Matter, CRC Press, Inc., ISBN 0-8493-5223- 1, Boca Raton, Florida.
- Steffen, R., Szolar, O., Braun, R., 1998. Feedstocks for Anaerobic.
- Tafdrup, S., 1995. Viable Energy Production and Waste Recycling from Anaerobic Digestion of Manure and Other Biomass Materials, *Biomass and Bioenergy*, vol. 9, 1-5, pp. 303-314.
- Türker, M., 2008. “Anaerobik Biyoteknoloji ve Biyoenerji Üretimi”, ÇEVKOR, Çevre Eğitim Merkezi Yayınları, 1. Baskı, İzmir, 11-13 s.
- Türkiye’de Hayvansal Atıkların Biyogaz Yoluyla Kaynak Verimliliği Esasında ve İklim Dostu Kullanımı Projesi (Türk-Alman Biyogaz Projesi), 2011. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.
- Uyar, 2001. Enerji Sorunu Nedir? Alternatif Enerji Çözüm müdür? NEU-CEE 2001 Electrical, Electronic and Computer Engineering Symposium, 23-26, Lefkoşa TRNC.
- Ülkü, G., Taygun, N., 1981. Atıklardan Anaerobik Fermentasyonla Biyogaz Üretimi, *Uluslararası Biyogaz Semineri*, 23-26 Kasım 1981, Ankara, ss. 209-218.
- Verma, S., 2002. Anaerobic Digestion of Biodegradable Organics in Municipal Solid Wastes, Columbia University, <http://www.seas.columbia.edu/earth/vermathesis.pdf>
- Vijayalekshmy, M.V., 1985. Biogas Technology-an Information.
- Vinnerås, B., Schönning, C., Nordin, A., 2006. Identification of The Microbiological Community in Biogas Systems and Evaluation of Microbial Risks from Gas Usage, *Science of the Total Environment*, 367, pp. 606–615.
- Werner, U., Stöhr, U., Hees, N., 1989. Biogas Plants in Animal Husbandry, A Publication of the Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien, GATE, A Division of the Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH. www.makingenergy.com
- Yaldız, O., 2004. Biyogaz Teknolojisi, Ders Kitabı. Akdeniz Üniversitesi Yayınları, Yayın no.78, s. 181, Antalya.

9. KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Görkem TOPRAKÇIOĞLU
Doğum Yeri ve Tarihi : Bandırma, 27 Şubat 1985
Telefon : 05053772343
E-posta : gorkemtoprakcioglu@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	İstanbul Heybeliada Deniz Lisesi	2003
Üniversite	İstanbul Hava Harp Okulu	2007
Yüksek Lisans	Siirt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği ABD	2016

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2007-	Hava Kuvvetleri Komutanlığı	Subay

YABANCI DİLLER : İngilizce