



T.C.
AYDIN ADNAN MENDERES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TARIM MAKİNALARI ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSAN TEZİ

AYDIN İLİ BİYOGAZ POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ

Zir. Müh. Berker ÖZTÜRK

Tez Danışmanı:
Prof. Dr. Ahmet KILIÇKAN

AYDIN

**T.C.
AYDIN ADNAN MENDERES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TARIM MAKİNALARI ANABİLİM DALI
2019-YL-020**

**AYDIN İLİ BİYOGAZ POTANSİYELİNİN
BELİRLENMESİ**

Berker ÖZTÜRK

**Tez Danışmanı:
Prof. Dr. Ahmet KILIÇKAN**

AYDIN – 2019

T.C.
AYDIN ADNAN MENDERES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE
AYDIN

Tarım Makinaları Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Programı öğrencisi Berker ÖZTÜRK tarafından hazırlanan “AYDIN İLİ BİYOGAZ POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ” başlıklı tez, 29.01.2019 tarihinde yapılan savunma sonucunda aşağıda isimleri bulunan jüri üyelerince kabul edilmiştir.

	Ünvanı, Adı Soyadı	Kurumu	İmzası
Başkan:	Prof. Dr. Ahmet KILIÇKAN	AADÜ FBE Tarım Makinaları ABD	
Üye:	Prof. Dr. Faruk ŞEN	MSKÜ FBE Enerji Sistemleri Mühendisliği ABD	
Üye:	Dr. Öğr. Üyesi. Yüksel AYDOĞAN	AADÜ FBE Tarım Makinaları ABD	

Jüri üyeleri tarafından kabul edilen bu yüksek lisans tezi, Enstitü Yönetim Kurulunun sayılı kararıyla tarihinde onaylanmıştır.

Prof. Dr. Gönül AYDIN

Enstitü Müdürü

T.C
AYDIN ADNAN MENDERES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE
AYDIN

Bu tezde sunulan tüm bilgi ve sonuçların, bilimsel yöntemlerle yürütülen gerçek deney ve gözlemler çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, çalışmada bana ait olmayan tüm veri, düşünce, sonuç ve bilgilere bilimsel etik kuralların gereği olarak eksiksiz şekilde uygun atıf yaptığımı ve kaynak göstererek belirttiğimi beyan ederim.

..... / / 20...

Berker ÖZTÜRK

ÖZET

AYDIN İLİ BİYOGAZ POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ

Berker ÖZTÜRK

Yüksek Lisans Tezi, Tarım Makineleri Ana Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ahmet KILIÇKAN

Fosil kökenli ve yenilenebilir kaynaklarından elde edilen enerjinin Dünya’da ve Türkiye’de artan nüfusla birlikte kullanımında hızlı bir artış görülmektedir. Fosil kaynakların günden güne tükeniyor olması çalışmaları yeni enerji kaynaklarını bulmaya doğru yönlendirmektedir.

Büyük Menderes Irmağı’nın suladığı ovalar üzerinde 800.700 ha alanda kurulu olan Aydın İli hem hayvan sayısı hem de tarımsal üretim yapılan alan olarak Türkiye’nin büyük illeri arasındadır. Toplam alanın % 45,8’i olan 366.608 ha tarım alanı sulanabilir durumdadır. İlde 70.884 adet tarım işletmesi mevcut olup genellikle bunlar küçük ve orta parçalı büyüklüktedir. Bu tarım işletmeleri içerisinde % 36 oranla hayvansal ve bitkisel üretimi birlikte yapanlar, % 35 oranla yalnızca bitkisel üretim yapanlar ve % 29 yalnızca hayvansal üretim yapanlar bulunmaktadır. Hayvansal ve bitkisel üretim yapılan bu işletmelerde üretim sonucu oluşan kullanılmayan atıklar işletmeler için büyük sorun teşkil etmekte ve bunların fermente edilerek değerlendirilmesi sonucu içindeki metan gazından dolayı yüksek enerji potansiyeline sahip bir gaz türü olan biyogaz üretilmektedir.

Bu çalışmada, belirlenen atık miktarına göre Aydın’ın bitkisel atığının % 80’ni pamuk bitkisinden karşılandığı gözlenmektedir. Toplam bitkisel atıklardan yaklaşık olarak 11,5 PJ ısı değeri ortaya çıktığı hesaplanmıştır. Hayvansal atıklarda toplamda 6 milyon ton yıllık dışkı elde edildiği saptanmıştır. Bu dışkının da toplam ısı değeri 2,24 PJ olarak hesaplanmıştır. Toplamda 13,74 PJ ısı değeri ile biyogaz potansiyeli ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimer: Türkiye, Aydın, Hayvansal Atık, Bitkisel Atık, Biyogaz, Tarımsal Üretim

ABSTRACT

DETERMINATION OF BIOGAS POTENTIAL OF AYDIN PROVINCE

Berker ÖZTÜRK

Master's Thesis,
Departments Of Agricultural Machinery

Supervisor: Prof. Dr. Ahmet KILIÇKAN

A fast increase has been seen in the use of energy acquired from fossil based and renewable resources along with the increasing population in the world and Turkey. It leads the studies to find new energy resources that fossil resources have been depleting day after day.

Aydın Province that is located on 800.700 ha area over the lowlands irrigated by Büyük Menderes River is among the biggest cities of Turkey due to both animal number and area at which agricultural production is done. 366.608 ha cultivated area which is 45,8 % of the total land is irrigable land. There are 70.884 units agricultural enterprises in the city and these enterprises are small and medium scale enterprises. 36 % of these agricultural enterprises are the enterprises that make animal and vegetative production together, 35 % of them are the enterprises that make only vegetative production and 29 % of them are the enterprises that make only animal production. The unused wastes occurred after the production at these enterprises that makes animal and plant production pose a big problem for the enterprises and biogas that is a gas type having a high energy potential due to the methane gas inside it may be produced after they are fermented.

This study observed that 80% of the plant covered by the Aydın waste cotton plants determined by the amount of waste. Total vegetable waste by approximately 11,5 PJ heating value occurs. a total of 6 million tonnes of animal waste was found that annual fecal obtained. The total calorific value of the stool was calculated as 2,24 PJ. In total, biogas potential was determined with a thermal value of 13,74 PJ.

Key Words: Turkey, Aydın, Animal Waste, Vegetative Waste, Biogas, Agricultural Production

ÖNSÖZ

“Aydın İli Biyogaz Potansiyelinin Belirlenmesi” konulu tez çalışmamda; bilgi, öneri ve yardımlarını esirgemeyen akademik ortamda olduğu kadar sosyal hayatta da engin fikirleriyle yetişme ve gelişmeye katkıda bulunan danışman hocam, Sayın Prof. Dr. Ahmet KILIÇKAN’a (Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölüm Başkanı), Aydın İli verilerini temin etmemdeki verdiği destekten dolayı İl Gıda, Tarım ve Hayvancılık İl Müdürlüğü çalışanlarına, varlığını her daim hissettiren ve beni sürekli destekleyen eşim Özge ÇEKİÇ ÖZTÜRK’e teşekkürü bir borç bilirim.

Berker ÖZTÜRK

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	vii
ABSTRACT.....	ix
ÖNSÖZ	xi
SİMGELER DİZİNİ.....	xvii
KISALTMALAR DİZİNİ.....	xix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xxi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xxviii
1. GİRİŞ	1
1.1. Enerji	1
1.2. Dünya’da ve Türkiye’de Yenilenebilir Enerji.....	3
1.3. Biyogaz Teknolojisi	6
1.3.1. Biyogazın Tarihçesi, Tanımı ve Bileşimi.....	6
1.3.2. Türkiye’de Biyogaz Gelişimi	10
1.3.3. Biyogaz Teknolojisinin Avantaj ve Dezavantajları.....	11
1.3.4. Biyogaz Oluşumu.....	13
1.3.5. Biyogaz Üretiminde Kullanılan Maddeler	20
1.3.6. Biyogaz Üretiminde Kullanılan Prosesler	23
1.3.7. Biyogaz Üretimini Etkileyen Faktörler	24
1.3.8. Biyogaz Üretiminde Kullanılan Fermantasyon Şekilleri	37

1.3.9. Biyogaz Üretim Tesisleri	38
1.3.10. Biyogaz Kullanım Alanları	45
2. KAYNAK ÖZETLERİ	56
3. MATERYAL VE YÖNTEM	61
3.1. Materyal	61
3.1.1. Aydın ili coğrafi durumu ve nüfus dağılımı	61
3.1.2. Aydın ili arazi dağılımı	62
3.1.3. Aydın ili işletme büyüklükleri ve dağılımı.....	63
3.1.4. Aydın ili bitkisel üretim dağılımı	65
3.1.5. Aydın ili hayvansal üretim dağılımı.....	69
3.2. Yöntem.....	75
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	78
4.1. Aydın İli Bitkisel Üretimlerinin İlçelere Göre Yoğunluğu	78
4.2. Aydın İli Hayvan Varlığının İlçelere Göre Yoğunluğu.....	80
4.3. Aydın İli Bitkisel Atık Miktarı ve Biyogaz Potansiyeli	83
4.4. Aydın İli Hayvansal Üretim Biyogaz Potansiyeli	84
4.4.1. Aydın ili hayvansal atık miktarının hesaplanması	84
4.4.2. Aydın ili hayvansal atık kuru madde miktarının hesaplanması.....	85
4.4.3. Aydın ili hayvansal atıkların m ³ biyogaz potansiyelinin hesaplanması	85
4.4.4. Aydın İli hayvansal atıkların enerji eşdeğerlerinin hesaplanması	83
5. SONUÇ	86
KAYNAKÇA	89

SİMGELER DİZİNİ

CH ₄	Metan
C/N	Karbon ve Azot oranı
Co	Kobalt
CO	Karbonmonoksit
Da	Dekar
CO ₂	Karbondioksit
Fe	Demir
gal	Galon
Gj	Gigajoule
H ₂	Hidrojen
Ha	Hektar
H ₂ S	Hidrojen Sülfür
K	Potasyum
kcal	Kilokalori
kg	Kilogram
kj	Kilojoule
km	Kilometre
kPa	Basınç ölçü birimi (Kilo Pascal)
kWh	Kilowatt-saat
L	Litre
m ³	Metre Küp
mg	Miligram
Mj	Megajoule
Mn	Manganez
N ₂	Moleküler Azot
NH ₃	Amonyak
Ni	Nikel
O ₂	Oksijen
P	Fosfor
PJ	Petajoule
pH	Power of Hydrogen (Hidrojenin Gücü)
Ppm	Milyonda bir birim (Parts Per Million)

KISALTMALAR DİZİNİ

AFC	Alkali yakıt pili (alkaline fuel cell)
BTTP	Blok tip ısı güç tesisleri
CHP	Kojenerasyon
DPT	Devlet Planlama Teşkilatı
HBS	Hidrolik bekletme süresi
MCFC	Erimiş karbonatlı yakıt pili (molten carbonate fuel cell)
M.Ö.	Milattan önce
M.S.	Milattan sonra
MTA	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
MTEP	Milyon ton eşdeğer petrol
OKM	Organik katı madde
PAFC	Fosforik asit yakıt pili (phosphoric acid fuel cell)
PEM	Polimer elektrolit membran
SOFC	Katı oksitli yakıt pili (solid oxide fuel cell)
TEP	Ton eşdeğer petrol
TK	Toplam katı
tKM	Toplam katı madde
TUA	Toplam uçucu asit
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
UAS	Uçucu madde alıkoyma süresi
UK	Uçucu katı
UKM	Uçucu kuru madde
UNİCEF	Birleşmiş Milletler Çocuk Yardım Fonu (United Nations Childrens Emergency Fund)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Avrupa biyokütle enerjisi ticareti ve biyokütle dolaşımı	5
Şekil 1.2. Biyogaz döngüsü.....	9
Şekil 1.3. Biyogaz üretim teknolojisinin çevreye etkisi	13
Şekil 1.4. Aneorobik çürüme safhaları.....	14
Şekil 1.5. Biyogaz oluşumu süreci	14
Şekil 1.6. Biyogaz oluşumu evreleri	15
Şekil 1.7. Metan Bakterileri	15
Şekil 1.8. Kompleks organik bileşiklerin basit organik bileşiklerine dönüşmesi...16	
Şekil 1.9. Metan bakterilerinin ve metan oluşumunun mikroskop altında görünümü	19
Şekil 1.10. Sıcaklık ve bekleme zamanına bağlı olarak biyogaz verimi	26
Şekil 1.11. Metan bakterilerinin nisbi büyüme oranları	27
Şekil 1.12. Sıcaklık koşullarının biyogaz üretim hızına olan etkisi	28
Şekil 1.13. Farklı pH değerlerindeki metan bakterilerinin görümü.....	31
Şekil 1.14. Farklı basınç değerlerinde günlük metan üretimi.....	36
Şekil 1.15. Farklı basınç değerlerinde toplam metan üretimi.....	37
Şekil 1.16. Fermantasyon şekilleri	38
Şekil 1.17. Aile tipi biyogaz tesislerinin şematik görünümü39_A.Hint Tipi, B.Çin Tipi, C. Tayvan-Çin tipi.....	39
Şekil 1.18. Mısır silajı kaynaklı çiftlik tipi bir biyogaz tesisi Almanya-Birkenfeld	40
Şekil 1.19. Çiftlik tipi bir biyogaz tesisinin şematik görünümü.....	41
Şekil 1.20. Danimarka’da inşa edilmiş merkezi bir biyogaz tesisi.....	42
Şekil 1.21. 60 çiftçinin kurmuş olduğu merkezi bir biyogaz tesisi	42
Şekil 1.22. Atık su arıtma tesisleri için tasarlanmış bir biyogaz sisteminin şematik görünümü	43

Şekil 1.23. Yeni Zelenda’da inşa edilmiş bir çöp gazı geri kazanım tesisi	45
Şekil 1.24. Biyogazın genel kullanım alanları	45
Şekil 1.25. 1 hektarlık alandan elde edilen biyoyakıtların performans açısından karşılaştırılması	46
Şekil 1.26. Isı üretmek için kullanılan bir biyogaz yakıcı.....	48
Şekil 1.27. Biyogaz tesislerinde kullanılan Gaz-Otto Motor	48
Şekil 1.28. Biyogaz mikro-türbin yapısı	49
Şekil 1.29. Yakıt pili	50
Şekil 1.30. Almanya’da işletilmekte olan biyogaz için yakıt pili.....	51
Şekil 1.31. Konvansiyonel elektrik ve ısı üretimi ile kojenerasyon ünitelerinin verimlerinin karşılaştırılması.....	52
Şekil 1.32. Biyogazın saflaştırılarak doğal gaz hattına verilmesi	52
Şekil 1.33. Biyogazın evsel kullanım araçları	53
Şekil 1.34. Anaerobik fermantasyon kütle denklığı	54
Şekil 1.35. Anaerobik fermantasyonun yan ürünü olan fermente gübrenin kullanım şekilleri.....	55
Şekil 1.36. Anaerobik fermantasyonun yan ürünü olan fermente gübrenin paketlenmesi.....	55
Şekil 3.1. Aydın ilinde tarım işletmelerinin faaliyet alanlarına göre dağılımı	63
Şekil 3.2. Aydın ilinde tarım işletmelerinin büyüklüklerine göre dağılımı (da)	63
Şekil 3.3. Alt bölgeler bazında işletme büyüklüğüne göre büyükbaş süt sığırcılığı işletmeleri.....	64
Şekil 3.4. Alt bölgeler bazında büyüklüklerine göre toplam büyükbaş besicilik işletmeler	64
Şekil 3.5. Aydın ili toplam küçükbaş işletme sayıları ve hayvan sayıları dağılımı	65
Şekil 3.6. 2017 yılı Aydın ili tarım arazilerinin dağılımı (da).....	66
Şekil 3.7. 2017 yılı Aydın alt bölgelerinde tarım arazilerinin dağılımı (da)	66
Şekil 3.8. Aydın’da tarla bitkisi alanlarının yüzdesel dağılımı	68

Şekil 3.9. Aydın alt bölgelerinde tarla bitkilerinin ekili oranları	68
Şekil 3.10. Aydın ilinde sığır mevcudunun yıllara göre değişimi (baş)	70
Şekil 3.11. Aydın alt bölgelerinde küçükbaş hayvan mevcudunun dağılımı (baş)	70
Şekil 3.12. Aydın ilinde küçükbaş hayvan sayısının yıllara göre değişimi (baş) ...	71
Şekil 3.13. Aydın alt bölgelerinde mevcut tavuk sayısı (adet)	72
Şekil 3.14. Aydın alt bölgelerinde tavuk mevcudunun oransal dağılımı	73
Şekil 3.15. Aydın ilinde Broiler ve Yumurta tavuğu sayısının yıllara göre değişimi (adet)	73
Şekil 4.1. Aydın ilinin ilçelerinde işlenen toplam tarım alanı yoğunluğu	78
Şekil 4.2. Aydın ili ilçelerinde üretilen mısır tonaj yoğunluğu	79
Şekil 4.3. Aydın ili ilçelerinde üretilen pamuk tonaj yoğunluğu	79
Şekil 4.4. Aydın ili ilçelerinde üretilen buğday tonaj yoğunluğu	80
Şekil 4.5. Aydın ili büyükbaş hayvan varlığı yoğunluğu	81
Şekil 4.6. Aydın ili küçükbaş hayvan varlığı yoğunluğu	82
Şekil 4.7. Aydın ili kanatlı hayvan varlığı yoğunluğu	82

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Dünya fosil yakıt rezervleri.....	1
Çizelge 1.2. 1994-2014 Yılları arası Dünya'nın ve Türkiye'nin kişi başı ortalama enerji tüketimi	2
Çizelge 1.3. 1994-2014 Yılları arası Dünya'nın ve Türkiye'nin kişi başı ortalama elektrik tüketimi	2
Çizelge 1.4. Dünya biyokütle enerji miktarları	4
Çizelge 1.5. Biyogaz bileşim değerleri	8
Çizelge 1.6. Biyogazın doğalgazla karşılaştırılması	8
Çizelge 1.7. Biyogazın teknik özellikleri	8
Çizelge 1.8. Patates posasının aneorobik çürümesinde rol oynayan hidrolitik enzimler için uygun pH ve sıcaklık değerleri.....	17
Çizelge 1.9. Metan oluşumundaki optimum fermantasyon koşulları.....	19
Çizelge 1.10. Biyogaz üretiminde kullanılacak maddeler ve biyogaz verimleri	21
Çizelge 1.11. Çeşitli materyallerin TK ve UK oranlarıyla biyogaz verimleri.....	22
Çizelge 1.12. Aneorobik koşullarda çalışabilen mikroorganizmalar için uygun çevre koşulları	25
Çizelge 1.13. Sıcaklık aralıkları ve bekleme zamanları	26
Çizelge 1.14. Biyogazda bulunan bazı gazların sudaki çözünürlükleri ile sıcaklık aralığı ile arasında ilişki	27
Çizelge 1.15. Organik maddelerin C/N oranları.....	32
Çizelge 1.16. Bakterilerin büyümesinde toksik etki yapan bazı maddelerin konsantrasyonları	35
Çizelge 1.17. Amonyakın metan üretimine olan etkisi	35
Çizelge 3.1. Aydın ili ilçelere göre 2017 yılı tarım alanı kullanımı.....	62
Çizelge 3.2. 2017 yılında Aydın ve alt bölgelerinde tarım alanlarının kullanım şekli	65
Çizelge 3.3. 2017 yılı Aydın ve alt bölgelerinde tarla bitkileri ekiliş alanları (da) 67	

Çizelge 3.4. 2017 yılı Aydın ili tahıllar ve diğer bitkisel ürünlerin üretim miktarları (ton).....	68
Çizelge 3.5. 2017 yılı Aydın ili sebze üretim miktarları (ton)	69
Çizelge 3.6. 2017 yılı Aydın ili meyve üretim miktarları (ton).....	69
Çizelge 3.7. 2017 yılında Aydın ve Aydın alt bölgelerinde hayvan sayıları (baş/adet).....	69
Çizelge 3.8. 2005 – 2017 yılları Aydın ili büyükbaş hayvan sayıları	69
Çizelge 3.9. 2004 – 2017 yılları Aydın ili küçükbaş hayvan sayıları.....	71
Çizelge 3.10. Aydın ilinde tavuk sayılarının yıllara göre değişimi (adet).....	73
Çizelge 3.11. Türkiye’deki tarla ürünleri atık kullanılabilirliği ve birim ısı değerleri.....	75
Çizelge 3.12. Hayvan atık miktar kabulleri.....	76
Çizelge 3.13. Hayvan cinslerine göre atık özellikleri ve biyogaz verimleri.....	83
Çizelge 4.1. Aydın ili tarla bitkilerinin atık miktarları ve ısı değerleri	83
Çizelge 4.2. Aydın ili hayvan sayıları ve atık miktarları.....	84
Çizelge 4.3. Aydın ili hayvansal atık kuru madde miktarları.....	84
Çizelge 4.4. Aydın ili hayvansal atık biyogaz potansiyeli	85
Çizelge 4.5. Aydın ili hayvansal atıkların enerji eşdeğeri.....	85
Çizelge 4.6. Aydın ili toplam hayvansal atıkları biyogaz üretim potansiyeli	86

1.GİRİŞ

1.1 Enerji

Günümüzde enerji tüm toplumların temel ihtiyacı haline gelmiştir. Ekonomik ve sosyal kalkınma için; ucuz, güvenilir ve sürdürülebilir olarak temiz enerji talebinin karşılanması zorunludur. Bununla birlikte küresel enerji sektörünün yapısı, bütün arz ve talep zinciri çevresel faktörlerle şekillenmeye başlamıştır. İklim değişikliği dünyanın rotasını tüm politikalarında olduğu gibi enerjide de değiştirmektedir.

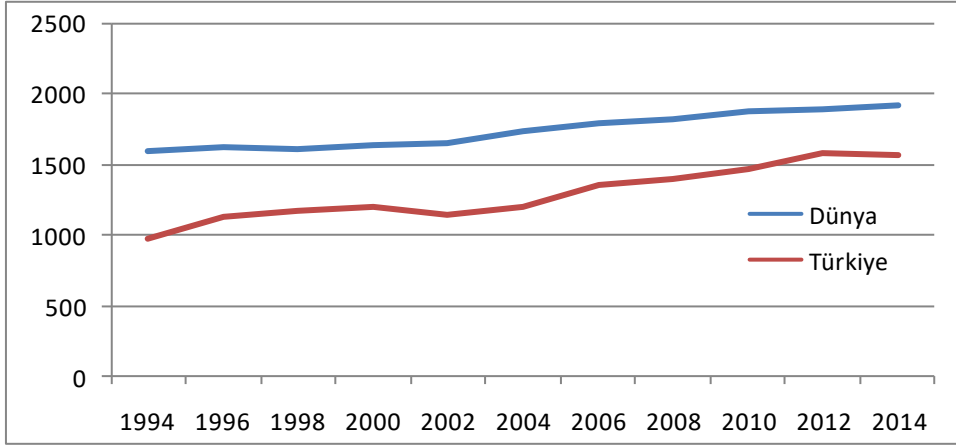
Dünyada her geçen gün teknolojinin ve sanayinin gelişmesine, nüfusun sürekli artmasına orantılı olarak enerji tüketimi ve enerji ihtiyacı da hızla artmaktadır. Bu enerji ihtiyacının büyük bölümünü karşılayan petrol, kömür, doğal gaz gibi fosil yakıtların yoğun olarak kullanılması sonucu gün geçtikçe miktarlarının azalmaları ile birlikte bu kullanıma orantılı olarak ozon tabakasının incelmeye, asit yağmurlarının oluşması, küresel ısınma gibi çevreyi etkileyen sorunları da beraberinde getirmektedir. Ayrıca fosil yakıtların belli bir miktar kadar rezerve sahip olması nedeni ile önümüzdeki yıllarda tamamen tükeneceği de bilinmektedir.

Çizelge 1.1 Dünya fosil yakıt rezervleri (Anonim 2014 c.)

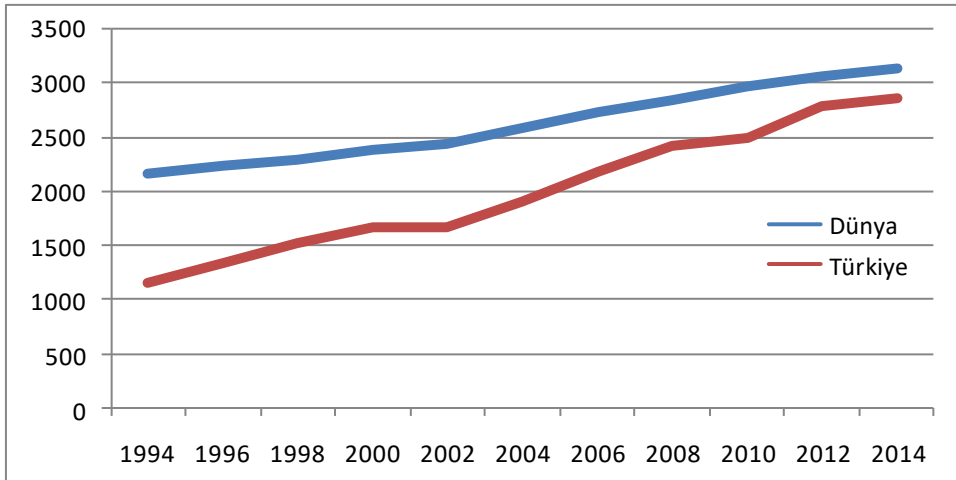
Bölge	Petrol (Milyar Ton)	Doğal Gaz (Trilyon M ³)	Kömür (Milyar Ton)	
			Taşkömürü	Linyit
Kuzey Amerika	35	11.7	112.8	132.2
Orta ve Güney Amerika	51.1	7.7	7.2	7.3
Avrupa ve Avrasya	19.9	56.6	92.5	21.7
Ortadoğu	109.4	90.3	1.1	
Afrika	17.3	14.2	30.1	0.2
Asya ve Okyanusya	5.6	15.2	157.8	130.5
Toplam Dünya	238.2	195.7	403.1	488.3

2014 yılı Dünya genelinde kişi başına düşen yıllık ortalama enerji tüketimi 1,92 TEP (ton eşdeğer petrol) (Çizelge 1.2), elektrik tüketimi ortalaması 3128 kWh/kişi/yıl (Çizelge 1.3) iken, Türkiye enerji tüketimi ortalaması 1,57 TEP (Çizelge 1.1) ve elektrik tüketimi ortalaması ise 2854 kWh/kişi/yıl (Çizelge 1.3) düzeyindedir (Anonim, 2017 a., Anonim, 2017 b.).

Çizelge 1.2 1994-2014 Yılları arası Dünya'nın ve Türkiye'nin kişi başı ortalama enerji tüketimi (Anonim, 2017 a.)



Çizelge 1.3 1994-2014 Yılları arası Dünya'nın ve Türkiye'nin kişi başı ortalama elektrik tüketimi (Anonim, 2017 b.)



1.2 Dünya’da ve Türkiye’de Yenilenebilir Enerji

Dünyanın 2016 yılı enerji tüketimi 13.276 Mtep’dir. Bu tüketimin % 97’si fosil kaynaklar, nükleer, hidroelektrik ve doğal gazdan sağlanırken geri kalan % 3’lük kısmı ise yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilmektedir (Anonim, 2017 c.).

Dünyadaki toplam enerji üretiminin ve buna istinaden tüketimin büyük bir kısmı fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Bu fosil yakıtların rezervlerinin kısıtlı olması ve toplumun enerji üretirken ekonominin ve çevrenin de gözetildiği sürdürülebilir enerji üretim modellerine yönelmeleri, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi günden güne arttırmaktadır.

Ülkemizde de benzer bir durum gözlenmektedir. Enerji ihtiyacımız büyük oranda ithalatla karşılanmaktadır. Diğer taraftan ülkemizin yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli fosil yakıtlara alternatif olacak seviyededir. Ancak bu kaynakların kullanımı oldukça düşüktür. Her ne kadar son zamanlarda hidrolik, güneş, jeotermal ve rüzgar enerjisi yaygınlaşmaya başlasa da biyokütleden büyük oranda doğrudan yakmayla faydalanılmaktadır.

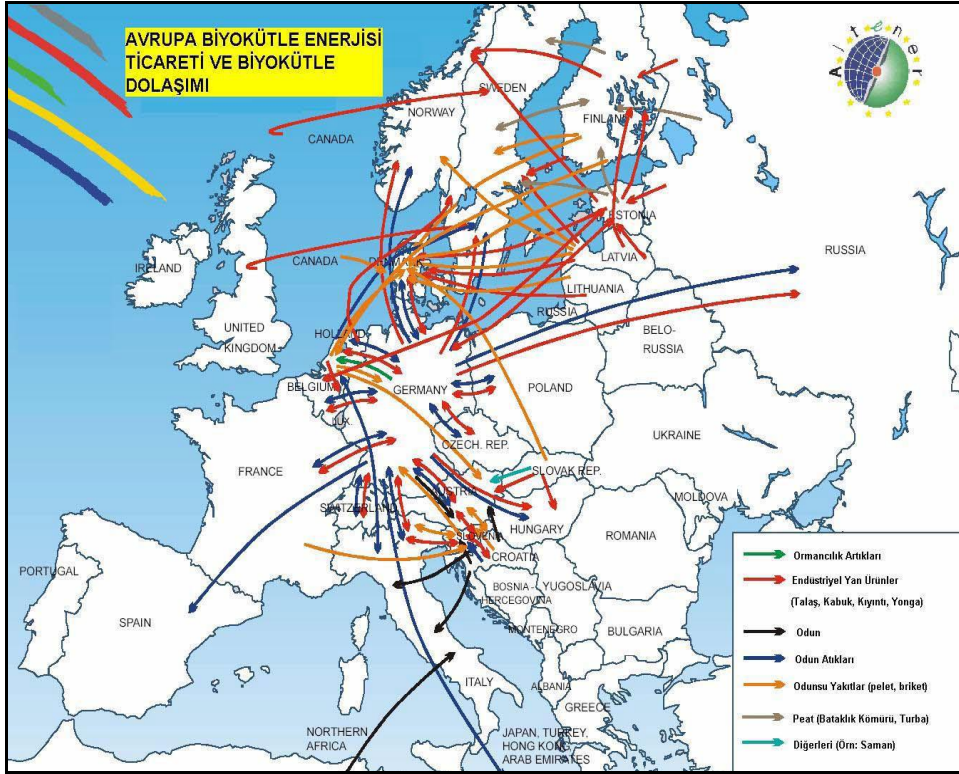
Dünyadaki biyokütle potansiyeline bakıldığında büyük tarım alanlarındaki biyokütlenin çok geniş bir yüzeye yayıldığı görülmektedir. Bu biyokütller den Dünya genelinde belirli oranlarda enerji elde edilmektedir. 2020 yılının tahminine göre; enerji kaynağı olarak modern biyokütle, güneş ve rüzgar enerjisinin kullanımının artacağı, jeotermal ve deniz enerjilerinin pek değişmeyeceği, küçük hidrolik enerji kaynağı kullanımının ise azalacağı tahmin edilmektedir. Dünya biyokütle enerji miktarları Çizelge 1.4’te verilmiştir (Ersoy, 2007).

Çizelge 1.4 Dünya biyokütle enerji miktarları (Ersoy, 2007)

Bölge	1995				2020			
	Biyokütle (MTEP)	Konvans, Enerji (MTEP)	Toplam (MTEP)	Biyokütle Payı (%)	Biyokütle (MTEP)	Konvans, Enerji (MTEP)	Toplam (MTEP)	Biyokütle Payı (%)
Çin	206	649	855	24	224	1524	1748	13
Doğu Asya	106	316	422	25	118	813	931	13
Güney Asya	235	188	423	56	276	523	799	35
Latin Amerika	73	342	416	18	81	706	787	10
Afrika	205	136	341	60	371	260	631	59
Gelişmekte Olan Ülkeler	825	1632	2456	34	1071	3825	4896	22
OECD Olmayan Ülkeler	849	2669	3518	24	1097	5494	6591	17
OECD Ülkeleri	81	3044	3125	3	96	3872	3968	2
Dünya	930	5713	6643	14	1193	9365	10558	11

Avrupa'da biyokütle enerjisi ticareti ve dolaşımı yaygın olarak yapılmaktadır. Şekil 1.1'de bu enerji ticareti ve dolaşımı verilmiştir.

Avrupa'daki biyokütle ticareti ve dolaşımına bakıldığında, Almanya hemen hemen tüm komşularıyla endüstriyel yan ürünler ve odun atıkları ticareti yaparken, odunsu yakıt ticareti ise; Hollanda, Letonya, Litvanya, Finlandiya ve Danimarka arasında gerçekleştiği görülmektedir (Yokuş, 2011).



Şekil 1.1 Avrupa biyokütle enerjisi ticareti ve biyokütle dolaşımı (Yokuş, 2011)

Biyokütle potansiyeli açısından ülkemiz şanslı bir konumda yer almaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında biyokütle teknolojisi, teşviklerden dolayı son yıllarda giderek talep görmektedir. Biyokütle doğrudan yakılarak veya çeşitli süreçlerle yakıt kalitesi artırılıp, mevcut yakıtlara eşdeğer özelliklerde alternatif biyoyakıtlar (kolay taşınabilir, depolanabilir ve kullanılabilir yakıtlar) elde edilerek enerji teknolojisinde değerlendirilebilir. Atık biyokütle (hayvan dışkıları, orman ve tarım atıkları, belediye atıkları, vb.), geleneksel olarak dünyanın birçok yerinde yemek pişirmede ya da ısınmada kullanılmaktadır. Biyokütle kaynakları yakıt olarak doğrudan kullanılacakları gibi biyogaz, biyokarbon ve biyodizel üretimi için de oldukça elverişli ve yüksek potansiyele sahip ürünlerdir. Biyogaz teknolojisi, çevre ve sağlık sorunlarına yol açan organik atıkların işlenerek zararsız hale getirilmesi ve bu atıkların enerjiye dönüştürülmesindeki katkısıyla yenilenebilir enerji üretiminde en ön sırada yer almaktadır.

Biyokütle enerji kaynaklarının birçok sınıflandırması mevcuttur. Ancak genel olarak 3 temel kaynaktan beslendiği görülmektedir. Bunlar;

- 1- Tarımsal kökenli (bitkisel ve hayvansal atıklar),
- 2- Orman kökenli
- 3- Kentsel ve endüstriyel kökenli kaynaklar şeklinde gruplandırılabilir.

Tarımsal kaynaklar, hayvansal ve bitkisel olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bitkisel kaynaklar ise kendi arasında iki kısma ayrılmaktadır. Enerji bitkileri ve bitkisel atıklar. Özellikle enerji tarımı ile bitkilerden elde edilen çıktı ile enerji üretilmekte. Kentsel ve endüstriyel kaynaklar da diğer bir biyokütle enerji kaynağını oluşturmakta olup, çevre açısından da önemli bir avantaj teşkil etmektedir. Belediye çöplükleri, kanalizasyon ve fabrika atıkları bu bağlamda değerlendirilen kaynaklar olarak ön plana çıkmaktadır

Türkiye sahip olduğu 213.188 kilometrekare tarımsal alanla dünyada 14. sırada ve kişi başına düşen tarım alanı oranı bakımından ise 3 dekar ile 40. sırada yer almaktadır. Türkiye'nin karasal yüzölçümü 769.632 kilometrekare. Bunun yüzde 27,7'si tarım alanı olarak kullanılabilir. Bu oran esas alındığında Türkiye, yüzölçümü oranına göre en fazla tarımsal alana sahip 15 ülke arasında 4. sırada yer almaktadır. Tarımda alanın genişliği kadar toprağın verimliliği, iyi işlenebilirliği ve iklim şartları da büyük önem taşımaktadır. Türkiye'nin toplam tarımsal alanının yaklaşık % 38,4'ü ekili alan, % 44,1'i orman, % 10,4'ü nadas alanı, % 7,1 meyve ve sebze ekili alandır (Anonim, 2014 b.).

Türkiye sahip olduğu biyokütle kaynaklarında tarım alanında olduğu kadar hayvancılık alanında da ön plana çıkmaktadır. Türkiye 14,5 milyon adet büyükbaş, 38,5 milyon adet küçükbaş ve 270 milyon adet kümes hayvanına sahiptir. Bu veriler ışığında büyük bir hayvansal atık potansiyeline de sahip olduğumuz apaçık ortadadır.

1.3 Biyogaz Teknolojisi

1.3.1 Biyogazın Tarihi, Tanımı ve Bileşimi

Eski Çin kayıtlarına göre biyogaz, 2000-3000 yıl öncesine kadar dayanmaktadır. İlk olarak Asurlular tarafından M.Ö. 1000 yıllarında kullanılmaya başlanmıştır. M.S. 23-79 yılları arasında yaşayan Plinius, bataklıkların üzerinde titreyerek yanan alevlerden bahsetmektedir. 17. yüzyılda Jan Baptista Van Helmont organik maddelerin bozunumuyla yanıcı gazın üretildiğini belirtmiştir. 1682 yılında Robert

Boyle, bitkisel ve hayvansal atıkların çürütülmesiyle gaz üretimi oluştuğunu belirtmiştir. 1776 yılında ise Kont Alessandro Volta, bozunan organik madde miktarı ile üretilen yanıcı gaz miktarı arasındaki ilişkiyi göstermiştir (Eryaşar, 2007).

1804–1810 yıllarında John Dalton, Sir Humphry Davy ve William Henry sığır gübresinden anaerobik fermantasyonla metan üretimini ispatlamışlardır. 1895 yılında ilk pratik uygulama ise İngiltere'nin Exeter şehrinde yapılmıştır. Özel bir tesiste, şehir kanalizasyonlarından toplanarak elde edilen biyogaz, sokak lambalarında kullanılmıştır. Dünyada 1900'lü yıllardan sonra mikrobiyoloji ve bilimdeki gelişmeler doğrultusunda bu konudaki araştırmalar artmış, anaerobik bakteriler ve özellikleri saptanarak metan üretimi teşvik edilmiştir. Buswell 1920'lerin sonunda anaerobik fermantasyon çalışmalarına başlamıştır. Endüstriyel ve çiftlik atıklarının enerji üretiminde kullanılırken, anaerobik fermantasyonda azotun kaçınılmaz bir parça olduğunu ortaya koymuştur. Barker'ın 1956 yılında yapmış olduğu temel biyokimya çalışmaları, metan bakterileri hakkındaki bilgilerin zenginleşmesine büyük katkı yapmıştır (Sözer ve Yıldız, 2006).

1973–1975 yılında başlayan petrol sıkıntısı ve dünyada enerji fiyatlarının yükselmesi biyogaz konusunun önemini tekrar ön plana getirmiştir. Gelişmiş ülkelerde ve onların önderliğindeki Güney ülkeleri ve Doğu Asya ülkelerinde araştırma, demonstrasyon ve üretim amaçlı ülkelerin kendi koşullarına uygun biyogaz üreteçleri kurulmaya başlanmıştır. Almanya'da 3 yıl içerisinde 58 adet tesis kurulmuştur. Aynı yıl Avrupa Topluluğu ülkelerindeki tesis sayısı da 300'ü bulmuştur. 1985–1990 yılları arasında biyogaz tesisi yapımı yavaşlamıştır. Fakat 1990 yılından itibaren özellikle Almanya'da enerji yasasındaki değişiklikler, fermantasyon teknolojisindeki gelişmeler, gaz motoru ve jeneratör ikilisinin kolay kullanımı, H₂S'nin gaz içerisinde temizlenebilmesi biyogaz teknolojisinin tekrar kullanılmaya başlanmasına yardımcı olmuştur (Buğutekin, 2007).

Biyogaz, havasız fermantasyon ile artık organik maddelerden açığa çıkan, renksiz, kokusuz, havadan hafif, havaya karşı yoğunluk oranı 0,83 ve oktan sayısı 110 olan, parlak mavi bir alevle yanan ve bileşiminin % 60-75'i metan (CH₄), % 25-40'ı karbondioksit (CO₂) ve ısı değeri 17-25 MJ/m³ olan bir gaz karışımıdır. Biyogaza “bataklık gazı”, “gübre gazı”, “gobar gaz” gibi isimler de verilmektedir. Genellikle organik maddenin % 40-60 kadarı biyogaza dönüştürülür. Geri kalan atık ise kokusuz gübre olarak kullanılmaya uygun bir katı veya sıvı atıktır (Aktaş,

2008). Biyogazın bileşim değerleri, doğalgaz ve diğer yakıtlarla karşılaştırılması çizelge 1.5 – 1.6 – 1.7’de verilmiştir.

Çizelge 1.5 Biyogaz bileşim değerleri (Aktaş, 2008)

Bileşenler	Hacim %’si
Metan (CH ₄)	40-80
Karbondioksit (CO ₂)	20-50
Hidrojen Sülfür (H ₂ S)	0,0005-0,0002
Amonyak (NH ₃)	0,0005-0,0001
Azot (N ₂)	0-3
Hidrojen (H ₂)	0-5

Çizelge 1.6 Biyogazın doğalgazla karşılaştırılması (Aktaş, 2008)

Özellikler	Doğalgaz	Biyogaz
Bileşim (Hacim %’si)	95-98	55-65
Mol Ağırlığı (kg/mol.kg)	16,04	26,18
Yoğunluk (kg/m ³)	0,82	1,21
Isıl Değer (Mj/m ³)	36,14	21,48
Maksimum Tutuşma Hızı (m/sn)	0,39	0,25

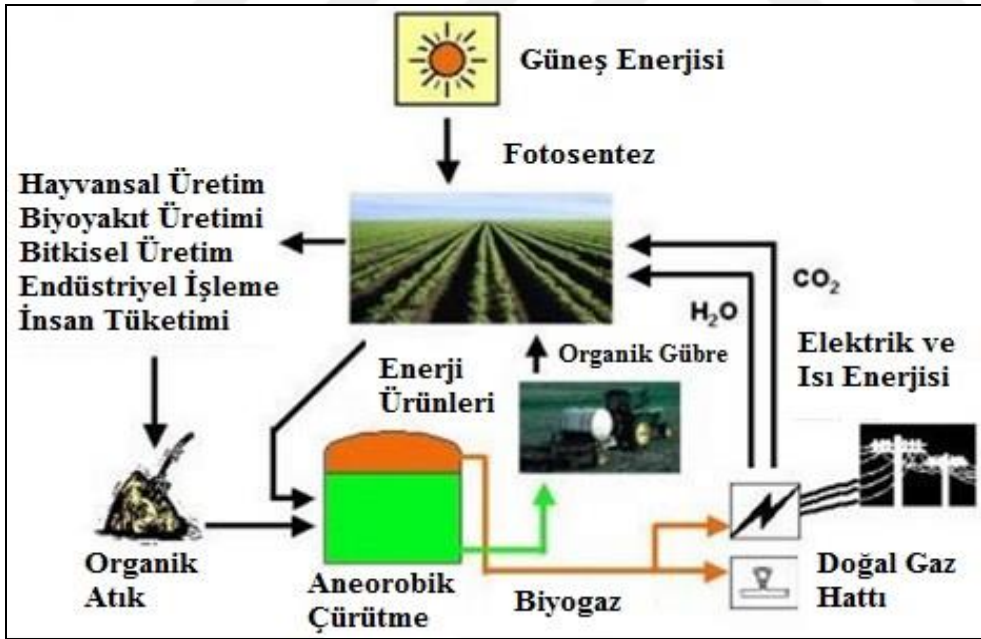
Çizelge 1.7 Biyogazın teknik özellikleri (Buğutekin, 2007)

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

Biyogazın hava içerisinde yanma hızı (0,25 m/s) CO₂ içermesinden dolayı düşüktür. Yanması için hava içerisinde en az % 5 oranında CO₂ bulunmalıdır. 1m³ biyogazın yanabilmesi için 5,7 m³ hava gereklidir. Ancak ideal bir yanmanın

sağlanması için CO₂ oranı % 20–30 seçilmektedir. Biyogaz içerisindeki metan gazı yanma ve ısı değerleri yönünden diğer gazlara benzemekle birlikte bazı fiziksel özellikleri yönünden propan ve bütan gazlarından farklıdır. Metan gazı miktarı uzun bekleme sürelerinde yüksektir. Metan içeriği, bekleme süresi kısalsa % 50' nin altına düşer ve biyogaz uzun süreli yanmaz. Propan, bütan vb. gazlar oda sıcaklığında, düşük basınçlar da sıvılaştırılabilirken biyogazın sıvılaştırılması çok yüksek basınç ve düşük sıcaklık gerektirdiğinden ekonomik olarak çok masraflıdır. Bu nedenle tüplere doldurulmamakta ve ancak üretildiği yerde kullanılabilmekte veya taşınması borularla yapılabilmektedir. Biyogaz kolayca bozulmayan sabit bir yapıya sahiptir. Metan gazı değeri beslenme materyallerine bağlıdır (Buğutekin 2007).

Biyogaz üretimi belirli döngü halinde gerçekleşmektedir. Biyogaz döngüsü Şekil 1.2'de görülmektedir.



Şekil 1.2 Biyogaz döngüsü (Wilkie, 2007)

1.3.2 Türkiye’de Biyogaz Gelişimi

Türkiye’de biyogaz ile ilgili çalışmaları 1980 öncesi ve sonrası diye ikiye ayırmak olasıdır. 1980 öncesinde çalışmalar birkaç üniversite ve kamu kurumunda yetersiz teknolojik bilgiyle ayrı ayrı yürütülmüştür. İlk çalışmalar 1957 yılında Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsünde başlatılmıştır. 1960’lı yıllarda biyogazla ilgili yoğun çalışmalar yapılmış ve bazı Devlet Üretim Çiftliklerinde pilot tesisler kurulmuştur.

Tarım Bakanlığı’na bağlı Toprak Su Araştırma Enstitüsü bünyesinde 1963 yılında başlatılan çalışmalarla, beş adedi Eskişehir Toprak Su Araştırma Enstitüsünde, iki adedi Eskişehir’in köylerinde ve biri de Çorum deneme istasyonunda olmak üzere toplam sekiz adet biyogaz tesisi kurulmuştur. Çalışmalar 1969 yılına kadar sürmüştür. Bunların bir kısmından iyi sonuç alınmasına karşılık, yönetimlerin biyogaza sıcak bakmamaları, çalışmaları yönlendirecek ve yürütecek kurumun olmaması, teknik eleman ve çiftçilerin yeterince eğitilememeleri gibi sebeplerden tesislerin bir kısmı yarım bırakılmış ya da bir müddet kullanıldıktan sonra istenilen verim alınamadığı gerekçesiyle terk edilmiştir (Eryaşar, 2007).

1975 yılından sonra Toprak Su Araştırma Enstitüsü ve 1980’li yıllarda ise Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü kapsamında yürütülen biyogaz üretimi çalışmaları uluslararası bazı anlaşmalarla desteklenmiştir (Buğutekin, 2007).

Daha sonraki dönemlerde, özellikle 1980’li yılların başlarında tüm dünyada yaşanan petrol krizinin etkisiyle Köy Hizmetleri Ankara Toprak Su Araştırma Enstitüsü’nde bir biyogaz birimi kurulmuş ve biyogazın ülke çapında yaygınlaştırılma çalışmaları hız kazanmıştır (Koçer, Nacar v.d, 2006).

Bu çalışmaların bir kısmı UNICEF’in (Birleşmiş Milletler Çocuklara Yardım Fonu) teknik bilgi ve finans yönünden desteklediği, koordinasyonun DPT (Devlet Planlama Teşkilatı) tarafından sağlandığı çalışmalardır. Tarım ve Orman Bakanlığı, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı gibi kurumlar yanında MTA (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü), Toprak-Su gibi kuruluşlar da bu çalışmalara katılmışlardır. Doğu illerinden başlayarak biyogaz tesislerini kırsal kesimde yaygınlaştırmak amaçlanmıştır. İlk olarak çalışmalar, Muş Alpaslan Devlet Üretim Çiftliğinde 35 m³’lük bir tesis kurularak başlatılmıştır. Çeşitli devlet üretim çiftliklerinde, farklı iklim koşullarında pilot tesisler kurularak, test

edilmiştir. 1982 yılında konuyla ilgili sorumluluk Toprak-Su'ya verilmiş, devletin köylülere sağladığı 1600 Amerikan Doları limitli, % 16 yıllık faizli kredilerle 1000 adet 6, 8, 12 ve 50 m³ boyutlarda biyogaz sistemleri kurulmuştur. Yine 1984–1987 yılları arasında Köy Hizmetleri Eskişehir Araştırma Enstitüsünde, Ankara'da ve Erzurum'da biyogazla ilgili araştırma projeleri yürütülmüştür. Ayrıca bu yıllarda küçük ölçekli biyogaz tesislerinin projeleri dergilerde ve kitaplarda kullanıcıya sunularak yaygınlaştırma çalışmalarına başlanmıştır. Kurulan sistemler bazı değişiklikler dışında Hint-Çin tipi sistemler olmuştur. Bu çalışmalar da organizasyon eksiklikleri ve projeler arasında iletişim kopukluğu nedeniyle başarılı olamamıştır. Yapılan uygulamalarda verim alınamamasının en önemli gerekçesi olarak, reaktör sıcaklığının istenilen seviyede tutulamaması gösterilmektedir (Eryaşar, 2007).

1987 yılında anlaşılmayan bir nedenle biyogaz ile ilgili çalışmalar bir anda kesilmiştir (Buğutekin, 2007).

1.3.3 Biyogaz Teknolojisinin Avantaj ve Dezavantajları

Biyogaz teknolojisi, son 20 yıldan beri özellikle gelişmekte olan ülkelerde hayvancılık artıklarının değerlendirilmesinde kullanım imkânı bulmuştur. Biyogaz üniteleri tarımda çalışan insanların iş ve hayat şartlarının iyileştirilmesinde önemli görevler üstlenmektedir. Bu yönüyle biyogaz üretim üniteleri ekolojik önemi yanında giderek mekanize olan tarım işletmelerine uyum sağlayan modern bir teknolojidir (Alçıçek ve Demiruluş, 1994).

Gübre elde edilmesi, patojenlerin giderilmesi, sera gazlarının azaltılması ve toplam oksijen ihtiyacının düşürülmesi gibi oldukça önemli potansiyel ve çevresel faydalar sağlamaktadır. Anaerobik çürütme sistemlerinin biyogaz üretimine yön veren bir proses olarak değerlendirilmesi, birçok uygulama alanı için yenilenebilir enerji kaynağı sağlayacağı gibi, atık miktarının azaltılmasına ve atık yönetim maliyetinin düşürülmesine de önemli katkılarda bulunacaktır (Entürk v.d, 2006).

Genel olarak biyogazın faydaları şunlardır (Aktaş, 2008).

1-Ucuz - çevre dostu bir enerji ve gübre kaynağıdır.

2-Atık geri kazanımı sağlar.

3-Hayvan gübresinde bulunabilecek yabancı ot tohumları, biyogaz üretimi sonucu çimlenme özelliğini kaybeder.

4-Hayvan gübresinin kokusu hissedilmeyecek ölçüde yok olmaktadır.

5-Biyogaz üretimi sonucu, hayvan gübrelere kaynaklanan insan sağlığını ve yeraltı sularını tehdit eden hastalık etmenlerinin büyük oranda yok olması sağlanmaktadır.

6-Biyogaz üretiminden sonra atıklar kaybolmamakla birlikte çok daha değerli bir organik gübre haline dönüşmektedir.

Biyogaz teknolojisi kullanımının çevreye, topluma ve çiftçilere olmak üzere birçok faydaları vardır. Bunlar (Yokuş, 2011):

1- Fermantasyon tesislerinden çıkan atık depolandığında daha az koku, metan ve NO₂ emisyonu ortaya çıkmaktadır. Azot içeriği iyileştirilmemiş çiftlik gübresi ile kıyaslandığında yüksektir.

2-Fosil yakıtlara olan ithalat bağımlılığını azaltmaktadır.

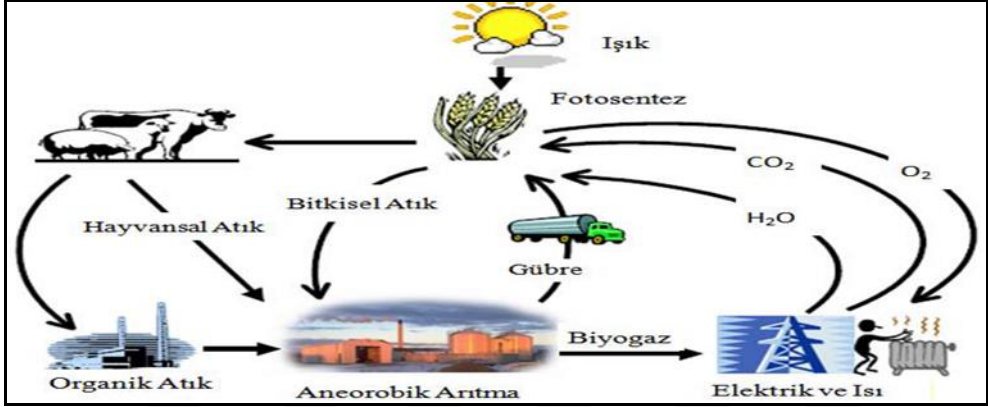
3-Biyogaz pişirme ve aydınlatmada olduğu gibi doğrudan ve günümüzde ısı ve güç kombinasyonu sağlayan kojenerasyon (CHP) sistemi ile ısı, güç veya doğrudan gaz hattına verilebildiği gibi araçlarda yakıt olmak üzere esnek ve verimli kullanım sağlamaktadır.

4-Biyogaz üretim sürecinin diğer biyoyakıt üretim süreçleri ile kıyaslandığında süreç içerisinde düşük su tüketimi yapılmaktadır. Yakın gelecekte suyun dünyadaki öneminin daha da artacağı düşünüldüğünde bu önemli bir avantajdır.

5-Çiftçiler için bir ek gelir sağlamaktadır.

6-Fermantasyon süreci sonunda ortaya çıkan atığın mükemmel bir gübre olarak kullanılabilmesi.

7-Biyogaz kullanımı elde edilen metanın enerjide kullanımı, ortaya çıkan karbondioksitin fotosentezde kullanımını ve gübrenin de toprağa uygulanması ile Şekil 1.3'te görüldüğü gibi kapalı besin döngüsünü sağlamaktadır.



Şekil 1.3 Biyogaz üretim teknolojisinin çevreye etkisi (Yokuş, 2011)

8-Biyogaz üretiminde hayvansal atıklardan, bitkisel atıklara, belediye atıklarından, atık su arıtma tesisi atıklarına kadar çok farklı hammadde kullanımında esneklik sağlamaktadır.

9-Üretim süreci sonunda oluşan atık, koku ve sineklerden arındırılmış olmaktadır.

Biyogazın çok fazla dezavantajı olmamasına karşın, önemli kriterlerdir;

1-Biyogaz, rafine etme prosesleri yerine getirildikten sonra bile bir takım kirlilikleri içerir.

2-Biyogazın büyük çapta kullanması süreci ekonomik açıdan uygulanabilir değildir, ayrıca biyogaz sistemlerinin etkinliğini arttırmak çok zordur.

3-Kararsız bir yapıya sahiptir, metan oksijen ile temas ederse ve doğada yanıcı olursa patlamalara neden olabilir.

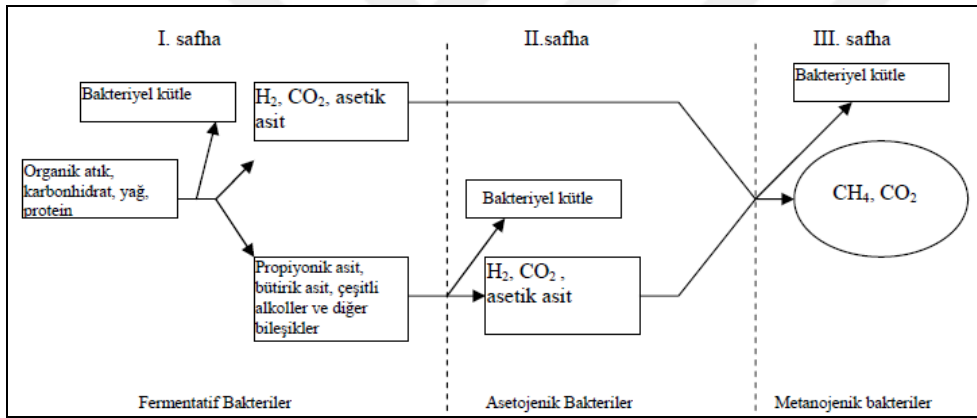
1.3.4 Biyogaz Oluşumu

Biyogaz özetle organik materyallerin oksijensiz ortamda yapısı bozularak üretilen bir gazdır. Biyolojik orijinli ve bir tür biyoyakıttır. Bu gaz biyokütle, bitkisel atık, hayvansal atık, kanalizasyon atıkları vb atıklardan üretilmektedir. Bu tür üretilen gazlar metan ve karbondioksit içermektedir. Aneorobik çürüme ve metan oluşumu 3 aşamada gerçekleşmektedir (Yokuş, 2011).

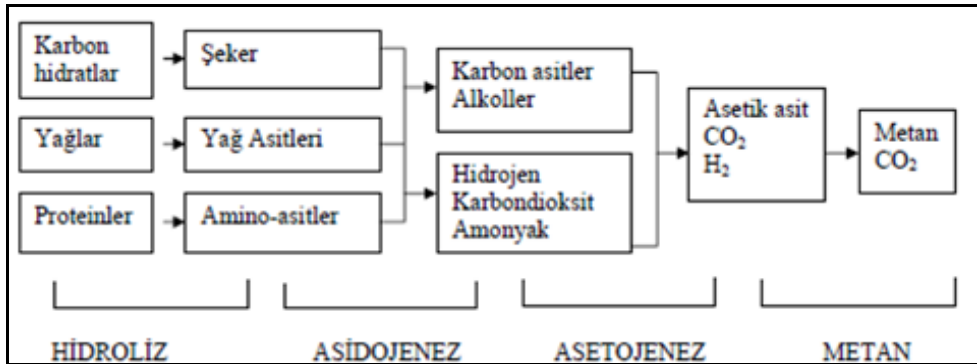
1. Aşamada, makro moleküler bileşiklerin hidroliziyle yağ asitleri ve disakkaritler meydana gelmekte iken,

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

3. Aşamada ise ağır aneorobik şartlar altında metan, karbon dioksit, amonyak, hidrojen ve hidrojen sülfür vb. türevleri meydana gelmektedir. Aneorobik çürüme safhaları şekil 1.4 ve 1.5'te görülmektedir.

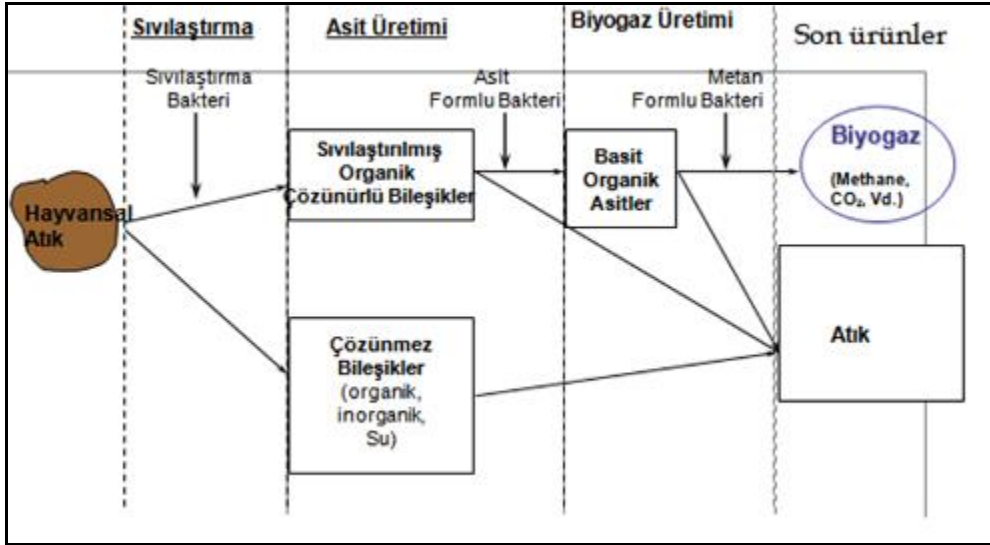


Şekil 1.4 Aneorobik çürüme safhaları (Gül, 2006)

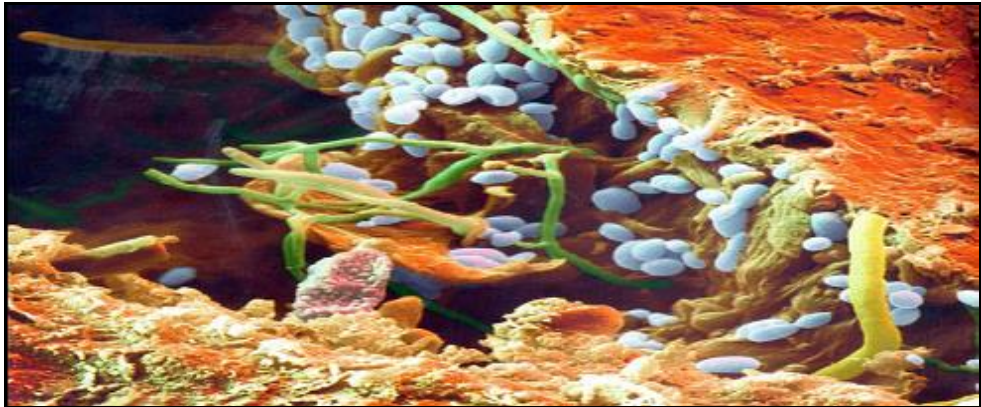


Şekil 1.5 Biyogaz oluşumu süreci (Yokuş, 2011)

Şekil 1.6'daki biyogaz oluşumu evrelerinde de görüldüğü üzere organik maddeler çözünerek 3. aşamadaki Şekil 1.7'de görülen metan formülü bakterilerin vasıtasıyla aneorobik şartlar altında metan (biyogaz) oluşumu gerçekleşirken inorganik maddeler atık olarak ortaya çıkmaktadırlar.



Şekil 1.6 Biyogaz oluşumu evreleri (Yokuş, 2011)

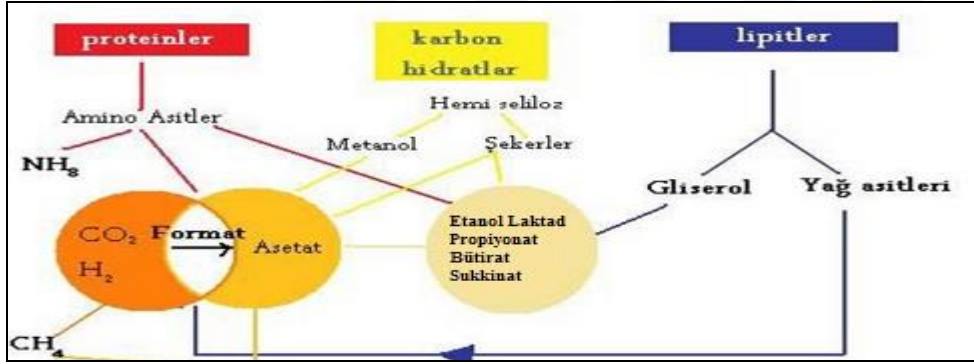


Şekil 1.7 Metan bakterileri (Yokuş, 2011)

Metan oluşumunun gerçekleştiği 3 aşama şu şekilde açıklanabilir;

1-Fermantasyon ve hidroliz: Bu aşamada fermantatif ve hidrolitik bakteriler olarak isimlendirilen bakteri grupları organik maddenin üç temel ögesi olan karbon hidratları ($C_6 H_{10} O_5$), proteinleri ($6C 2NH_3 3H_2O$) ve yağları ($C_5 OH_{90}O_6$) parçalayarak CO_2 , asetik asit ve büyük bir kısmını da çözülebilir uçucu organik maddelere dönüştürürler. Bu son gruptaki uçucu organik maddelerin büyük bir bölümünün uçucu yağ asitleri olması nedeniyle, bu aşamaya uçucu yağ asitlerinin [$CH_3 (CH_2)_n COOH$] oluşum aşaması da denebilir (Yokuş, 2011).

Kompleks organik bileşiklerin basit organik bileşiklerine dönüşmesi Şekil 1.8'de görülmektedir.



Şekil 1.8 Kompleks organik bileşiklerin basit organik bileşiklerine dönüşmesi (Yokuş, 2011)

Bu aşama organik maddelerin mikroorganizmalar tarafından monomerlerine (yapı taşı) ayrıştırılması olayıdır. Hidroliz boyunca kompleks yapıda olan ve çözünemeyen substrat makro moleküller, bakteriler tarafından daha basit ve daha çözünebilir ara ürünlere hidrolize olurlar. Bakterilerin hücre dışı enzimleri partikül substratları küçük taşınabilir moleküllere hidroliz ederler. Hidrolize olan bu küçük taşınabilir moleküller hücre zarı arasında geçebilir. Enerji sağlamak ve hücrenel bileşenleri sentez etmek için, hücre içerisinde bu moleküller kullanılır. Polisakkaritler basit şekerlere dönüştürülür. Selülozun hidrolizi selülaz enzimi tarafından gerçekleşir ve sonucunda glukoz oluşur. Hemiselülozun hidrolizi ise xyloz, glikoz, pentozos, arabinoz ve mannoz gibi monosakkaritlere indirgenmesi ile sonuçlanır. Nişasta da amilaz enzimi tarafından glukozla dönüştürülür (Gül, 2006). Bu enzimlerin çalışabilmesi için belirli bir pH ve sıcaklık gerekmektedir.

Aneorobik çürümede rol oynayan hidrolitik enzimler için uygun sıcaklık ve pH değerleri Çizelge 1.8’te verilmiştir.

Çizelge 1.8 Patates posasının aneorobik çürütmesinde rol oynayan hidrolitik enzimler için uygun pH ve sıcaklık değerleri (Gül, 2006)

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

2-Asetik asidin oluşumu: Bu aşamada, birinci aşama sonucunda açığa çıkan ve uçucu yağ asitlerini asetik aside dönüştüren asetojenik (asit oluşturan) bakteri grupları devreye girmekte ve bir kısım asetojenik bakteriler uçucu yağ asitlerini asetik asit ve hidrojene dönüştürmektedir.



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

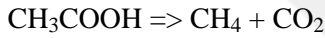
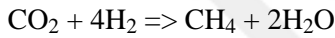


Asit oluşturu bakteriler, çözünür hale dönüşmüş organik maddeleri asetik asit başta olmak üzere uçucu yağ asitleri, hidrojen (H₂) ve karbondioksit (CO₂) gibi daha küçük yapıli maddelere dönüştürürler. Bu bakteriler anaerobiktir. Asidik şartlarda büyürler ve asetik asit gibi uçucu yağ asit bakterilerinin çoğalması ve büyümesi için karbona ve oksijene ihtiyaçları vardır. Asit oluşturu bakteriler metan oluşturu bakteriler için anaerobik şartlar oluşturuurlar (Gül, 2006).

Uçucu yağ asitlerinden başka asit bakterileri, organik bileşikleri daha düşük moleküllü alkollere, organik asitlere, karbondioksite, aminoasitlere, hidrojen sülfüre dönüştürürler (Yokuş, 2011).

Asit üretim hızı metan üretim hızına göre daha yüksektir. Organik madde konsantrasyonundaki ani artışlar asit üretiminin artmasına ve pH'ın düşmesine neden olur. Bu da metan bakterileri üzerinde inhibasyon etkisi yapar (Gül, 2006).

3-Metan oluşumu: Anaerobik fermantasyonun bu son aşamasında metan oluşturan bakteri grupları devreye girmekte ve bir kısım metan oluşturan bakteriler CO_2 ve H_2 'yi kullanarak metan (CH_4)'e ve suyu (H_2O) açığa çıkarırlarken, öteki bir grup metan oluşturan bakteriler ise ikinci aşama sonucunda açığa çıkan asetik asidi kullanarak CH_4 ve CO_2 oluşturmaktadırlar (Yokuş, 2011).



Metan oluşumunu sağlayan metan bakterileri, fermantasyon ortamının sıcaklığına göre üç gruba ayrılır. Bu bakteriler ve optimum faaliyet sıcaklıkları aşağıdadır:

Psikofilik Bakteriler: 5-25 °C,

Mezofilik Bakteriler: 25-38 °C,

Termofilik Bakteriler: 50-60 °C.

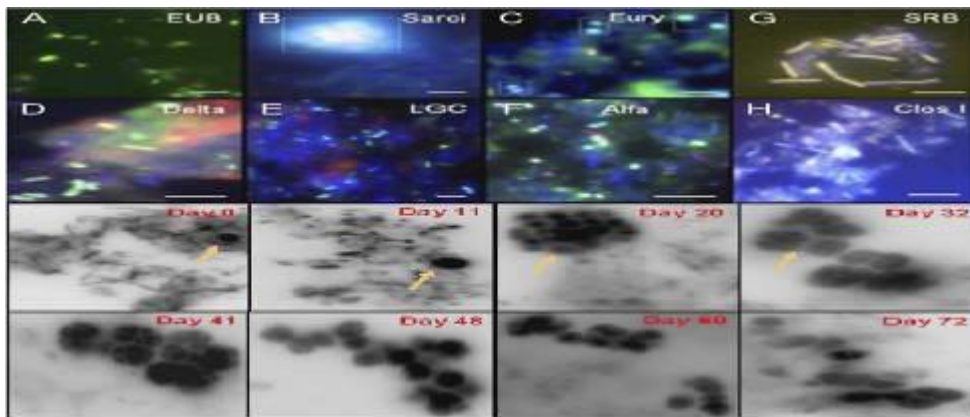
Psikofilik bakteriler deniz ve göl diplerindeki tortullar ile bataklıklar, termofilik bakteriler ise yüksek sıcaklıklardaki volkanik ve jeotermal bataklıklar içerisinde yaşamaktadırlar (Gül, 2006).

Bu bakteri gruplarından mezofilik bakteriler sığır gübresinde bulunmasına karşın, 1. ve 3. grupta yer alan psikofilik ve termofilik bakteriler sığır gübresi içerisinde yaşamamaktadır. Biyogaz tesisinde sığır gübresi kullanılması durumunda mezofilik fermantasyon uygulanır (Yokuş, 2011). Metan oluşumundaki optimum fermantasyon koşulları Çizelge 1.9'da verilmiştir.

Çizelge 1.9 Metan oluşumundaki optimum fermentasyon koşulları (Buğutekin, 2007)

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

Biyogaz üretiminin olmazsa olmaz şartlarından biri olan ısı ve atığı bekleme süresi birbirleriyle doğrudan ilişkilidir. Ortam sıcaklığı arttıkça alıkonma süresi de azalmaktadır (Yokuş, 2011). Bunun yanında alıkonma süresi ile metan bakterilerinin çalışması arasında da önemli bir bağlantı vardır. Şekil 1.9'da görüldüğü üzere belli bir alıkonma süresinde bakteri oluşumunda artış olurken 60 günlük bekleme süresinden sonra bakteri oluşumunda azalma meydana gelmektedir (Yokuş, 2011).



Şekil 1.9 Metan bakterilerinin ve metan oluşumunun mikroskop altında görünümü (Yokuş, 2011)

1.3.5 Biyogaz Üretiminde Kullanılan Maddeler

İçerisinde karbonhidrat, selüloz, hemiselüloz, yağ veya protein bulunan her türlü biyokütle biyogaz üretimi için kullanılabilir. Önemli olan burada seçilen biyokütleye göre uygun fermantasyon prosesinin seçilmesidir. Biyogaz üretimi için genel olarak kullanılan maddeler şunlardır (Yokuş, 2011).

- Orman endüstri atıkları,
- Zirai atıklar,
- Deri ve tekstil endüstri atıkları,
- Kâğıt endüstri atıkları,
- Gıda endüstrisi atıkları (çikolata, maya, süt, içecek üretimi),
- Sebze, meyve, tahıl ve yağ endüstri atıklar,
- Bahçe atıkları,
- Yemek atıkları,
- Hayvan gübreleri büyükbaş hayvancılık, küçükbaş hayvancılık, tavukçuluk vb,
- Şeker endüstri atıkları,
- Evsel katı atıklar,
- Atık su arıtma tesisi atıkları,

Biyogaz üretiminde kullanılabilen tüm materyallerin metan oranı ve biyogaz verimi farklılık göstermektedir. Kullanılabilecek maddeler ve biyogaz verimleri Çizelge 1.10'da verilmiştir.

Çizelge 1.10 Biyogaz üretiminde kullanılabilir maddeler ve biyogaz verimleri (Yokuş, 2011)

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

Belediyelere ait atık su arıtımında anaerobik fermantasyonun kullanımı diğer uygulamalara göre daha kompleks bir yapıya sahiptir. Çünkü bu atıklar ağır metaller ve toksik maddeler içermektedir. Fakat hayvansal atıklar anaerobik fermantasyona daha uygundur (Eryaşar, 2007). Biyogaz üretiminde biyogaz verimini doğrudan etkilediğinden kullanılan materyallerin toplam kuru madde miktarı ve uçucu kuru madde miktarlarının bilinmesi önemlidir. Çeşitli materyallerin TK ve UK oranlarıyla biyogaz verimleri Çizelge 1.11'de verilmiştir.

Çizelge 1.11 Çeşitli materyallerin TK ve UK oranlarıyla biyogaz verimleri (Eryaşar, 2007)

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

Sığır atığında biyogaz verimi ortalama $0,2 \text{ m}^3/\text{kg-UK}$ iken domuz atığında bu değer yaklaşık $0,3-0,45 \text{ m}^3/\text{kg-UK}$ 'dır. Bu fark domuz atığında, toplam katıda yağ oranının %7-12,3 sığır atığında %3,5-7,5 civarında olmasından kaynaklanmaktadır (Yokuş, 2011).

Metanın bir kısmının hayvanın sindirim sistemi içerisinde dönüştürülmesi ve kg atık başına biyogaz eldesinin düşmesi sığır atığındaki başlıca sorundur. Sığır gibi geviş getiren hayvanların atıkları, sindirim sistemindeki metan bakterileri tarafından dönüştürülemeyen maddeleri içerir. Biyogaz verimleri bu nedenle daha düşüktür. Geviş getiren hayvanların atığı, tavuk ve domuz atığından farklıdır.

olarak kuruduktan sonra su absorblamaya izin vermez ve yüzeyde yüzer. Bu duruma parçalamak dahi engel olamaz. Sığır atığında, hayvanın sindirim sisteminden gelen metan bakterileri bulunduğu için, biyogaz üretiminde doğal aşı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Fakat saman, yaprak, tarımsal atıklar ve endüstriyel atıklar fermente olabilmelerine rağmen aşılama yapılmadığında fermantasyonun başlaması aylarca sürebilir. Sığır atığının dezavantajı, içerdiği yüksek miktardaki fibre ve bu materyalin fermantasyonunun zor olmasıdır (Eryaşar, 2007).

1.3.6 Biyogaz Üretiminde Kullanılan Prosesler

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

1.3.6.1 Kuru proses

Kuru sistemlerde taşıma ekipmanları, özellikle pompalar ıslak sisteme nazaran pahalı olsalar da kaya, cam, metal, plastik ve ahşap gibi atıklara karşı esnekler. Bu atıklar biyolojik olarak parçalanamaz ve biyogaz üretimine katkı sağlamazlar. Ancak biyokütlenin yapısını bozmadan reaktörden geçebilirler. Bu sistemde yapılması gereken sadece 5 cm²'den büyük maddelerin ayrılması ve katı içeriğini istenilen oranda tutmak için çok az miktar suyla seyretme yapılmasıdır (Yokuş, 2011).

1.3.6.2 Yaş proses

Avrupa'da birçok farklı firma tarafından bu sistem kullanılmaktadır. Çalışma sistemindeki katı atık miktarının azlığı nedeniyle atık su tesisleri için cazip gelmektedir. Bu proseslerde klasik olarak tam karıştırılmalı reaktör kullanılabilir. Eklenen suyun sonucu olarak çok sulandırılmış çürümüş çamur oluşur ve bu çamurun bertarafı için susuzlaştırılması gerekir. Susuzlaştırmadan gelen sıvı akımın da arıtılması gereklidir. Bu durum sıvı sistemlerin maliyeti arttırmasından dolayı en büyük dezavantajdır. Prosesin basit görünüşüne karşı başarılı bir

performans için birçok teknik gerekliliğin hesaba katılması ve çözülmesi gerekir. Ön arıtma prosesi, atıkların çamurda yeterli yoğunlukta, kaba iri taneli ve ağır kirleticilerden yoksun olmalarını sağlaması açısından önemlidir. Ön arıtma prosesi elekler, tamburlar, ezme makineleri, presler, kırıcılar ve yüzdürme ünitelerinden oluşan komplike bir tesistir. Çamur haline getirilmiş atıklar ağır maddeler ve yüzen hafif maddeler nedeniyle homojen bir yoğunlukta değildir. Dibe çöken ağır maddelerin ve yüzen hafif maddelerin periyodik olarak reaktörden dışarı alınması gerekir. Tam karıştırmalı reaktörün bir başka teknik dezavantajı ise kısa çevrimin olmasıdır. Reaktörün kısa çevrim yapması biyogaz dönüşümünü azaltmasının yanı sıra atıkların hijyenini de etkiler, örneğin patojen mikroorganizmaların ölmesi için minimum bir kalma zamanı gerekmektedir (Yokuş, 2011).

1.3.7 Biyogaz Üretimini Etkileyen Faktörler

Biyogaz üretimini etkileyen, biyogaz tesisinde kullanılacak materyal, üreteç ve işlem süreci ile ilgili olmak üzere 3 temel faktör vardır (Buğutekin, 2007).

1. Biyogaz tesisinde kullanılacak materyal ile ilgili faktörler:

Biyogaz farklı organik atıkların aneorobik şartlarda meydana gelen reaksiyonu sonucu oluşan bir gaz olduğu için etkileşime giren organik maddelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeniyle materyalin içeriği ve cinsi, organik kuru madde ve kuru madde oranı, içerdiği yataklık miktarı, partikül büyüklüğü, yabancı madde oranı ve yoğunluğu gibi faktörlere bağlıdır.

2. Biyogaz sistemindeki üreteçle ilgili faktörler:

Biyogaz üretiminde, üreticinin de optimum koşulları yerine getirilmelidir. Üretici; üreticinin boyutları ve hacmi, üreticinin yapıldığı malzeme, karıştırma, yükleme ve boşaltma sisteminin özellikleri, ısıtma sistemi, yalıtım özellikleri ve bulunduğu yer etkilemektedir.

3. İşlem süreci ile ilgili faktörler:

Bu süreci; uçucu katı madde oranı, hidrolik yükleme oranı ve bekleme süresi, fermentasyon sıcaklığı, kuru madde ve organik kuru madde oranı etkilemektedir. Aneorobik koşullarda çalışabilen mikroorganizmalar için uygun çevre koşulları Çizelge 1.12'de görülmektedir.

Çizelge 1.12 Aneorobik koşullarda çalışabilen mikroorganizmalar için uygun çevre koşulları (Aktaş, 2008)

Parametre	En Uygun Şartlar
Arıtılan atığın bileşimi,	Karbon, temel (N,P) ve iz elementler bakımından dengeli olmalı, O ₂ , NO ₃ ⁻ , SO ₄ ⁻² gibi oksitleyici maddeler, zehirli ve inhibitör elementler içermemeli
KOİ/N/P	300/5/1
pH	6,5-8,2
Sıcaklık	25-40 (35-37)°C 50-60 (55)°C
Alkalinite	1000-4000 (2000) mg/L CaCO ₃
TUA	<1000-1500 mg/L (asetik asit olarak)
TUA/Alkalinite	<0,1

Biyogaz üretimini etkileyen özelliklerden sıcaklık, katı madde içeriği, hidrolik bekleme süresi, yükleme oranı, pH, C/N oranı, karıştırma, alkanite ve uçucu asitler ve toksitler fermantasyon esnasında biyogaz üretimini direk olarak etkileyen özelliklerdir (Yokuş, 2011).

1.3.7.1 Sıcaklık

Sıcaklık, diğer çevresel etkenlere göre, arıtma tesislerinin hem tasarımında hem de işletilmesinde en önemli parametrelerden biridir. Anaerobik arıtma sisteminde, mikroorganizmaların metabolik aktiviteleri büyük oranda sıcaklığa bağlıdır (Yiğit, 2007).

Aneorobik çürüme değişik sıcaklıklarda gerçekleşebilmektedir. Üç sıcaklık aralığı şu şekilde tanımlanabilir (Buğutekin, 2007).

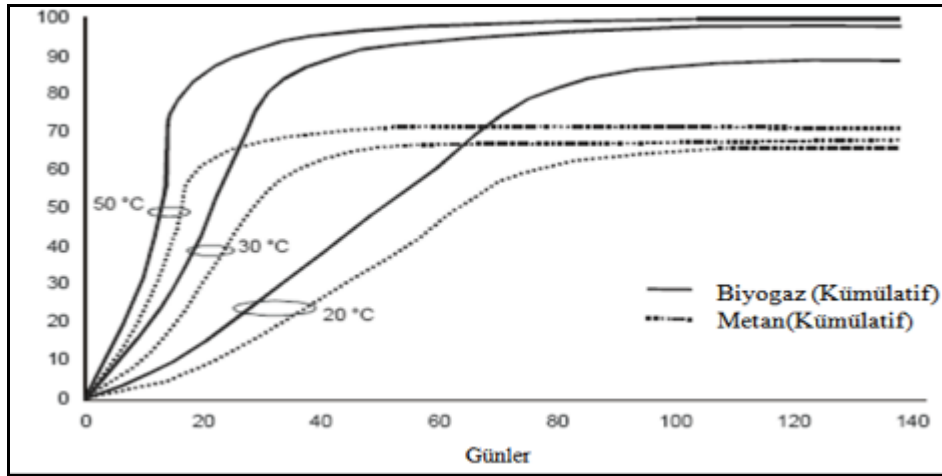
- Sakrofilik (Fizofilik) bakteriler ≤ 20 °C,
- Mezofilik bakteriler 20 °C ve 40 °C arası,
- Termofilik bakteriler ≥ 40 °C.

Sıcaklık aralığı ile atığı bekleme süresi arasında doğrudan bir ilişki vardır. Sıcaklık aralıkları ile atığın bekleme süreleri Çizelge 1.13 'de görülmektedir.

Çizelge 1.13 Sıcaklık aralıkları ve bekleme zamanları (Al Seadi, vd. 2008)

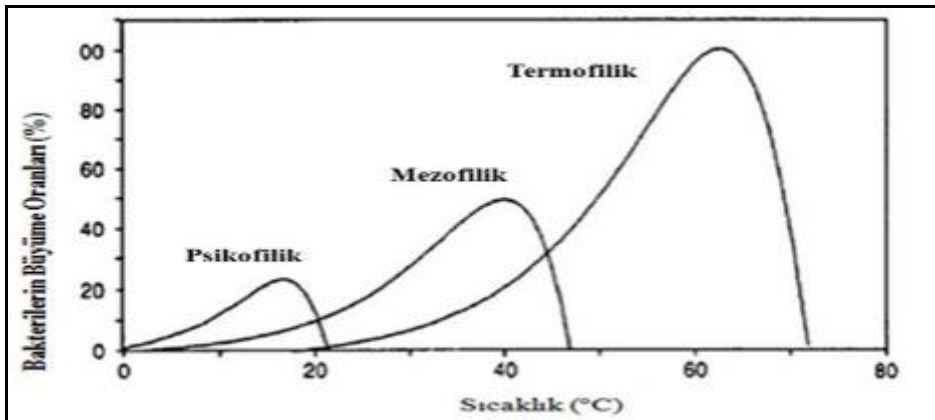
Sıcaklık Safhası	İşlem Sıcaklığı (°C)	Minimum Bekleme Süresi (Gün)
Psikofilik	<20	70-80
Mezofilik	30-42	30-40
Termofilik	43-55	15-20

Göreceli olarak biyogaz üretiminin verimi ile sıcaklık ve atığın bekleme süresi arasında bir ilişki söz konusudur. Biyogaz veriminin bekleme süresi ve sıcaklıkla ilişkisi grafik Şekil 1.10'da gösterilmiştir.



Şekil 1.10 Sıcaklık ve bekleme zamanına bağlı olarak biyogaz verimi (Al Seadi, vd. 2008)

Yapılan çalışmalar göstermektedir ki termofilik sıcaklık aralıklarında kurulan tesislerdeki bakteri faaliyeti mezofilik sıcaklık aralığında kurulan tesislerden daha yüksektir (Al Seadi, vd. 2008). Sıcaklık aralıkları ile bakteri faaliyeti arasındaki ilişki Şekil 1.11'de verilmiştir.



Şekil 1.11 Metan bakterilerinin nisbi büyüme oranları (Al Seadi, vd. 2008)

Biyogazda bulunan bazı maddelerin çözünürlükleri de sıcaklığa bağlıdır ve bazı gazların sudaki çözünürlükleri ile sıcaklık aralığı ile arasındaki ilişki Çizelge 1.14’de verilmiştir.

Çizelge 1.14 Biyogazda bulunan bazı gazların sudaki çözünürlükleri ile sıcaklık aralığı ile arasında ilişki (Al Seadi, vd. 2008)

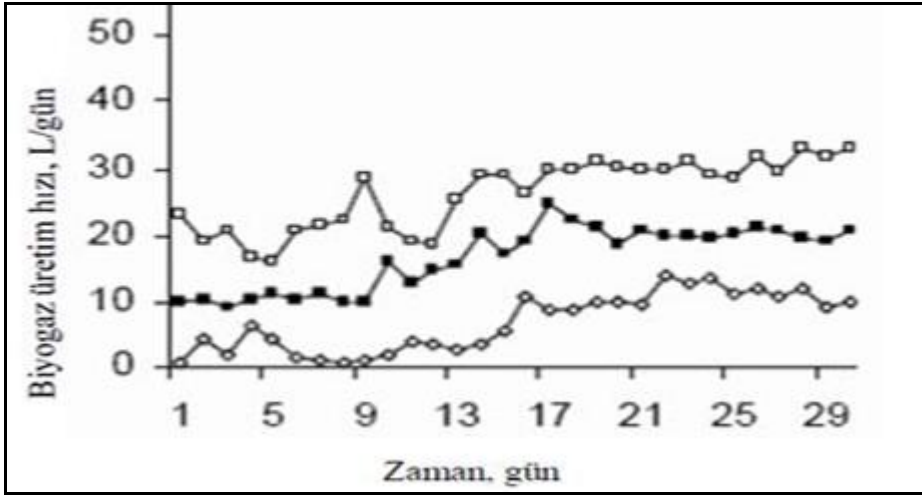
GAZ	Sıcaklık (°C)	Çözünürlük (mmol/L su)	Değişen Çözünürlük (50°C-35°C)
H ₂	35 – 50	0,749 – 0,725	%3,3
CO ₂	35 – 50	26,6 – 19,6	%36
H ₂ S	35 – 50	82,2	%31
CH ₄	35 – 50	1,14 – 0,962	%19

Biyoreaktör sıcaklığı 22 °C’nin üzerinde tutulduğu zaman daha iyi performans sağlanabilir. Sıcaklık 22 °C’nin altına düştüğü zaman biyogaz üretimi düşer. Bu sıcaklıkta biyogaz tesisinin işletilmesi ekonomik değildir. Çevre sıcaklığı 10 °C’nin altına düştüğünde gaz üretimi durur. Biyoreaktörlerde biyokimyasal reaksiyon esnasında sıcaklık;

Psikofilik şartlarda ± 2 °C /saat,

Mezofilik şartlarda ± 1 °C/saat,

Termofilik şartlarda ± 0.5 °C/saat aralığında tutulmalıdır (Gül, 2006). Sıcaklık koşullarının biyogaz üretim hızına olan etkisi Şekil 1.12’de görülmektedir.



Şekil 1.12 Sıcaklık koşullarının biyogaz üretim hızına olan etkisi (Gül, 2006)

1.3.7.2 Katı madde içeriği

Biyogaz fermantasyonunda kullanılan hammaddenin kuru madde içeriği pek çok faktöre bağlıdır. Günümüzde biyogaz teknolojisinin ulaştığı seviye ve kullanılan materyal çeşitliliği dikkate alınırsa içerdiği kuru maddenin ne denli farklı olacağı açıktır. Bunlardan koyun gübresi ortalama % 24, tavuk gübresi % 22 ve sığır gübresi % 10 kuru madde içermektedir. Yapılan çalışmalarda, yüksek kuru madde konsantrasyonlarının gaz üretimini artırdığı ve gerekli olan üreteç hacmini azalttığı bilinmektedir. Bunun yanında hammadde özgül gaz üretimini azalttığı da yine çalışmalar sonucu açıklanmıştır (Buğutekin, 2007).

Aneorobik çürütmede organik atıkların katı madde içeriği, oluşan biyogazın içerisindeki metan yüzdesini büyük oranda etkilemektedir. Biyoreaktöre doldurulan katı madde oranı % 7-9 arasında olmalıdır. Düşük katı oranlarında havasız ortam koşullarını sağlamak zorlaşırken, yüksek katı derişimin de bakteriyel etkinliğin yavaşlaması nedeni ile biyogaz üretim hızı düşmektedir (Aktaş, 2008).

Kullanılan substratta katı madde içeriğindeki artış, metanojenlerin aktivitesini kademeli olarak yavaşlatır ve sonuç olarak biyogazın kalitesi azalır. Biyogaz tesislerinde katı madde oranının % 7-12 civarında olması önerilmektedir.

Anaerobik sistemlerde maksimum biyogaz üretim veriminin reaktöre verilen hammaddedeki katı maddenin kütlece % 6 ile % 10 arasında olduğunda gerçekleştiği ve metan üretim veriminin, kütlece % 12 katı madde oranının aşılması durumunda ise düştüğü görülmektedir. Anaerobik ayrışma ortamındaki katı madde oranı çok yüksek ise karıştırma işleminin zorlaşması ve karıştırma için harcanan enerjinin artacağından biyogaz üretim miktarı düşer. Katı madde oranının çok düşük olması ise, mikroorganizmalar tarafından tüketilecek substrat miktarının az olması anlamına gelmektedir. Dolayısıyla bu durumda da biyogaz üretim miktarı düşer (Gül, 2006).

1.3.7.3 Bekleme süresi

Aneorobik sistemlerde uçucu organik maddelerin reaktörde kaldığı süredir. Tümüyle organik maddenin bileşimine ve sıcaklığa bağlıdır. Bekleme süresinin artması organik maddenin parçalanma hızını artırmaktadır. Fakat en uygun alıkoyulma süresi belirlenmelidir. Uçucu madde alıkoyulma süresi ve hidrolik alıkoyulma süresi olmak üzere iki türlü kullanımı vardır. Uçucu madde alıkoyulma süresi (UAS), sistemdeki mikroorganizmaların uçucu maddeyi dönüştürmek için kullandıkları süredir ve sistemdeki uçucu madde kütlelerinin, sistemden çıkan uçucu maddenin kütleli hızına oranıdır. UAS, havasız sistemlerde 2-6 gün arasında değişmektedir (Aktaş, 2008).

Hidrolik bekleme süresi (HBS), gübre içindeki organik maddelerin bakteriler tarafından çürütülmesi sonucu biyogaz üretmesi için gerekli olan süredir. Reaktör içindeki bazı organik maddeler bütünüyle biyokimyasal reaksiyona girdiğinde zamanla gaz üretimi azalmaya başlar. Seçilen hidrolik bekleme süresi içinde besi maddelerinin % 70-80 oranında biyokimyasal reaksiyona girerek giderildiği kabul edilir. Biyogaz tesislerinde işletme sıcaklığına bağlı olarak hidrolik bekleme süresi 20 ile 120 gün arasında değişir. Tropikal bölgelerde bu süre 40-50 gün, Çin'in soğuk bölgelerinde ise 100 gün civarındadır. Sürekli beslemeli sistemlerde, bakterilerin reaktörlerden kaçmasını önlemek ve bakterilerin iki katına çıkmasını temin için HBS daha uzun seçilebilir. Sürenin düşürülmesi, çürütülecek malzemeye bağlı olarak değişir. Hayvan atıklarında süreyi etkileyen en önemli basamak hidroliz kademesidir. Sığır gübresinde daha fazla miktarda selüloz ve semi selüloz içerir. Yağlar ve karbonhidratlar daha kolay hidrolize olurken selülozlar daha zor hidrolize olurlar. Mezofilik şartlarda ortalama HBS, sıvı sığır gübresinde 12-30 gün, saman yataklı sığır gübresinde 18-36 gün, sıvı domuz gübresinde 10-25

gün, bitki ile karıştırılmış sığır gübresinde 50-80 gün ve sıvı tavuk gübresinde 20-40 gün arasındadır. Hidrolik bekleme süresi yeterli olmazsa reaktörden bakteriler daha hızlı kaçar ve uçucu yağ asidi konsantrasyonu artar. Bu da biyogaz üretiminin düşmesine neden olur. Fermantasyon tam olarak gerçekleşmez. Bu problem, tarımsal biyogaz tesislerinde nadiren gerçekleşir. Reaktör sıcaklığı arttıkça hidrolik bekleme süresi düşer. Yüksek sıcaklıkta biyokimyasal reaksiyonlar daha kısa sürede gerçekleşir (Gül, 2006).

1.3.7.4 Yükleme oranı

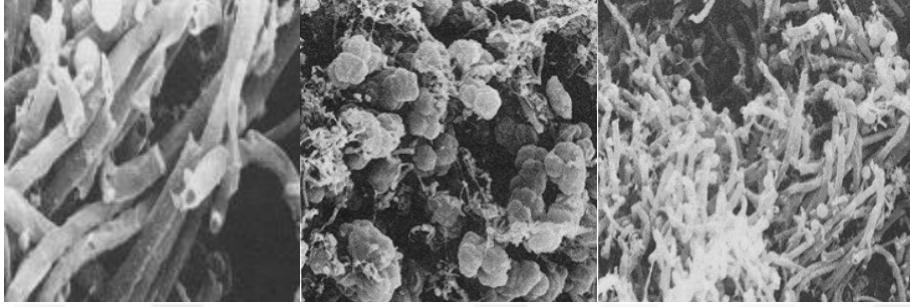
Yükleme oranı bekleme süresi ve kuru madde içeriği bağımlılığında oluşan bir faktördür. Birim üreteç hacmine günde yüklenen organik kuru madde miktarını tanımlamaktadır (Buğutekin, 2007).

1.3.7.5 pH oranı

Metan oluşturuvcu bakteriler hafif alkali veya nötr ortamda yaşarlar. Fermantasyon işlemi anaerobik şartlarda kararlı olarak devam ederken ortamın pH'ı, normal olarak 7-7,5 arasında değişir. Karbondioksit-bikarbonat ($\text{CO}_2\text{-HCO}_3^-$) ve amonyak amonyumun ($\text{NH}_3\text{-NH}_4^+$) tamponlama etkisinden dolayı pH seviyesi nadiren değişir. Bikarbonatlar, pH'ın düşerek metanojenik mikroorganizmalar üzerine ters etki yapmasını önler. Çünkü bikarbonatlar çürüme esnasında oluşan uçucu yağ asitlerinin serbest yağ asitleri halinde değil, bağlı halde tutulacağı için pH düşürme etkisini önler (Öztürk, 2005).

Bütün canlı hücrelerin iç ortam pH'ı 7 civarındadır. Asit üreten bakterilerin 5.5 gibi düşük pH'da faaliyet göstermesine karşın metan üreten bakteriler pH 6.5 olan ortamlarda yaşayamazlar; bunlar için en uygun pH 6.8-7.2 arasında veya 6,5-8,5 olabilir, fakat pH'taki 0,5 artma veya azalma sistemin gaz üretimine zarar vermez (Buğutekin, 2007).

Farklı pH değerlerindeki metan bakterilerinin görünümü Şekil 1.13'de verilmiştir.



Şekil 1.13 Farklı pH değerlerindeki metan bakterilerinin görünümü (Buğutekin, 2007)

1.3.7.6 Karbon/Azot (C/N) oranı

Karbon ve azot gibi elementler anaerobik bakteriler için temel besin kaynaklarıdır. Karbon elementi enerji için, azot ise yapı hücresinin inşaatı (yapımı) için kullanılmaktadır. Karbonu, azota oranla bakteriler 25–30 kat daha hızlı kullanırlar, bu yüzden C/N oranı, 25–30:1 olmalıdır. Eğer karbon/azot oranı dengede (uygun) değilse belli miktarlarda alçı taşı veya üre kullanılarak bu oran düşürülüp yükseltilebilir (Buğutekin, 2007).

Besin maddesindeki bileşikler, biyoreaktörde mevcut farklı bakteriler tarafından kullanılırlar. Metabolik işlemler için gerekli C/N oranı bakteriler için uygun olmalıdır. C/N oranı optimum çürüme için 23/1'den büyük olmamalıdır. Yine C/N oranı 10/1'den küçük olduğunda bakteriler üzerinde engelleyici etki yapmaktadır. İdrarın, hayvan gübresinde azot (N) kaynağı olduğu çalışmalarca gösterilmiştir. Deneysel çalışmalardan görülmüştür ki hayvan atığı içinde 5000 mg/L azotun bulunması biyokimyasal reaksiyon üzerine olumsuz etki yapmaktadır. Organik madde içinde azot 8000 mg/L ise azot amonyak azotuna dönüşür. Bu engelleyici etkide en önemli rolü, amonyum iyonu yerine serbest amonyak azotu oynamaktadır. Serbest amonyak azotu özellikle hidrojen (H₂) ile karbon dioksit gazlarından metan üretimi üzerinde engelleyici etki yapmaktadır (Gül, 2006). Çeşitli hayvan gübrelerine ve evsel/tarımsal atıklara ait kuru bazda C, N, C/N oranı ve nem miktarları Çizelge 1.15'de verilmiştir.

Çizelge 1.15 Organik maddelerin C/N oranları (Öztürk, 2005)

Gübre	C %Kuru	N %Kuru	C/N Oranı	Taze Gübredeki Nem Oranı (%)	Su ile Seyreltme
Sığır Gübresi	30	1,66	18	80-85	1:1
Koyun Gübresi	83,6	3,80	22	75-80	1:1
Kümes Hay.	87,5	6,55	14	70-80	1:3
Domuz Gübresi	76	3,8	20	75-80	2:3
At Gübresi	33,4	2,3	15	80-85	2:3
Kaz Gübresi	54	2	27	70-80	1:3
Güvercin Gübresi	50	2	25	70-80	
İdrar	15	15	1	90-95	
Kan	36	12	3	90-95	
Balık Atığı	56	7	8	55-75	
Kesimhane Atığı	64	8	8	55-75	
Çiftlik Gübresi	42	3	14	75-50	
Evsel ve Tarımsal Atıklar					
İnsan Dışkısı	48	6,0	8	50-70	3:7
İdrarlı İnsan	70	7,0	10	50-70	
Patates Kabuğu	37,5	1,5	25	50-60	
Mutfak Atığı	62,5	2,5	25	5-15	
Ekmek	50	2	25	50-60	
Gazete	40	0,05	800	5-15	
Taze Çim	48	4	12	40-60	
Yulaf Samanı	50,4	1,05	120	20-40	
Pirinç Samanı	18	0,3	60	20-40	
Yapraklar	55	1,0	55	25-40	
Yer Fıstığı	40	2,0	20	25-40	
Soya Fasulyesi	64	2,0	32	25-40	
Ağaç Yaprakları	75	1,5	50	40-60	
Şeker Kamışı	45	0,3	150	25-40	
Soya Fasulyesi	17,5	3,5	5	10-15	
Pamuk Tohumu	12,5	2,5	5	10-15	
Hardal	39	1,5	26	10-15	
Su Sümbülü	30,4	1,9	16	85-90	

1.3.7.7 Karıştırma

Anaerobik çürütücülerin performansı ilk olarak reaktördeki substratın bekleme süresinden, yaşayabilecek durumda olan bakteriyel popülasyon ve giren substratın birbirleri arasındaki etkileşim derecesinden etkilenir. Çürütücü içerisindeki substratın karıştırılması sayesinde mikroorganizmalar üniform bir biçimde dağıtılır ve aynı zamanda ısı transferi gerçekleşir. Karıştırma, mekanik karıştırıcılarla, biyogaz geri devri ile veya çamur geri döngüsüyle çok iyi yapılabilir. Mekanik karıştırıcılar, karıştırılan her bir galon (1 gal=3.78 L) başına tüketilen enerji açısından en verimli olduğu kaydedilmiştir. Buna karşılık gaz sirkülasyonu ile karıştırma yapılan çürütücülerde, gaz sirkülasyon hızının artmasıyla ters orantılı olarak metan üretim hızının azaldığı kaydedilmiştir. Bunun nedeni hava pompasıyla yapılan gaz sirkülasyonu esnasında sisteme bir miktar hava sızmasından kaynaklandığı görülmüştür (Gül, 2006).

Karıştırmanın en önemli hedefleri şunlardır (Yokuş, 2011):

1. Metanojenler tarafından üretilen metabolitlerin (gaz) giderimi,
2. Bakteriyel popülasyon (aşı) ve taze substratın karışması (aşılama),
3. Çökelmenin ve köpük oluşumunun engellenmesi,
4. Uniform bir bakteriyel popülasyon yoğunluğunun elde edilmesi,
5. Etkin çürütücü hacmini azaltan ölü bölge oluşumunun engellenmesi.

Karıştırmanın avantajları ise şu şekilde sıralanabilir (Yokuş, 2011):

1. Metanogendisler tarafından üretilen biyogazın çıkışını kolaylaştırmak.
2. Bakteri popülasyonu ile taze atığın birbirine karışımı sağlanarak reaksiyonu hızlandırma,
3. Fermantasyon esnasında atığın üst yüzeyindeki köpük oluşumunu ve atığın içindeki küçük partükülerin fermentörün (reaktörün) taban kısmına çökmesini önler,
4. Fermenterlerdeki atığın sıcaklık dağılımını eşitleme,

1.3.7.8 Alkalinite ve uçucu asitler

Havasız sistemlerde, alkalinite ile uçucu asit derişimleri arasında bir etkileşim söz konusudur. Alkalinite, havasız sistemlerde, sistemi nötralize etmeye çalışarak bir tamponlama görevi görür. Uçucu asitlerin birikmesi söz konusu olursa pH'da azalma oluşur. Yani havasız sistemlerde pH dengesinin sağlanabilmesi için alkaliniteye gereksinim vardır. Ortamda işletme sırasında TUA/Alkalinite oranı 0,1 değerini aşmamalıdır. Ortamın pH'ının düşmesi ve bunun sonucu olarak, alkalinitenin azalması durumunda sistemin alkalinitesinin ek kimyasallar ile artırılması gereklidir. Yaygın olarak kullanılan kimyasallara örnek olarak $\text{Ca}(\text{OH})_2$, NaHCO_3 , Na_2CO_3 , NaOH , NH_3 veya NH_4HCO_3 verilebilir (Aktaş, 2008).

Uçucuların bileşiminde asetik asit, propionik asit, bütirik asit, vb asitler bulunmaktadır. Uçucu asitler fermenterdeki bulamacın gerçek durumunu belirttikleri için pH'tan daha önemlidir. Ölçümleri kolay değildir (Buğutekin, 2007).

Anaerobik sistemlerde uçucu asit derişiminin artması ve ani pH düşüşlerine karşı güvenliği sağlamak için kullanılan parametre, alkalinitedir. Ani pH düşüşlerinden sistemi korumak için, tampon görevi gören alkali metaller (sodyum ve potasyum bikarbonatlar, kireç vs.) kullanılır. 2500 mg/L alkalinite, uçucu yağ asitlerinden dolayı oluşan ani pH düşüşlerine karşı veya pH dalgalanmalarına karşı tampon görevi görerek sistemi korur. Küçük reaktörlerde ise 1000 mg/L bikarbonat alkalinitesi de sistemi başarılı olarak korur (Yiğit, 2007).

1.3.7.9 Toksikler

Bakterilerin büyümelerini engelleyerek toksik etki yaparlar. Az miktarda mineralizasyonlar (sodyum, potasyum, kalsiyum, magnezyum, amonyum ve kükürt) bakterilerin büyümeleri geliştirirken ağır metaller toksik etki yaparlar. 50-200 mg/L amonyum bakterilerin büyümesini ilerletirken 1500 mg/L amonyum bakteriler üzerinde toksik etki yapar. Benzer şekilde bakır, nikel, krom, çinko, kurşun gibi ağır metaller çok düşük konsantrasyonlarda bakterilerin gelişmesinde olumlu etki yaparken, yüksek konsantrasyonlarda toksik etki yaparlar. Sabun gibi deterjanlar, antibiyotikler, dezenfektanlar, organik solventler bakterilerin metan üretim kapasitelerini düşürürler. Bu nedenle bu maddelerin hayvan gübresine

karışması önlenmelidir (Öztürk, 2005). Bakterilerin büyümesinde toksik etki yapan bazı maddelerin konsantrasyonları Çizelge 1.16’da verilmiştir.

Çizelge 1.16 Bakterilerin büyümesinde toksik etki yapan bazı maddelerin konsantrasyonları (Öztürk, 2005)

Engelleyiciler	Engelleme Seviyesi (mg/L)
Sülfat (SO_4^{-2})	5,000
Sodyum klorür ve genel tuzlar (NaCl)	40,000
Nitrat (N olarak hesaplanmış)	0,05
Bakır (Cu^{+2})	100
Krom (Cr^{+3})	200
Nikel (Ni^{+1})	200-500
Sodyum (Na^{+1})	3,500-5,500
Potasyum (K^{+1})	2,500-4,500
Kalsiyum (Ca^{+2})	2,500-4,500
Magnezyum (Mg^{+2})	1,000-1,500
Mangan (Mn^{+2})	1,500 üzeri

Sığır gübresinin çürümesinde amonyak toksisitesi yaklaşık olarak 2,5 gr/L amonyak azotu ($\text{NH}_3\text{-N}$) olarak kaydedilmiştir. Domuz ve kümes hayvanları gübrelere çürümesinde ise 4 gr/L ($\text{NH}_3\text{-N}$)’den daha fazla değerlerde amonyak toksisitesi kaydedilmiştir (Gül, 2006). Anaerobik arıtmada metan üretimi üzerine amonyak konsantrasyonunun olumlu ve olumsuz etkisi Çizelge 1.17’de gösterilmiştir.

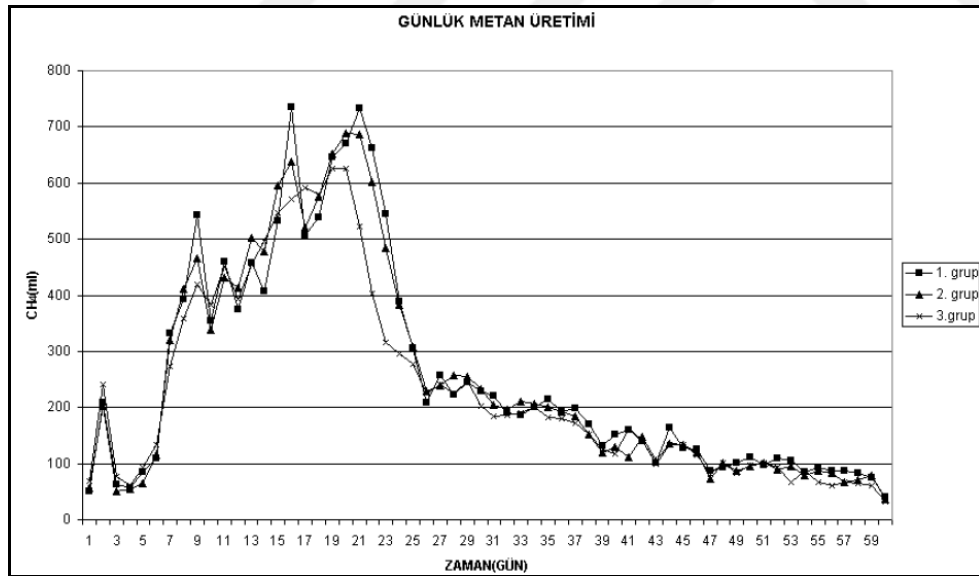
Çizelge 1.17 Amonyakın metan üretimine olan etkisi (Öztürk, 2005)

Konsantrasyon (mg $\text{NH}_3\text{/L}$)	Etkisi
5-200	Faydalı
200-1000	Ters etkisi yok
1500-3000	Yüksek pH değerlerinde muhtemelen engelleyici
>3000	Toksik

1.3.7.10 Basınç

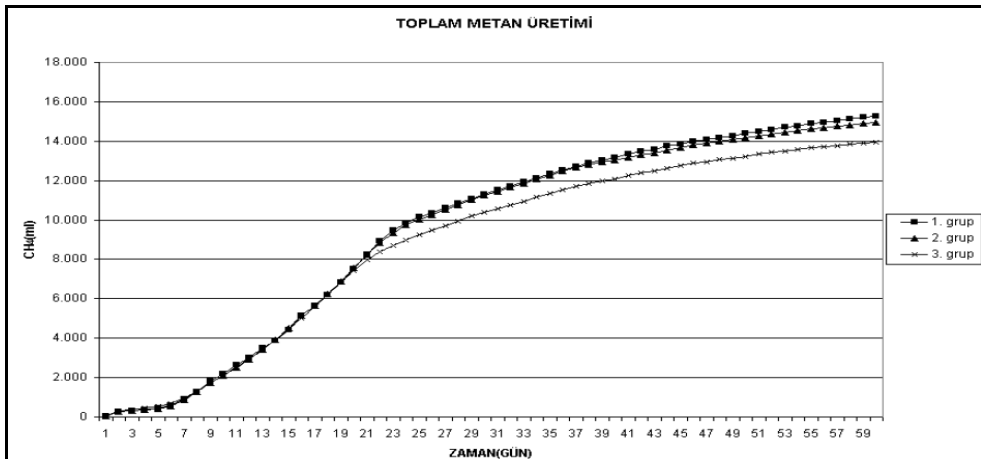
Reaktör içerisinde oluşacak basıncın anaerobik bakterilere ve dolayısıyla biyogaz üretim verimine etkisi söz konusudur. Literatürde konuyla ilgili olarak 0,75 – 1,5 kPa mutlak basınç aralığının, biyogaz üretimi için ideal olduğu ve bunun üzerindeki basınçlarda üretimin zorlaşacağı belirtilmektedir. Özellikle büyük reaktörlerin alt kısmında bulunan metan bakterileri oldukça büyük hidrolik basınç altında faaliyetlerini sürdürmektedir ve bir performans düşüklüğü rapor edilmemiştir (Eryaşar, 2007).

Her ne kadar 1,5 kPa basınç değeri biyogaz üretiminde sınır değeri olarak kabul edilse de farklı basınç değerlerinde yapılan üretimlerde metan üretiminde ciddi bir fark olmadığı ortaya konmuştur. Farklı basınç değerlerinde günlük ve toplam üretilen biyogaz değerleri Şekil 1.14 ve Şekil 1.15’de verilmiştir.



1. Grup: $\approx 19,6$ kPa (mutlak) 2. Grup: $\approx 9,8$ kPa (mutlak) 3. Grup: $\approx 1,5$ kPa (mutlak)

Şekil 1.14 Farklı basınç değerlerinde günlük metan üretimi (Eryaşar ve Koçar, 2009)



1. Grup: $\approx 19,6$ kPa (mutlak) 2. Grup: $\approx 9,8$ kPa (mutlak) 3. Grup: $\approx 1,5$ kPa (mutlak)

Şekil 1.15 Farklı basınç değerlerinde toplam metan üretimi (Eryaşar ve Koçar, 2009)

Grafikler incelendiğinde, istatistiksel olarak anlamlı olmamasına rağmen, en düşük sistem basıncına sahip 1,5 kPa üretim değerlerinin, diğer gruplara göre daha düşük seviyede gerçekleştiği görülmektedir. Bu durum, 1,5 kPa mutlak basınç üzerindeki basınçların, metan üretimini zorlaştırdığı şeklindeki literatür bilgisince desteklenmektedir. Bu da, 1,5 kPa basınç değerini metan üretiminde sınır değer alan yorumların, bu etkiler göz önüne alınmadan yapıldığını düşündürmektedir (Eryaşar ve Koçar, 2009).

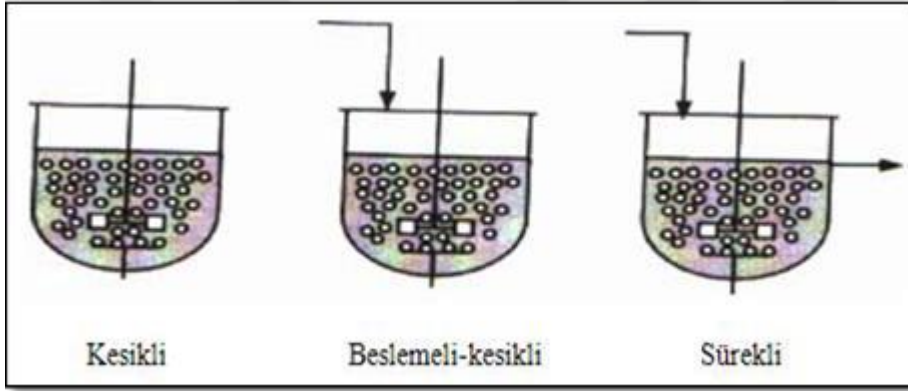
1.3.8 Biyogaz Üretiminde Kullanılan Fermantasyon Şekilleri

Biyogaz üretim sistemlerinde 3 farklı fermantasyon şekli kullanılmaktadır (Yokuş, 2011):

1-Kesikli (Batch) Fermantasyon: Tesisin fermantörü (üretim tankı) hayvansal ve/veya bitkisel atıklar ile doldurulmakta ve alıkoyma - bekletme süresi kadar bekletilerek biyogazın oluşumu tamamlanmaktadır. Sistem sıcaklığına ve kullanılan organik maddeye bağlı olarak bekleme süresi değişmektedir. Bu süre sonunda tesisin fermantörü (reaktörü) tamamen boşaltılmakta ve yeniden doldurulmaktadır.

2-Beslemeli-Kesikli (Yarı Kesikli) Fermantasyon: Burada fermantör başlangıçta belirli oranda organik madde ile doldurulmakta ve geri kalan hacim fermantasyon süresine bölünerek günlük miktarlarla tamamlanmaktadır. Belirli fermantasyon süresi sonunda fermantör tamamen boşaltılarak yeniden doldurulmaktadır.

3-Sürekli Fermantasyon: Bu fermantasyon biçiminde fermantörden gaz çıkışı başladığında günlük olarak besleme yapılır. Sisteme aktarılan karışım kadar gaz alınmış çökelti sistemden dışarıya alınır. Fermantöre her gün belirli miktarlarda organik madde verilmekte, alıkoyma süresi kadar bekletilmekte ve aynı oranlarda fermente olmuş materyal günlük olarak fermantörden alınmaktadır. Böylece günlük beslemelerle sürekli biyogaz üretimi sağlanmaktadır. Biyogaz üretim sistemlerinde kullanılan fermantasyon şekilleri Şekil 1.16’da görülmektedir.



Şekil 1.16 Fermantasyon şekilleri (Yokuş, 2011)

1.3.9 Biyogaz Üretim Tesisleri

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

1-Tarımsal biyogaz tesisleri:

a-Aile tipi biyogaz tesisleri (Çok küçük ölçekli),

b-Çiftlik tipi biyogaz tesisleri (Küçük ölçekli),

c-Merkezi biyogaz tesisleri (Orta ölçekli),

2-Atık su arıtma tesisleri,

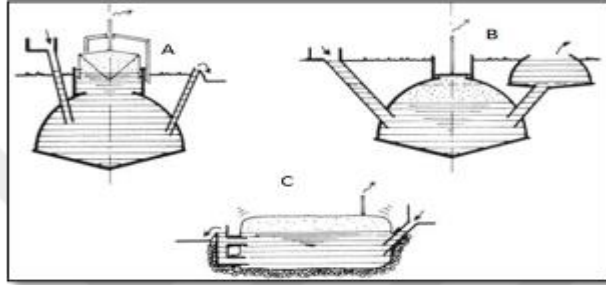
3-Belediye katı atık arıtma tesisleri,

4-Endüstriyel biyogaz tesisleri,

5-Çöp gazı geri kazanım tesisleri.

1.3.9.1 Aile tipi biyogaz tesisleri

Genel olarak aile tipi biyogaz tesisleri Hint tipi, Çin tipi ve Tayvan-Çin tipi şeklinde üçe ayrılmaktadır (Yokuş, 2011). Aile tipi biyogaz tesisleri Şekil 1.17’de görülmektedir.



A.Hint Tipi, B.Çin Tipi, C. Tayvan-Çin tipi

Şekil 1.17 Aile tipi biyogaz tesislerinin şematik görünümü (Yokuş, 2011)

1. Çin tipi reaktörler bir çürütücü (fermantasyon tankı) ve onun üzerinde hareketli olmayan bir gaz tutucudan oluşur. Bulamaç gaz üretimi başladığında tankın dengeleme bölümünden alınır. Bu bölüm ile çürütücüdeki bulamaç arasında mesafe artarsa ve depolanmış gazın hacmiyle gaz basıncı artar. Yatırım maliyeti, hareketli parçası olmadığından ve paslanmaz çelikten imal edildiğinden düşüktür. İmalatı kaliteli yapıldığında ömürleri uzundur. Yer altına inşaat edilmeleri alan kazancı ve sıcaklık değişimlerine karşı koruma sağlar. Tuğladan yapılmış gaz tutucularında meydana gelebilen gaz sıkışması en sık rastlanılan problemdir. Tuğlalardaki ufak bir çatlak ciddi gaz kayıplarına yol açabilir (Yokuş, 2011).

2. Hint tipi reaktör yer altındaki bir çürütücü ve hareketli bir gaz tutucudan ibarettir. Gaz tutucu ya doğrudan bulamaç üzerinde yüzer ya da kendisine ait bir su ceketini oluşturur. Gaz, depolanan gazın miktarına göre yukarı ve aşağı hareket eden bir gaz tamburunda toplanır. Şayet gaz tamburu bir su ceketinde yüzerse yüksek katı madde içerikli karışımlarda bile takılma olmaz. Depolanan gaz uygulanması basit ve anlaşılabilir olan bu tesiste rahatça görülebilir durumdadır. Gaz basıncı sabit olup gaz tutucunun ağırlığıyla belirlenir. İnşatta yapılan hatalar gaz veriminde ve uygulamada büyük problemlere yol açmaz. Bunun yanında korozyona karşı duyarlı olması nedeniyle yumuşak çelik tamburun maliyeti yüksektir. Bundan dolayı Çin tipi tesislerden daha kısa ömürlü ve bakım maliyetleri daha fazladır (Yokuş, 2011).

3. Tayvan-Çin tipi reaktörler PVC veya kuvvetli naylon kumaş kaplı neoprenden yapılmış (uzunluk/çap oranı 3:14) olan silindirlere. Bu tür reaktörler oldukça hafiftir. 50 m³ membran reaktörlerin ağırlığı 270 kg'dır. Hayvan ahırına yakın yere kolayca inşa edilebilir ve yere belli derinlikte inşa edilmesi gereklidir. Besleme girişi, reaktörde yaklaşık 40 cmSS basıncını muhafaza edecek şekilde düzenlenir. Bu tür reaktörler, biyogazın ayrı olarak depolandığı, piston akımlı bir reaktör (karıştırmasız) gibi hareket eder. Kolay inşa edildiğinden dolayı Çin'de torba tipi reaktörlerin birim m³ bedeli 25 ila 30 dolardır. Bu nedenle torba tipi reaktörler çok rekabet edebilir durumdadır. Ekonomik, dayanıklı ve kolay inşa edilebilir özelliğinden dolayı Çin'de hızlı şekilde gelişmeye başlamıştır. Kore, Tayvan ve Fiji'de yaygın kullanılan reaktörlerden biridir.

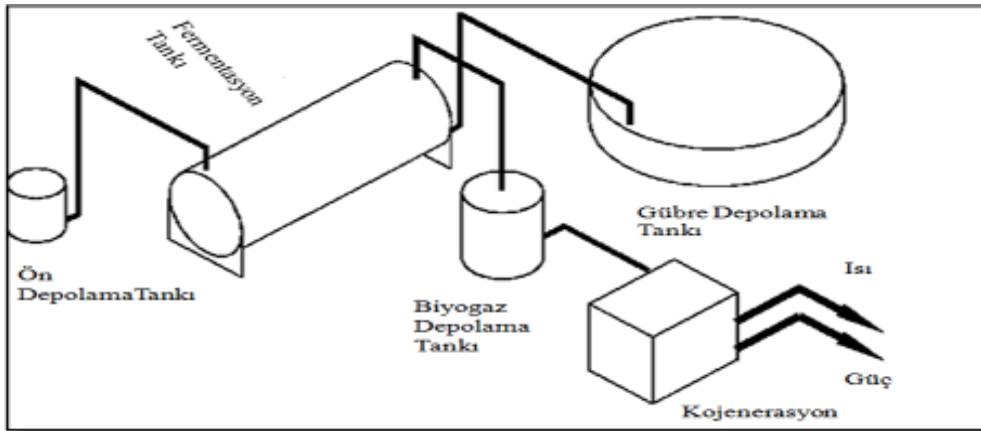
1.3.9.2 Çiftlik tipi biyogaz tesisleri

Tesis hammaddenin karşılandığı çiftlikte kurulu olmasından dolayı bu şekilde isimlendirilmiştir. Bu şekilde üretim yapan birçok tesis, metan verimini artırmak için balık, sebze ve yağ endüstrisi atıklarını da kullanmaktadır. Bu tarz kurulan tesisler komşu bir veya birkaç çiftlikten de hayvansal atığını bir boru hattıyla alabilmekte ve kullanabilmektedir. Dünyada ve özellikle Almanya, Avusturya ve Danimarka gibi birçok Avrupa ülkesinde bu tesisleri görmek mümkündür. Günümüzde birçok Avrupalı çiftçi yatırımcı biyogaz ve değerli gübre çıktısından dolayı değil, aynı zamanda yeni iş alanları yarattığı içinde bu tesislere yatırım yapmaktadırlar. Çiftlik tipi biyogaz tesisleri farklı şekillerde, tasarımlarda ve ölçülerde inşa edilebilmektedir (Al Seadi, vd. 2008). Şekil 1.18'de mısır silajı kaynaklı bir biyogaz tesisi verilmiştir.



Şekil 1.18 Mısır silajı kaynaklı çiftlik tipi bir biyogaz tesisi Almanya-Birkenfeld (Yokuş, 2011)

Çiftlik tipi biyogaz tesislerinin tasarımında yaygın bir kural bulunmaktadır. Hayvansal atık, ön depolama tankına alınır, buradan kapalı fermantasyon tankına bir pompa vasıtasıyla atık iletilir. Bu fermantasyon tankı sıcaklığını korumak ve gaz sızdırmazlığını sağlamak için çelik veya betondan yapılmış bir yapıdır. Çiftlik tipi bir biyogaz tesisinin fermantasyon tankları Şekil 1.19'da görüldüğü üzere yatay inşa edildiği gibi dikey olarak da inşa edilebilmektedir (Yokuş, 2011).



Şekil 1.19 Çiftlik tipi bir biyogaz tesisinin şematik görünümü (Al Seadi, vd. 2008)

1.3.9.3 Merkezi biyogaz tesisleri

Birçok çiftlikten gelen hayvansal ve bitkisel atıklar merkezi bir toplama alanında toplanır. Tesisler bu toplama alanına kurulmaktadır. Bunun nedeni; biyokütle ve gaz transferinde tesis maliyetlerini, işgücünü ve zaman kayıplarını azaltmayı amaçlamaktır. Merkezi biyogaz tesislerinde sindirilebilir tarımsal atıklar, gıda ve balık endüstrisi atıkları, ayrı toplanan organik evsel atıklar ve kanalizasyon atıkları kullanılabilir. Bu tesisler hayvancılığın yoğun olarak yapıldığı dünyanın birçok yerinde ve özellikle Danimarka'da yaygın olarak kullanılmaktadır. Danimarka'daki merkezi bir biyogaz tesisi Şekil 1.20'de görülmektedir (Yokuş, 2011).



Şekil 1.20 Danimarka’da inşa edilmiş merkezi bir biyogaz tesisi (Yokuş, 2011)

Merkezi atık toplama sistemi ve biyogaz tesisi çiftçiler arasında kurulan kooperatifler aracılığıyla da yapılabilmektedir. Kooperatifler aracılığıyla kurulmuş merkezi biyogaz tesisi Şekil 1.21’de verilmiştir.

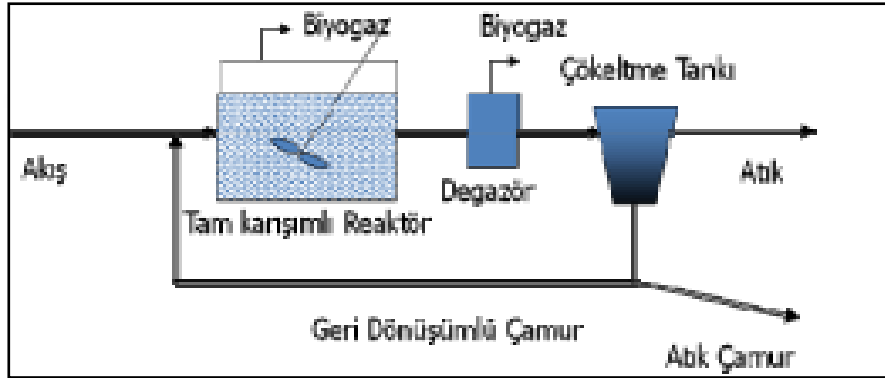


Şekil 1.21 60 çiftçinin kurmuş olduğu merkezi bir biyogaz tesisi (Yokuş, 2011)

1.3.9.4 Atık su arıtma tesisleri

Birincil ve ikincil olarak atık su arıtma tesislerinde aneorobik fermantasyon kullanılmakta ve biyogaz üretimi gerçekleştirilmektedir. Bu sistem işlem dengelemesi ve nihai atık miktarını azaltmak için kullanılmaktadır. Avrupa’daki arıtma çamurunun yaklaşık %30-70 kadarı bu aneorobik fermantasyon ile iyileştirilmektedir. Arıtma çamuru tarımsal alanlarda kullanılabildiği gibi yakma ile enerji üretiminde de kullanılabilmektedir (Al Seadi, vd. 2008).

Atık su arıtma tesisleri için tasarlanmış bir biyogaz sisteminin şematik görünümü Şekil 1.22’de verilmiştir. Bu sistemde bulunan elemanlardan degazör, biyogaz baloncuklarının yukarıya doğru hareketini sağlamaktadır. Aksi takdirde bir miktar biyogaz baloncuğu çamura sıkışmış olarak kalmaktadır (Yokuş, 2011).



Şekil 1.22 Atık su arıtma tesisleri için tasarlanmış bir biyogaz sisteminin şematik görünümü (Yokuş, 2011)

1.3.9.5 Belediye katı atık arıtma tesisleri

Dünyada bir çok ülkede evsel katı atık ya toplama alanlarında bertaraf edilmekte yada güç tesislerinde yakılmaktadır. Ancak bu evsel atıkların büyük bir kısmı aneorobik fermantasyonda kullanılabileceği için ciddi bir enerji kaybı olmaktadır. Hatta bu atıklar toplu olarak bile biyogaz üretiminde kullanılabilir. Son yıllarda ise atıkların kaynağında ayırma ve geri dönüşüme olan ilgi gün geçtikçe artmaktadır. Organik orjinli atıklar için en uygun dönüştürme yöntemidir. Mutfak atıkları çok ıslak ve aerobik ayrıştırma için uygun bir yapıdan yoksundur. Ancak aneorobik fermantasyon için zengin bir hammadde kaynağıdır. Kaynak kullanımı açısından evsel atıklar dünyada biyogaz üretiminde en yaygın olarak kullanılan atık türüdür (Yokuş, 2011).

1.3.9.6 Endüstriyel biyogaz tesisleri

Atık suların iyileştirilmesinde ve endüstriyel atıklarda bir yüzyıldan fazla kullanılmakta olan aneorobik proses, bugün gıda işlemeden tarıma dayalı sanayiye hatta ilaç endüstrisine kadar geniş bir alanda kullanılan standart bir teknolojidir. Ayrıca aneorobik proses nihai bertaraftan önce organik yüklü atık sular içinde kullanılmaktadır. Teknolojideki son gelişmelerden dolayı seyreltilmiş atık sularda

da aneorobik proses kullanılabilir. Avrupa bu konuyla dünyada lider durumdadır. Son yıllardaki enerji ile ilgili hususlar ve çevresel kaygılar organik endüstriyel atıkların aneorobik prosesle iyileştirilmesi ve organik katı atık yönetimini doğrudan ilgilendirmekte ve bu süreç çevresel yasalarla da kontrol edilmektedir. Atık su arıtmada aneorobik prosesin uygulandığı endüstri alanları şunlardır;

Gıda endüstrisi; sebze konserve, süt, peynir, kesimhane ve patates işleme endüstrisi vb.

İçecek endüstrisi; bira, meşrubat, alkollü içki, kahve, meyve suları vb.

Sanayi ürünleri; kağıt ve karton, kauçuk, kimyasal maddeler, nişasta ve ilaç sanayi vb. (Yokuş, 2011).

1.3.9.7 Çöp gazı geri kazanım tesisleri

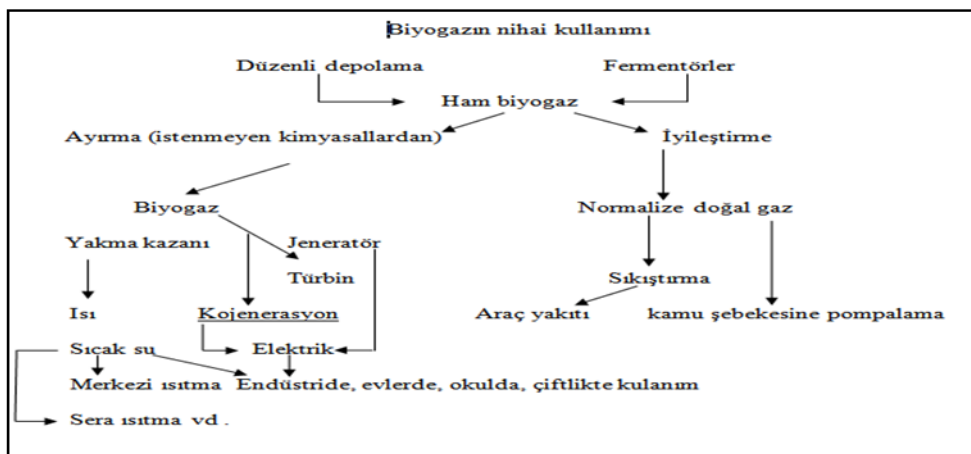
Çöp depolama alanları yaşına bağlı olmakla beraber sürekli olmayan bir süreçle üretim gerçekleştirilebilen farklı yapısıyla çok büyük aneorobik tesis olarak bilinirler. Çöp depolama gazının biyogaza benzer bir yapısı vardır. Ancak atık maddelerin ayrıştırılması sonucu ortaya çıkabilen zehirli gazlar da içerebilir. Çöplük gazı geri kazanımı, çevre koruma metan ve diğer gaz emisyonlarının azaltılması için tek şart olmasının yanında aynı zamanda gelirleriyle çok hızlı bir istikrarla fayda sağlayan ucuz enerji kaynağıdır. Çöp gazı düzenli depolama alanlarına uzaklıklarından dolayı elektrik üretiminde kullanılmaktadır. Ancak boru hattı ve araçlar için depolama üniteleriyle de doğrudan gaz olarak da kullanılabilir. Çöp gazı iyileştirilmesi bir biyoreaktör çöp gazı iyileştirme ve organik parçaların yeniden döngüsü olarak atığı parçalama gibi optimize edilebilir. Bir çöp gazı geri kazanım tesisi Şekil 1.23'de verilmiştir (Yokuş, 2011).



Şekil 1.23 Yeni Zelanda'da inşa edilmiş bir çöp gazı geri kazanım tesisi (Yokuş, 2011)

1.3.10 Biyogaz Kullanım Alanları

Biyogazı ham olarak ürettikten sonra belirli işlemlerden geçirerek evsel, endüstriyel, tarımsal alanlarda ve motorlu araçlarda kullanmak mümkündür (Yokuş, 2011). Şekil 1.24'de biyogazın bu kullanım süreci verilmiştir.

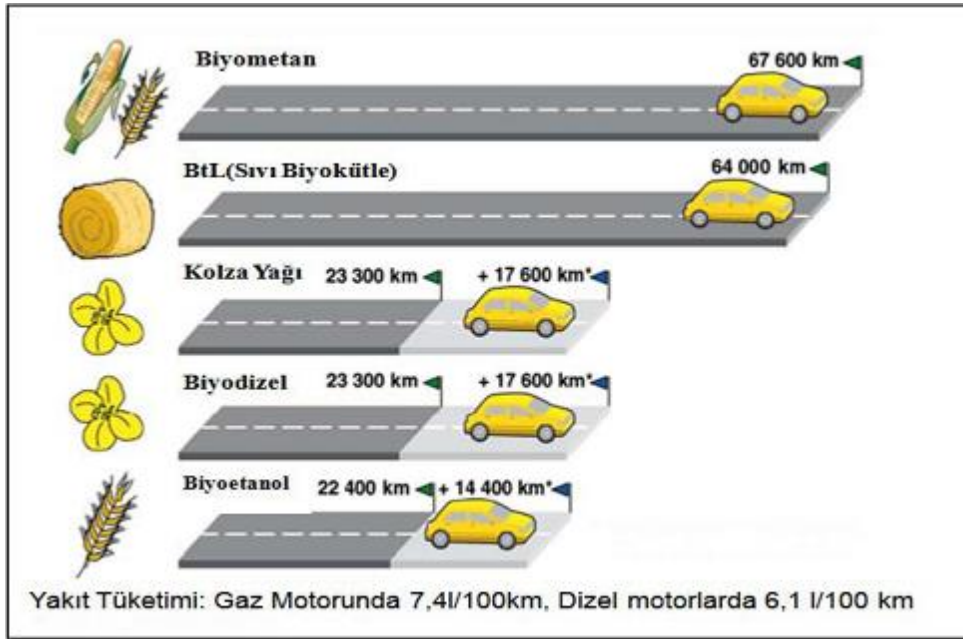


Şekil 1.24 Biyogazın genel kullanım alanları (Al Seadi, vd.2008)

1.3.10.1 Araçlarda yakıt olarak kullanımı

İyileştirilmemiş biyogazın motorlu araçlarda kullanımı her zaman için uygun değildir. Çünkü içerisindeki metan oranı (% 60-70) göreceli olarak düşüktür. Ayrıca biyogaz içerisinde kirletici olarak bazı gazlar da bulunmaktadır. Bu nedenle biyogazın saflaştırılıp yakıt olarak kullanıma hazır hale getirilmesi gerekmektedir. Saflaştırılmış biyogaz doğal gaza olan benzerliğinden dolayı doğal gaz için uygun olan tüm araçlar için uygundur. Her iki yakıtın da metan içeriği %95'in üzerindedir. Ayrıca motor, emisyon, sürüş ve sürdürülebilirlik performansı birbirine eşit sayılabilir. İsveç taşımacılık sektöründe biyogaz kullanımı açısından hala lider durumdadır. Yaklaşık 4.500 adet biyogaz ile çalışan kentsel otobüs ulaşımda kullanılmaktadır (Yokuş, 2011).

İyileştirilmiş biyogazın (biyometan) araçlardaki kullanımını diğer biyoyakıtlarla kıyaslandığında performansının yüksek olduğu görülecektir. Şekil 1.25'de 1 hektar alana ekilen enerji ürünlerinden elde edilen biyoyakıt ile ne kadar mesafe gidilebileceği gösterilmektedir. Burada üzerinde durulması gereken enerji ürünleri yerine atıkların biyogaz üretiminde değerlendirildiğinde bu potansiyelin daha yüksek olduğudur (Yokuş, 2011).



Şekil 1.25 1 hektarlık alandan elde edilen biyoyakıtların performans açısından karşılaştırılması (Yokuş, 2011)

1.3.10.2 Biyogazın tarımda kullanımı

Biyogaz sabit ve hareketli motorlarda, su pompalarında, harman makinesi ve öğütücüler gibi hareketli makinelerde, jeneratörlerde, yakıt olarak hem dizel hem de benzinli motorlarda kolaylıkla kullanılabilir. Benzinli motorlarda karbüratörün bir gaz karbüratörü ile değiştirilmesi yeterli olacaktır. Küçük zamanlama ayarları dışında sistemde başka bir değişikliğe gerek duyulmamaktadır. Dizel motorlarda ise biyogaz miktarı değiştirilerek veya küçük miktarlarda katılarak başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Yapılacak olan modifikasyonlar genellikle basittir. Motor daima saf dizel yakıtla çalışmaya başlamalı ve biyogaz miktarı yavaş yavaş artırılmalıdır. Gaz miktarı % 80'e kadar çıkarılabilmektedir. Şayet gaz kaynağı kesilirse % 100 dizel yakıtla çalışmaya devam edilebilir. % 20 dizel + % 80 biyogaz ile elde edilen verim % 100 dizelle elde edilen verimden fazla olmaktadır (Yokuş, 2011).

1.3.10.3 Biyogazın endüstriyel kullanımı

Biyogazın 3 farklı endüstriyel kullanımı bulunmakta olup bunlar; ısı ve güç kombinasyonu (kojenerasyon), mikro-türbin ve yakıt pilleridir (Al Seadi vd. 2008).

1. Kojenerasyon ile biyogazın kullanımı; enerji üretiminde çok etkili olduğu düşünülen ve gelişmiş biyogaz sektörü olan pek çok ülkede standart bir kullanımdır. % 90 verimle çalışan kojenerasyonlu bir güç tesisinde yaklaşık % 35 elektrik üretimi gerçekleşirken % 65'de ısı üretimi gerçekleşmektedir. En yaygın kullanılan kojenerasyon tipi, bir jeneratör ile çiftleştirilen tüketim motorlarından oluşan blok tip ısı güç tesisleri (BTTP) dir. Jeneratörler şebeke ile uyumlu olması için 1500 devir/dakika ile çalıştırılmaktadır (Yokuş, 2011).

Jeneratörlerde kullanılan motorlar Gaz-Otto, Gaz-Dizel ve Gaz-Pilot Enjeksiyon motorlar olabilmektedir. BTTP'lere alternatif olarak mikro gaz türbinleri, stirling motorlar, yakıt hücreleri son yıllarda geliştirilmiş teknolojilerdir. Isı üretmek için kullanılan bir biyogaz yakıcı Şekil 1.26'da verilmiştir (Yokuş, 2011).

Biyogaz tesislerinde en önemli konu üretilen ısının kullanımudur. Isı daima biyogaz tesislerinin bir parçasıdır ve yaklaşık olarak üretilen tüm enerjinin 2/3'ü dış ihtiyaçlar için kullanılabilir. İlk jenerasyon olan biyogaz tesisleri ısı enerjisinin kullanımı dikkate alınmadan sadece elektrik üretimi için kurulmuşlardır. Şimdilerde ısının kullanımı biyogaz tesis ekonomisinin önemli bir parçasıdır. Yeni

tasarlanan biyogaz tesisleri sürdürülebilir olabilmesi için sadece elektrik üretimini değil, mutlaka ısı kullanımını da içermelidir. Çünkü tek başına elektrik üretimi sürdürülebilir olmamaktadır (Yokuş, 2011).



Şekil 1.26 Isı üretmek için kullanılan bir biyogaz yakıcı (Yokuş, 2011)

Gaz-Otto motorları, otto prensibine göre biyogaz kullanımı için geliştirilmiştir. Motorlar CO emisyonlarını minimize etmek için fazla hava ile çalıştırılmaktadır. Bu düşük gaz tüketimi sağladığı gibi motor performansını düşürür. Bu durum egzoz turbo şarj ile telafi edilir. Gaz-Otto motorlarında kullanılacak biyogazın metan içeriği % 45 olmalıdır. Yüksek elektrik verimi istendiğinde dizele uyarlanarak kullanılmalıdır. Gaz-Otto Motor Şekil 1.27’de verilmiştir (Yokuş, 2011).



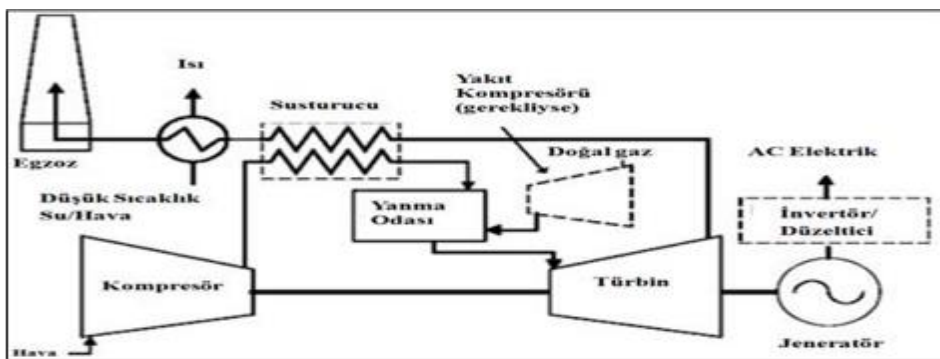
Şekil 1.27 Biyogaz tesislerinde kullanılan Gaz-Otto Motor (Yokuş, 2011)

Pilot enjeksiyon motorlar, pilot enjeksiyon doğal gaz motoru, PING veya Çift hücreli motor olarak da isimlendirilen dizel prensibine göre çalışan motorlardır. Biyogaz hava ile karıştırılarak yakılır. Bu karışım yanma odasına bir enjeksiyon sistemi vasıtasıyla yakıt enjekte edilerek geçer. Genellikle % 10 yakıt enjekte edilerek yakılır. Bu motorlar yüksek hava ile işletilmektedir. Biyogaz kaynağı kesintiye uğradığında yağ veya mazot hiç problem olmadan kullanılabilir. Biyodizel veya fosil yakıtlar ilk ateşleme için kullanılabilir. Yenilenebilir ateşleme yağının avantajı daha az sülfür ve CO emisyonu salınımıdır. Şayet biyoyakıt kullanılacaksa yüksek filtre edilmiş ve düşük vizkoziteli olmalıdır. Fakat biyoyakıtın azotoksit salınımı gibi bir dezavantajı vardır (Yokuş, 2011).

Stirling motorlar, hacim değişiklikleri ile gazdaki ısı değişimi prensibine dayanan içten yanmalı olmadan çalışan motorlardır. Motor pistonları harici bir enerji kaynağından bir ısı enjeksiyonu ile meydana gelen bir gaz genişlemesi ile taşınır (Yokuş, 2011).

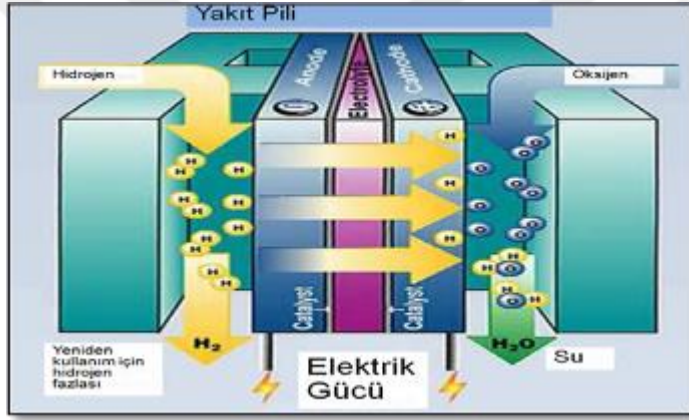
Gerekli ısı biyogazda çalışabilen bir gaz yakıcı ile sağlanabilir. Stirling motorları biyogazda kullanabilmek için bazı teknik uyarlamalar gereklidir. Dış yanma dolayısıyla daha düşük metan içerikli biyogazda kullanılabilir (Yokuş, 2011).

2. Biyogaz mikro-türbinleri; hava biyogaz ile karıştırılıp yanma odasına preslenir. Hava-gaz karışımı sıcaklık artışı ile yanar ve gaz karışımı genişler. Sıcak gazlar bir türbin vasıtasıyla elektrik jeneratörüne bağlanır. Biyogaz mikro-türbinlerin maliyeti yüksektir ancak maliyeti düşürmek için araştırma ve geliştirme faaliyetleri sürmektedir. Bir biyogaz mikro-türbinin yapısı Şekil 1.28'de verilmiştir (Yokuş, 2011).



Şekil 1.28 Biyogaz mikro-türbin yapısı (Al Seadi, vd. 2008)

3. Yakıt pilleri; kimyasal enerjiyi doğrudan bir reaksiyon ile elektrik enerjisine dönüştüren elektrokimyasal cihazlardır. Yakıt pilinin temel fiziksel yapısı Şekil 1.29'da görüldüğü üzere bir elektrolit tabakası ve her iki yanında bulunan gözenekli bir anot ve bir katot tabakadan oluşmaktadır. Bir yakıt pilinde anot (negatif elektrot) ve katot (pozitif elektrot) sürekli biyogaz ile beslenir. Elektrokimyasal olay elektrotlarda gerçekleşerek elektrik üretimi gerçekleşir (Yokuş, 2011).



Şekil 1.29 Yakıt pili (Al Seadi, vd. 2008)

Biyogaz için kullanılan elektrolit tipine göre isimlendirilen birçok yakıt pili vardır. Bunlar düşük (AFC, PEM), orta (PAFC) ve yüksek sıcaklık yakıt pilleri (MCFC, SOFC) dir. Yakıt pili seçimi ısı ve kullanılan gaz yakıtına bağlıdır (Yokuş, 2011).

PEM- The Polymer-Electrolyte-Membrane, çalışma sıcaklığı 80°C 'dir ve bir ısı/sıcak su hattı ile doğrudan beslenebilir. Elektrolit tipi karbondioksit içeren gaz yakıtlarına hassas olduğundan gaz temizliği çok önemlidir (Yokuş, 2011).

PAFC - Phosphoric Acid Fuel Cell, dünya çapında doğal gazda yaygın olarak kullanılmaktadır. Diğer yakıt pilleri ile kıyaslandığında elektrik verimi düşüktür ama arbon monoksit ve karbon dioksit karşı daha az hassastır (Yokuş, 2011).

MCFC - Molten Carbonate Fuel Cell, elektrolit olarak sıvı karbon kullanır. Karbondioksit karşı hassas olmamakla beraber % 40 karbondioksit içeriğine kadar tolere edilebilmektedir. $600-700^{\circ}\text{C}$ sıcaklığında çalışmaktadır. Şekil 1.30'da

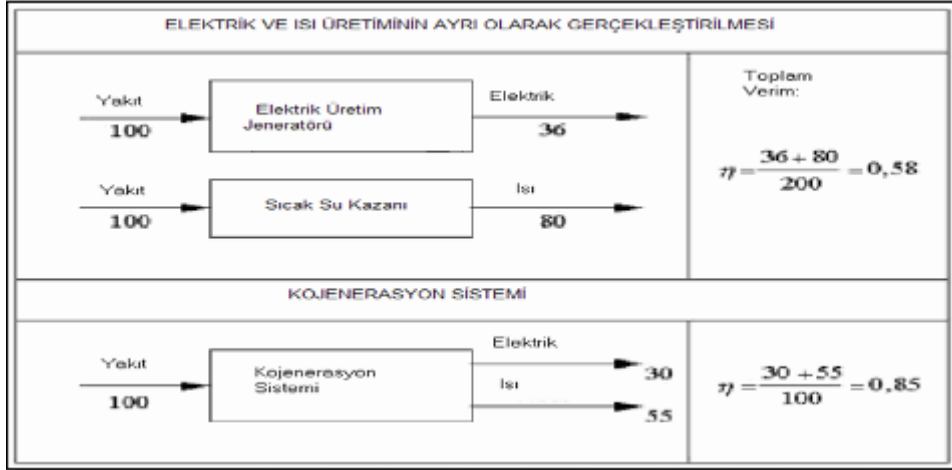
Almanya’da işletilmekte olan dünyanın ilk biyogaz için yakıt pili olan MCFC görülmektedir (Yokuş, 2011).

SOFC - Solid Oxide Fuel Cell, 750-1000°C sıcaklığında çalışmakta ve elektrik verimi yüksektir. Hidrojen ve metan aynı pilde yer alabilmektedir. Kükürte karşı duyarlılığın düşük olduğu durumlarda kullanılır (Yokuş, 2011).



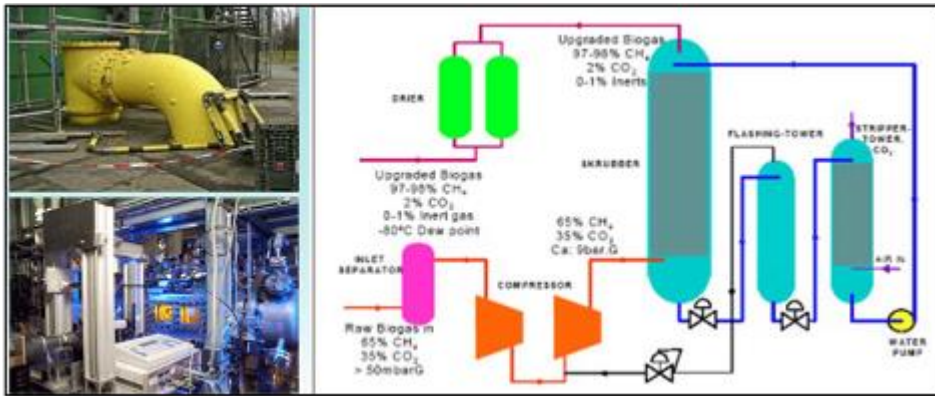
Şekil 1.30 Almanya’da işletilmekte olan biyogaz için yakıt pili (Yokuş, 2011)

Biyogazla çalışan elektrik jeneratörlerinde, kullanılan yakıtın enerjisinin yaklaşık % 75’i atık ısı olarak kaybedilmektedir. Bu atık ısının da kullanıldığı modern kojenerasyon sistemlerinde, toplam sistem verimi yaklaşık % 85-90 olarak gerçekleşmektedir. Elektrik çevrim veriminin % 36 gibi yüksek, yakma veriminin % 80 alındığı ayrı sistemlerle karşılaştırıldığında, elektrik çevrim verimi % 30, ısı çevrim verimi % 55 olan kojenerasyon sistemlerinin toplam verimi, % 58’den % 85’e çıkmaktadır (Eryaşar, 2007). Bu verim artışının şematik gösterimi Şekil 1.31’de verilmiştir.



Şekil 1.31 Konvansiyonel elektrik ve ısı üretimi ile kojenerasyon ünitelerinin verimlerinin karşılaştırılması (Eryaşar, 2007)

Üretilen biyogazın kullanılmadığı durumlarda, depolamada yetersiz kaldığı zaman, fazla biyogazın yakılarak atılması gerekmektedir. Bunun için büyük tesislerde özel biyogaz yakıcıları kullanılmaktadır. Kullanım fazlalığından oluşan kayıplar % 40 civarındadır. Bu yüzden biyogazın arıtılarak doğal gaz hattına verilmesi daha verimli olmaktadır (Şekil 1.32). Biyogazın, arıtılarak doğalgaz boru hattına verilmeden önce, kokulandırılması, H₂S oranının 2,7 ppm'in, su buharının 0,1 mgr'ın altına düşürülmesi gerekmektedir (Eryaşar, 2007).



Şekil 1.32 Biyogazın saflaştırılarak doğal gaz hattına verilmesi (Yokuş, 2011)

1.3.10.4 Biyogazın evsel kullanımı

Biyogaz Şekil 1.33’de görüldüğü üzere ısıtma, aydınlatma ve pişirmede kullanılmaktadır. Butan ve propan gibi düşük basınçlarda kullanılabilir. Sobalarda kullanımında ise özel tasarımlı sobalar gerekmektedir. Çin’de kullanılan evsel sobalarda ısı verimi % 59-62, Hindistan’da kullanılan evsel sobalarda ise verim % 60 civarındadır. Aydınlatma bir gaz montu veya elektrik üreterek yapılabilir. Pişirme için günlük ortalama 0,34-0,41 m³ biyogaz harcanırken aydınlatma için yaklaşık 0,15 m³ biyogaz harcanmaktadır. Sonuç olarak altı kişilik tipik bir ailenin günlük ortalama biyogaz ihtiyacı 2,9 m³’tür (Yokuş, 2011).

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

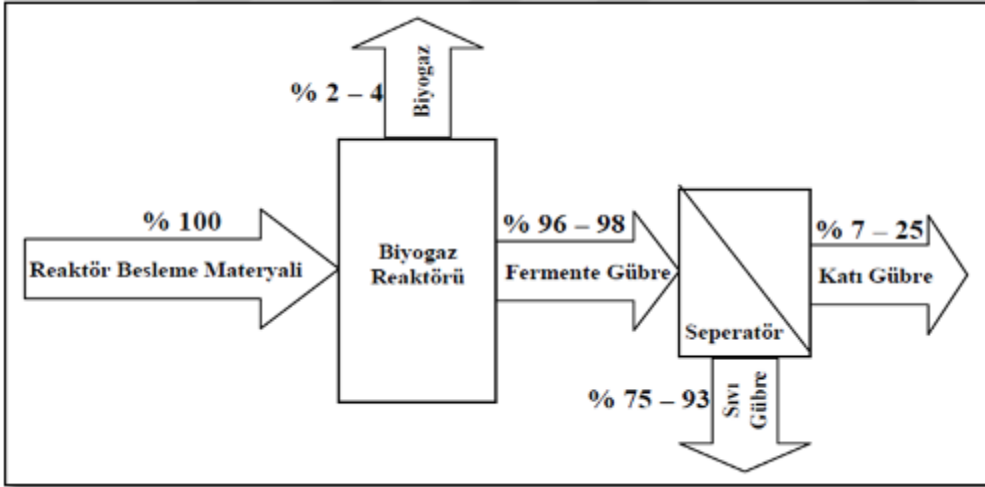


Şekil 1.33 Biyogazın evsel kullanım araçları (Yokuş, 2011)

1.3.10.5 Fermente gübre kullanımı

Biyogaz üretimi sonucu sıvı formda fermente organik gübre elde edilmektedir. Elde edilen gübre tarlaya sıvı olarak uygulanabilir, granül haline getirilebilir ve/veya beton toprak havuzlarda doğal kurumaya bırakılabilir. Fermantasyon sonucu elde edilen organik gübrenin temel üstünlüğü anaerobik fermantasyon sonucunda hastalık yapan mikroorganizmaların büyük bir bölümünün yok olmasıdır. Bu özellik kullanılacak olan organik gübrenin yaklaşık % 10 daha verimli olmasını sağlar (Yokuş, 2011).

Anaerobik fermantasyonda kütle denklığıne baktığımızda, reaktöre giren kütleinin % 2-4' ü biyogaza dönüşür. Reaktör çıkışında fermente gübre % 98-96 oranına iner. Bu fermente gübrenin yaklaşık % 7-25'i katı, % 75-93'ü sıvı haldedir (Yokuş, 2011). Kütle denklığının şematik gösterimi Şekil 1.34'te verilmiştir.



Şekil 1.34 Anaerobik fermantasyon kütle denklığı (Yokuş, 2011)

Bu fermente gübre sıvı olarak kullanılabilirdiği gibi granül hale getirilip katı olarak da kullanılabilir. Fermente gübrenin kullanım şekilleri Şekil 1.35 ve 1.36'da verilmiştir.



Şekil 1.35 Anaerobik fermantasyonun yan ürünü olan fermente gübrenin kullanım şekilleri (Yokuş, 2011)



Şekil 1.36 Anaerobik fermantasyonun yan ürünü olan fermente gübrenin paketlenmesi (Yokuş, 2011)

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Biyogaz ve biyogaz potansiyeli ile ilgili yapılan çalışmaların bazıları tarih sıralamasına göre aşağıda özetlenmiştir.

“Elazığ İlinin Biyogaz Potansiyeli ve Maliyet Analizi” isimli makalede Elazığ İli'nin hayvan ve tarım potansiyeli dikkate alınarak elde edilebilecek biyogaz miktarı belirlenmiştir. 2003 yılı Elazığ Tarım İl Müdürlüğü Elazığ ili tarım master planları kullanılarak hayvan varlıklarının %'leri çıkartılmıştır. Bununla birlikte ilçeler bazında hayvan sayıları da tablolararak alt bölgelere ayrılmıştır. Elazığ ili biyogaz üretiminde kullanılabilir tarla bitkileri ise buğday, arpa, şeker pancarı, pamuk, yonca, korunga, fiğ ve mısır olarak verilmiş ve bu ürünlerin ekim alanları ile üretim miktarları saptanmıştır. Bu veriler doğrultusunda tarımsal ürünlerin biyogaz üretiminde kullanılmasıyla günde yaklaşık 443 ailenin tüpgaz ihtiyacının karşılanacağı sonucuna varılmıştır (Akbulut ve Dikici, 2004).

“Tavuk Gübresinden Biyogaz Üretim Potansiyelinin Araştırılması” isimli çalışmada 1999 yılı itibari ile ülkemizde 167,6 milyon et tavuğu ve 70,8 milyon yumurta tavuğu olmak üzere toplam 238,4 milyon tavuk beslendiği ortaya konulmuştur. Tavuk artıklarının hacimce metan gazı oranı % 60 olarak verilmiştir. Tezde biyogaz üretim safhaları ve biyogaz üretimini etkileyen faktörlere değinilmiştir. Bu çalışmada kullanılan materyal Afyon İli Başmakçı ilçesinde bulunan tavukçuluk kooperatifinden temin edilmiş. Biyogaz üretimi gerçekleştirmek amacı ile 6 adet reaktör kullanılmış olup reaktörlerdeki gaz çıkışları 90 gün boyunca takip edilmiştir. Sonuç olarak çalışmada farklı katı madde oranlarının biyogaz üretimine etkisi üzerinde durulmuş olup katı madde oranının artışı ile birlikte biyogaz üretim miktarının da arttığı fakat birim katı madde başına düşen üretimin azaldığı gözlenmiştir (Gül, 2006).

“Gübre Atıklarının Arıtılmasında Sabit Kubbeli Çin Tipi Biyogaz Reaktörü Tasarımı: Bir Örnek Uygulama” isimli bu çalışmada küçük bir reaktör tasarlanmış bu tasarı yapılırken Çin tipi reaktörler örnek alınmıştır. Bu reaktörde hammadde olarak Çorum ilindeki tavuk çiftlikleri verileri ve toplam atık miktarları belirlenip reaktörün temel besleyicisi kabul edilmiştir. Reaktörde denemeler yapılarak günde 2 kW'lık bir jeneratörün 250 dakika çalıştırılabileceği ve senede 63 gün kesintisiz elektrik üretebileceği sonucuna ulaşılmıştır (Entürk E, Yetilmezsoy K, Öztürk M, 2006).

“Büyükbaş Hayvan Dışkısından Biyogaz Üretimi” isimli yüksek lisans tezi deneyleme olarak yapılmıştır. Deney de kullanılan ürünler Atatürk Orman Çiftliği’nden temin edilmiş. Reaktörlere aşı olarak eklenen özümleyici (atık su arıtma tesisi çamuru) ASKİ’nin Ankara Merkezi Atık su Arıtma Tesisinde bulunan çürütme tanklarından alınmış. Deney düzlemi kurulurken Box – Wilson yöntemi tercih edilmiş. Bu deneylerde kuru madde analizi, sabit ve uçucu madde analizi, toplam azotun belirlenmesi, fosfor miktarının belirlenmesi, karbon miktarının belirlenmesi, alkalinite ve asetik asit miktarının belirlenmesi, kimyasal oksijen ihtiyacının belirlenmesi ve gaz ölçümü % CH₄ analizi yapılan analizlerdir (Selimoğlu, 2008).

“Türkiye’de Biyogaz Enerjisinin Kullanılabilirliği Ve Ekonomikliği” isimli biyogaz üzerine yapılan bu çalışmada, biyogazın tarihteki gelişimi ile birlikte kullanılan materyallerden başlanıp tüm detaylarına kadar incelenmiştir. Biyogaz temel olarak 3 atıktan üretilir, bunlardan 1.’si ve en önemlisi hayvansal atıklar, 2. sırayı bitkisel atıklar takip etmektedir. 3. sırada ise pek fazla kullanılsa da büyük bir potansiyel olan organik içerikli şehir ve endüstriyel atıklardır. Bu tez de biyogaz üretimi 3 aşamada gerçekleştiği görülmüştür. Bunlar sırası ile fermantasyon ve hidroliz, asetik asidin oluşumu ve metan oluşumu. Biyogazın kullanım yerleri, üretime materyallerin hazırlık aşamaları ile teknikleri ve son olarak biyogaz reaktör modelleri tüm detaylarına kadar incelenmiştir (Öztuncay, 2009).

“Büyükbaş Hayvan Atığından Biyogaz Üretimi ve Uşak İli İçin Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi” isimli yüksek lisans tezi çalışmasında ana tema olarak Uşak İlinde Büyükbaş Hayvan Atığından Biyogaz Üretim Potansiyeli üzerin de durulmuştur. Öncelikli olarak biyogaz oluşum aşamaları anlatılarak, büyükbaş atıkları ile diğer organik hammaddelerin kıyaslanması incelenmiştir. Devamında biyogaz üretiminde dikkat edilmesi gereken hususlar incelenerek Uşak İlindeki hayvan sayılar verilmiştir. Uşak ilinde 2000 yılında 67.940 büyükbaş varken bu rakam 2010 da 89.877’lere çıkmıştır. Sonuç olarak toplam ısı enerjisi 11.000 kcal/kg olan 12 kg’lık ticari mutfak tüplerine göre yıllık 1.228.000 adet 12 kg’lık mutfak tüpüne eşdeğer ısı enerjisi üretim potansiyeli olduğu saptanmıştır (Güç, 2010).

“Sivas İlindeki Hayvansal Atıkların Biyogaz Potansiyeli” isimli yüksek lisans tezinde Sivas ilinin hayvansal atıkları ortaya konmuş ve biyogaz potansiyeli belirlenmiştir. Sivas ili 28.567 km² alanı ile Türkiye'nin 2. büyük ilidir. Tarım sektöründe faal nüfusun % 91,6'sı kırsal kesimde ikame ettiği belirtilmiştir. Sivas ilindeki işletmelerin % 87'si hem hayvansal hem de bitkisel üretim uğraşmaktadır. Tez de Sivas İli geneli hayvan ve işletme dağılımları yapılmıştır. Büyükbaşta en yoğun olarak toplam sayısının % 17,8'i ile Merkez ilçesi olduğu görülürken burayı % 16,8 ile Yıldızeli ilçesi takip ettiği gözlenmektedir. Sivas ilinin hayvan çeşitlerine göre harita üzerinde yoğunlukları ile anlatılmıştır. Genel olarak Sivas İli hayvansal atıkların miktarlarını ve bu atıkların biyogaz teknolojisi ile birleştirilip, Sivas İli'nin yıllık olarak biyogaz miktarı ve bu buna karşılık gelen enerji miktarı araştırılmıştır. Bu çalışmada Sivas İli'nin hayvancılık özellikleri, hayvan sayıları ve kapasiteleri, Sivas Tarım İl Müdürlüğü verilerince ortaya konmuştur (Yokuş, 2011).

“Seçilmiş Göstergelerle Aydın” TÜİK'nun hazırlamış olduğu bu yayında Aydın ili değerleri Türkiye bazında değerlendirilerek sayısal verilerle nüfus, milli gelir, fiyat ve endeksleri, dış ticareti, iş istatistikleri, inşaat, enerji, tarım sektörü gibi her istatistiği ortaya konmuştur. 2013 verileri olarak yayınlanan bu yayında Aydın İli'nin nüfusu Adrese Dayalı Kayıt Sitemine göre 1.020.957 olarak tespit edilmiştir. Aydın ilinde bitkisel üretimde en çok katma değer yaratan ürünler; incir, zeytin, pamuk ve kestane olduğu gözlenmektedir. Aydın'ın 1. gelir kaynağı tarım olmakla birlikte bunu 2. olarak turizm takip etmektedir (Tüik, 2013).

“Aydın İli Biyogaz Fizibilitesi” Güney Ege Kalkınma Ajansı'nın yapmış olduğu çalışmada hayvan atıklarından yola çıkarak Aydın İli'nin ne kadar biyogaz enerjisi elde edilebilirliği araştırılmış ve ortaya konmuştur. Aydın hayvansal üretim bakımından Türkiye'nin önemli illerinden biridir. Aydın'da tarımsal işletme olarak adlandırılan hane halkının % 85'i bitkisel ve hayvansal üretimi birlikte yapmakta olduğu gözlenmektedir. Bu çalışmada hayvan sayıları Türkiye'den yola çıkılmış olup Aydın buranın neresinde algısı yaratılmıştır. Bunların devamında hayvansal atıkların neler olduğu ve miktarları incelenmiştir. Tüm bu verilerin neticesinde Aydın İli hayvansal atıktan enerji verileri ortaya konmuştur (Geka, 2014).

“Türkiye’de Hayvancılık Potansiyeli ve Biyogaz Üretimi” isimli Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları yayınındaki makalede, biyogazın tarihçesi anlatılmış ve Türkiye’deki tarım atıklarından her yıl elde edilecek enerji potansiyelinin 5,4 milyon ton petrole eşdeğer olduğu belirtilmiştir. Biyogaz tesisleri projelendirilirken öncelik olarak kapasitenin tespit edilmesine değinilerek, hayvan cinslerine göre ortalama yıllık atık miktarları verilmiştir. Bu verilerle birlikte Türkiye’nin hayvan sayıları ile birlikte çıkacak atık miktarları hesaplanarak hayvansal atık potansiyeline karşılık üretilebilecek biyogaz miktarları ortaya konulmuştur (Koçer Nacar N. Ömer C. Sugözü İ. 2006).

“Atıklardan Biyogaz Üretiminin İncelenmesi” isimli doktora tezinde biyogaz üretimini etkileyen fermenter modeli, fermenter hacmi, karıştırıcı modeli, atık cinsi, sıcaklık gibi faktörleri sabit tutup farklı tip karıştırıcılar ve karıştırılmadan fermente edilen biyogaz miktarları ölçülmüştür. Öncelikli olarak kullanılacak 6 kanatlı Rushton karıştırıcı modellemesi yapılmıştır. Bunun üzerine 6 kanatlı Rushton karıştırıcının fermente edilen biyogazın, karıştırmasız ve çift kanatlı karıştırıcıdan daha fazla biyogaz ürettiğini saptamışlardır (Buğutekin, 2007).

“Kırsal Kesime Yönelik Bir Biyogaz Sisteminin Tasarımı, Kurulumu, Testi ve Performansına Etki Eden Parametrelerin Araştırılması” isimli doktora tezinde sığır atıklarını temel madde olarak kullanıyor. Sığır atıkları ile pilot ölçekli biyogaz üretim denemeleri yapmakta olup bu deneyleri yaparken suyun yer değiştirmesi prensibi ile çalışan herhangi bir hareketli mekanizması olmayan bir gazometre dizayn ederek faydalı model patentini almışlardır. Sonuç olarak yaptıkları çalışmada dizayn ettikleri gazometre ve çalışma yaptıkları diğer yöntemler ile ilk yatırım maliyetlerini ve yatırımın kendini geri ödemesi süresini yaklaşık olarak %20-30 civarında düşürdükleri ortaya konup, çalışmaları 50 m³ kapasiteli bir biyogaz tesisinin kurulmasıyla son bulmuştur (Eryaşar, 2007).

“İzmir Evsel Çöpünden Biyometan Şeklinde Enerji Geri Kazanılabilirliği” isimli yüksek lisans tezinde biyogaz üretim sistemleri incelenerek, farklı laboratuvar testleri yapılmıştır. İzmir kentsel çöplüğünden alınan organik maddelerin laboratuvar koşullarında analizleri yapılarak belli orandaki organik atıktan sürekli reaktör deneme sonuçlarının kesikli reaktör sonuçlarına oranla daha düşük askıda katı madde ve yüksek kimyasal oksijen ihtiyacı giderimi olduğu gözlenmiş olup daha iyi bir metan dönüşüm oranı elde edildiği ortaya konmuştur (Ersoy, 2007).

“Peynir Altı Suyundan Sürekli Sistemde Biyogaz Üretimi İçin En Uygun Koşulların Belirlenmesi” isimli bu yüksek lisans tezi çalışmasında Atatürk Orman Çiftliği beyaz peynir üretim tesisinden alınan peynir altı suyu çalışmanın temel materyali olmuş. Laboratuar koşullarında peynir altı suyu farklı oranlarda seyreltmeler yapılarak 2 farklı reaktörde denemeleri ve metan gazı değişim oranları ölçülmüştür. 72 gün boyunca günlük ve belli periyotlarda alınan veriler doğrultusunda en yüksek metan oluşma oranı ve oluşma hızı 1/2 seyreltme yapılan peynir altı suyunda gözlenmiştir (Yiğit, 2007).

“Kentsel Katı Atıklardan Enerji Üretimi” isimli bu yüksek lisans çalışmasında kentsel atıkların ayrıştırılmasından, depolanmasına, gaz oluşumuna ve oluşan gazın kontrol edilmesine kadar bütün süreçleri açıklamıştır. Bu ortaya çıkan gazı hangi amaçlarda kullanılabileceği anlatılmıştır. Devamın da Trabzon-Rize bölgesinden bir örnek çalışma ile katı atıkların kullanımını değerlendirmiştir. Bölgenin atık miktarlarını ve bileşenlerini yıl bazında ortaya koymuş ve bu atıkların farklı yöntemler ile enerji üretimini incelemiştir. Sonuç olarak bölgenin hem coğrafi yapısının müsait olmayışı hem de tesislerin kurulum maliyetlerinin çok yüksek olması katı atıklardan enerji üretimine sıcak bakmamalarını ortaya koymuştur (Akpınar, 2006).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

Araştırma kapsamında, Aydın ili ve ilçelerinde üretilebilecek biyogaz potansiyeli hesaplanmaya çalışılmıştır. Bu kapsamda Aydın ili ve ilçelerine ait tarımsal üretim faaliyetlerini oluşturan bitkisel üretimleri, hayvansal üretimleri, üretim miktarları, üretim sayıları ve işletme büyüklükleri belirlenmiştir. Bu çerçevede Aydın Tarım İl Müdürlüğü verileri ve TÜİK verileri kullanılmıştır. Bu veriler araştırmanın temel materyalini oluşturmuştur.

3.1.1 Aydın ili coğrafi durumu ve nüfus dağılımı

Aydın ili, 37° 50' 40'' N ve 27° 50' 40'' E koordinatlarında olup, doğuda Denizli, batıda Ege Denizi, kuzeyde İzmir ve Manisa, Güneyde ise Muğla illeriyle komşudur. İl merkezi rakımı 65 metre olan, kıyı şeridi uzunluğu 150 km'yi bulan ilin yüzölçümü 7.943 km²'dir.

İl, orta ve batı kesiminde verimli ovalar, kuzeyinde Aydın Dağları, güneyinde Menteşe Dağları ile çevrili Büyük Menderes Havzası üzerinde kuruludur. Aydın sınırları içinde büyük, küçük birçok akarsu mevcuttur. Büyük Menderes, Ege Bölgesi'nin en uzun akarsuyudur. Toplam uzunluğu 584 km, il içindeki uzunluğu 281 km'dir. Çine Çayı, Akçay ve Dandalas Çaylarının sularını toplayarak Ege Denizi'ne dökülür. İlin en büyük gölü Bafa olup, Büyük Menderes deltasının güneydoğusundadır. Diğer gölleri Karina gölü ve Azap gölüdür.

Akdeniz ikliminin hakim olduğu ilde yazlar sıcak ve kurak, kışlar ılık ve yağışlı geçer. Yıllık sıcaklık ortalaması 26°C civarındadır. Senelik yağış miktarı 580-1000 mm arasındadır. İldeki dağların denize dikey inmesi, deniz rüzgarlarının çok içerilere kadar girebilmelerini sağlar. Bu nedenle Akdeniz Bölgesi'ndeki kadar bunaltıcı sıcaklar görülmez.

Son 80 yılda Türkiye'nin nüfusu yaklaşık 5 kat artış göstermiştir. Aynı dönemde, Aydın ilinin nüfusu yaklaşık 4,5 kat artış göstermiş ve 2017 yılında 1.080.839'a yükselmiştir.

1927-2017 döneminde Aydın ilinin nüfusu sürekli artış göstermiştir. Aydın ilinde en düşük yıllık nüfus artış hızı % 0,8 ile 1940-1945 döneminde ve en yüksek yıllık

nüfus artış hızı ise % 4,2 ile 1950-1955 döneminde gerçekleşmiştir. 2000-2017 döneminde ise ilin nüfus artış oranı % 13,6'dır. 1927 yılında Aydın ili ülke nüfusu içinde % 1,6'lık bir paya sahip iken, 2017 yılında yaklaşık % 1,33'lük bir paya sahiptir. Bu da, Aydın ilinin nüfus artış hızının ülke ortalamasından daha düşük olduğunu göstermektedir.

3.1.2 Aydın ili arazi dağılımı

Aydın İli B.Menderes Irmağı'nın suladığı bereketli ovalar üzerinde 800.700 ha alanda kurulmuş olup 2017 yılı verilerine göre 366.608 ha toplam tarımsal alana sahiptir. Bu alanın 152.236 ha işlenen tarım alanı ve 214.372 ha uzun ömürlü bitki alanını oluşturmaktadır. Çizelge 3.1'de TÜİK 2017 yılı verileri olarak Aydın ilinin, ilçelerinin ve merkezinin arazi dağılımını görebiliriz.

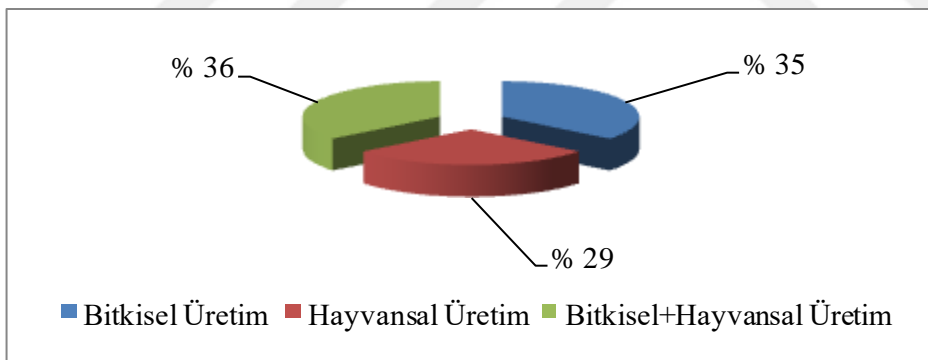
Çizelge 3.1 Aydın ili ilçelere göre 2017 yılı tarım alanı kullanımı (da)

	Tahıllar ve diğer bitkisel ürünler	Nadas alanı	Sebze bahçeleri	Meyveler, içecekler ve baharat bitkileri	Süs bitkileri	Toplam tarım alanı
Türkiye	155.363.201	36.974.137	7.982.650	33.481.004	49.935	233.850.927
Aydın	1.387.929	27.737	106.386	2.143.716	313	3.666.081
Efeler	100.631	349	25.175	205.030	51	331.236
Bozdoğan	136.916	5.500	6.016	120.145	0	268.577
Buharkent	8.031	700	3.731	28.151	0	40.613
Çine	104.370	1.970	19.570	222.921	0	348.831
Didim	57.330	1.500	1.204	54.996	78	115.108
Germencik	70.381	850	1.343	183.464	15	256.053
İncirliova	39.815	17	4.366	81.992	1	126.191
Karacasu	95.452	5.000	4.050	95.040	0	199.542
Karpuzlu	18.941	5.890	2.831	120.177	0	147.839
Koçarlı	109.395	240	4.462	169.953	155	284.205
Köşk	17.754	205	3.576	110.611	0	132.146
Kuşadası	4.142	566	1.368	34.456	12	40.544
Kuyucak	90.476	2.000	2.216	98.255	0	192.947
Nazilli	95.711	350	17.608	200.451	0	314.120
Söke	374.051	1.500	3.711	237.016	0	616.278
Sultanhisar	19.565	600	3.304	124.648	0	148.117
Yenipazar	44.968	500	1.855	56.410	0	103.733

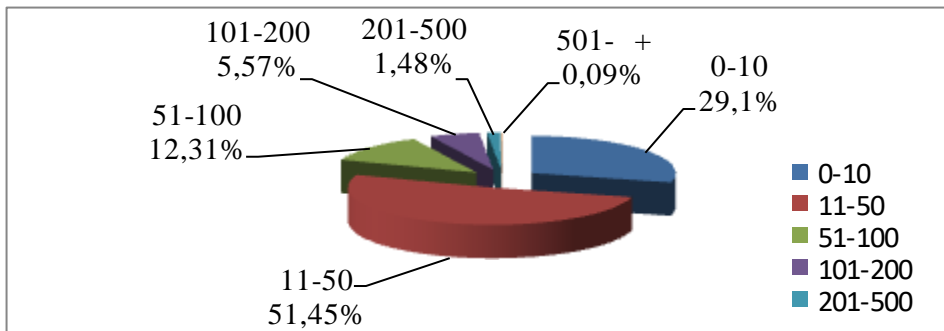
3.1.3 Aydın ili işletme büyüklükleri ve dağılımı

Aydın'da tarımsal işletmeler küçük ve çok parçalı yapıdadır. İilde 70.884 adet tarım işletmesi mevcuttur. Bu tarım işletmeleri genellikle hayvansal ve bitkisel üretimi birlikte yapmakta ve bu işletmelerin oranı da % 36'dır. Bu işletmeleri sırasıyla % 35'le yalnızca bitkisel üretim yapan işletmeler ve % 29 ile yalnızca hayvansal üretim yapan işletmeler izlemektedir (Şekil 3.1).

Hayvansal ve bitkisel üretim yapılan bu işletmelerde üretim sonucu oluşan kullanılmayan atıklar işletmeler için büyük sorun teşkil etmektedir. Bu atıkların değerlendirilmesinin en iyi yolu biyogaz üretimidir. Biyogaz, hayvansal ve bitkisel atıkların yok edilmesinden dolayı hem çevreyi koruyan hem de fermantasyon sonucu oluşan yanıcı özelliğe sahip metan gazından dolayı yüksek enerji potansiyeline sahip bir gaz türüdür.



Şekil 3.1 Aydın ilinde tarım işletmelerinin faaliyet alanlarına göre dağılımı (Anonim 2013 a.)



Şekil 3.2 Aydın ilinde tarım işletmelerinin büyüklüklerine göre dağılımı (da) (Anonim 2013 a.)

Şekil 3.2 incelendiğinde I. alt bölgede büyük baş hayvan sayısı daha fazladır. Ancak II. alt bölgede yer alan 2 ilçenin büyük baş hayvan potansiyeline bakıldığında ildeki en yoğun yer olduğu görülmektedir.

Şekil 3.3 ve şekil 3.4 Aydın ili alt bölgelerindeki işletme büyüklüklerine göre süt sığırcılığı ve besicilik işletmelerinin sayıları görülmektedir.



Şekil 3.3 Alt bölgeler bazında işletme büyüklüğüne göre büyükbaş süt sığırcılığı işletmeleri (Anonim 2013 a.)

Şekil 3.4 Alt bölgeler bazında büyüklüklerine göre toplam büyükbaş besicilik işletmeler (Anonim 2013 a.)

Şekil 3.5'te Aydın ilindeki küçükbaş işletmelerinin büyüklükleri ile birlikte işletme sayıları ve bu işletmelerde üretim yapılan küçükbaş hayvan sayıları toplam olarak verilmektedir.

Şekil 3.5 Aydın ili toplam küçükbaş işletme sayıları ve hayvan sayıları dağılımı (Anonim 2013 a.)

3.1.4 Aydın ili bitkisel üretim dağılımı

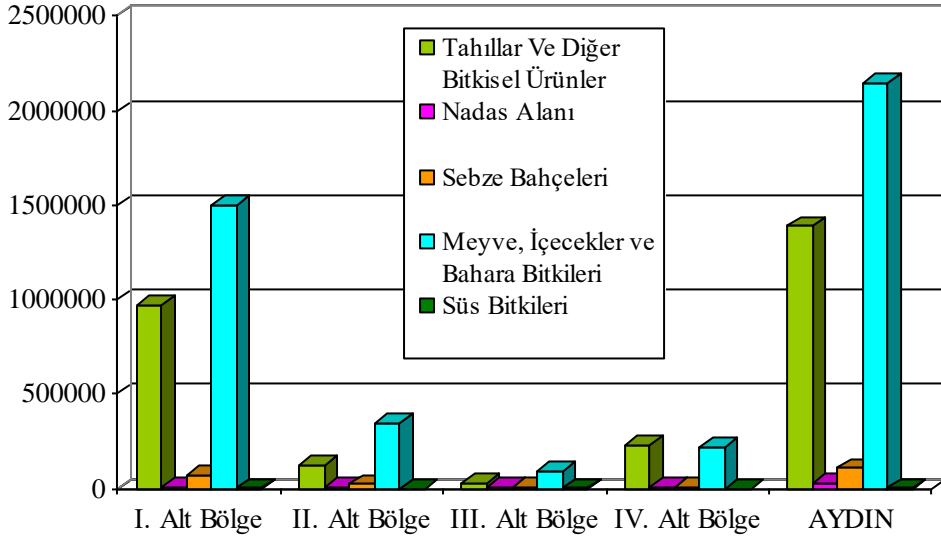
Çizelge 3.2 ve şekil 3.6 incelendiğinde tarım arazilerinin en büyük kısmını meyveler, içecek ve baharat bitkilerinin oluşturduğu görülmektedir. Bunu tahıllar ve diğer bitkisel ürünler grubu takip etmektedir.

Çizelge 3.2 2017 yılında Aydın ve alt bölgelerinde tarım alanlarının kullanım şekli (TÜİK 2017)

Tarım Alanlarının Kullanım Şekli	Alt Bölgeler				Aydın
	I. Alt Bölge	II. Alt Bölge	III. Alt Bölge	IV. Alt Bölge	
Tahıllar ve diğer bitkisel ürünler (da)	970.778	123.311	61.472	232.368	1.387.929
Nadas alanı (da)	7.311	7.860	2.066	10.500	27.737
Sebze bahçeleri (da)	71.347	22.401	2.572	10.066	106.386
Meyveler, içecek ve baharat bitkileri (da)	1.495.981	343.098	89.452	215.185	2.143.716
Süs bitkileri (da)	223	0	90	0	313
Toplam tarım alanı (da)	2.545.640	496.670	155.652	468.119	3.666.081

Şekil 3.6 2017 yılı Aydın ili tarım arazilerinin dağılımı (da)

Şekil 3.7'de görüldüğü üzere Aydın genelinde olduğu gibi IV. alt bölge hariç tüm alt bölgelerde de tarım arazilerinin dağılımında meyveler, içecek ve baharat bitkileri grubu ilk sırayı almıştır.



Şekil 3.7 2017 yılı Aydın alt bölgelerinde tarım arazilerinin dağılımı (da)

Çizelge 3.3 2017 yılı Aydın ve alt bölgelerinde tarla bitkileri ekiliş alanları (da) (TÜİK 2017)

Tarla Bitkileri Ekilişleri	Alt Bölgeler				Aydın
	I. Alt Bölge	II. Alt Bölge	III. Alt Bölge	IV. Alt Bölge	
Tahıllar	335.982	90.507	23.606	163.675	613.770
İşlenmemiş Tütün	376	0	0	45.749	46.125
Patates-Kuru Baklagiller-Yenilebilir Kök ve Yumrular	9.161	4.614	18	4.350	18.143
Saman ve Ot	175.582	61160	3.585	48.934	289.261
Yağlı Tohumlar	608.080	11389	39.513	815	659.797
Toplam	1.129.181	167.670	66.722	263.523	1.627.096

Şekil 3.8 Aydın'da tarla bitkisi alanlarının yüzdesel dağılımı (TÜİK, 2017)

Aydın geneline bakıldığında tarla bitkileri içerisinde % 40,5 oranla yağlı tohumlar grubunun en fazla ekim alanına sahip olduğu görülmektedir. Yağlı tohumların ekim alanının yaklaşık olarak % 90'nını pamuk bitkisi oluşturmaktadır. Yağlı tohumları, ekiliş alanı açısından % 37,6 ile tahıllar ve arkasından % 18 gibi bir oranla saman-ot grubu izlemektedir.

Şekil 3.9 Aydın alt bölgelerinde tarla bitkilerinin ekili oranları (TÜİK, 2017)

Çizelge 3.4 2017 yılı Aydın ili Tahıllar ve diğer bitkisel ürünlerin üretim miktarları (ton) (TÜİK, 2017)

Yıl	Toplam	Patates, kuru baklagiller, yenilebilir kök ve yumrular	Saman ve ot (yem bitkileri)	Tahıllar	Yağlı tohumlar
2017	2.892.818	13.717	2.372.355	180.119	203.625

Çizelge 3.5 2017 yılı Aydın ili sebze üretim miktarları (ton) (TÜİK, 2017)

Yıl	Toplam	Kök ve Yumru Sebzeler	Meyvesi için yetiştirilen sebzeler	Diğer sebzeler
2017	337.780	5.455	310.712	21.613

Çizelge 3.6 2017 yılı Aydın ili meyve üretim miktarları (ton) (TÜİK, 2017)

Yıl	Toplam	Üzüm	İncir	Diğer meyveler ve yumuşak çekirdekli	Zeytin ve diğer sert çekirdekli	Baharat bitkileri
2017	91.914	14.989	185.412	221.265	492.268	3.980

3.1.5 Aydın ili hayvansal üretim dağılımı

Türkiye toplam sığır mevcudunun % 2,6'sı, koyun mevcudunun % 0,6'sı, keçi mevcudunun % 0,9'u, et tavuğu mevcudunun % 0,9'u, yumurta tavuğu mevcudunun % 0,75'i Aydın ilinde bulunmaktadır.

Çizelge 3.7 2017 yılında Aydın ve alt bölgelerinde hayvan sayıları (Baş/Adet) (TÜİK, 2017)

Hayvan Türleri		Alt Bölgeler				Aydın
		I.Alt Bölge	II.Alt Bölge	III.Alt Bölge	IV.Alt Bölge	
Sığır	Kültür	189.128	86.265	4.601	36.917	316.911
	Melez	39.129	16.174	569	4.404	60.276
	Yerli	18.752	13.972	11	66	32.801
	Toplam	247.009	116.411	5.181	41.387	409.988
Koyun		128.172	24.080	19.940	44.535	216.727
Keçi		27.312	8.652	11.418	47.604	94.986
Mevcut Tavuk Sayısı	Broiler	1.312.480	155.000	359.500	195.000	2.021.980
	Yumurtacı	806.741	55.273	18.450	37.572	918.036
	Toplam	2.119.221	210.273	377.950	232.572	2.940.016
Hindi		6.005	100	2640	565	9.310
Ördek ve Kaz		4.347	325	1.099	769	6.540

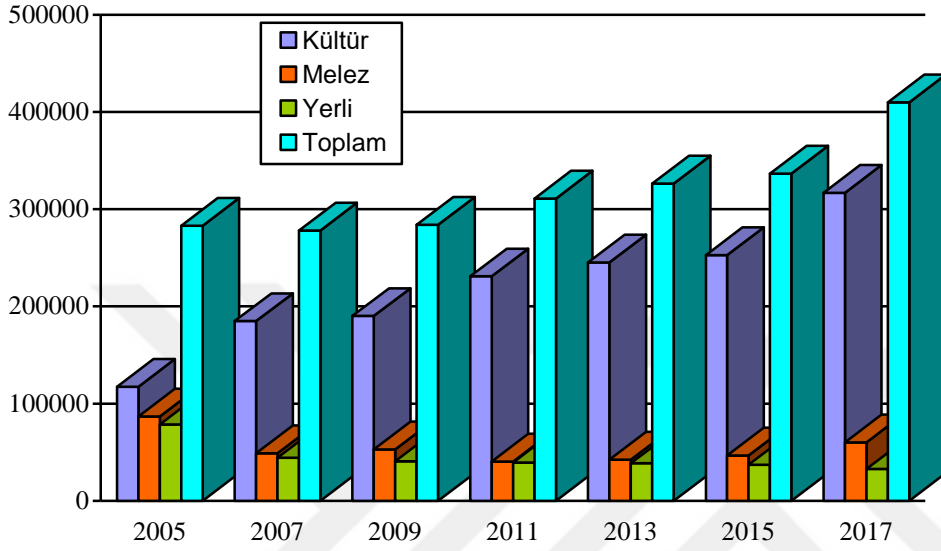
Kültür ırkı sığırlar toplam popülasyonunun % 77,3'ünü kaplamaktadır. Türkiye'nin kültür sığır ırkı varlığında ise % 4'den fazla bir paya sahip Aydın'da yüksek verimli sığır ırkının sayısı ıslah çalışmalarının etkisi ile giderek artmıştır. Büyükbaş ve küçükbaş hayvancılığın gelişmesinde en büyük kısıt mera alanlarının yeterli olmamasıdır. Mera alanları toplam alanın sadece % 3'ünü kapsamaktadır. Oysaki Türkiye ortalamasında mera alanlarının oranı % 26'dır. Toplam tarla bitkisi ekilişleri içerisinde yem bitkisi ekilişlerinin oranı Türkiye'de yaklaşık % 6, Aydın'da ise % 10 civarındadır.

3.1.5.1 Aydın ili büyükbaş hayvan sayısı

Çizelge 3.8 2005 – 2017 yılları Aydın ili büyükbaş hayvan sayıları

Sığır Irkları	2005	2007	2009	2011	2013	2015	2017
Kültür	117.477	184.881	190.192	230.953	245.232	252.760	316.911
Melez	86.810	48.942	52.967	40.519	42.422	46.763	60.276
Yerli	78.665	44.340	40.835	39.505	38.679	37.172	32.801
Toplam	282.952	278.163	283.994	310.977	326.333	336.695	409.988

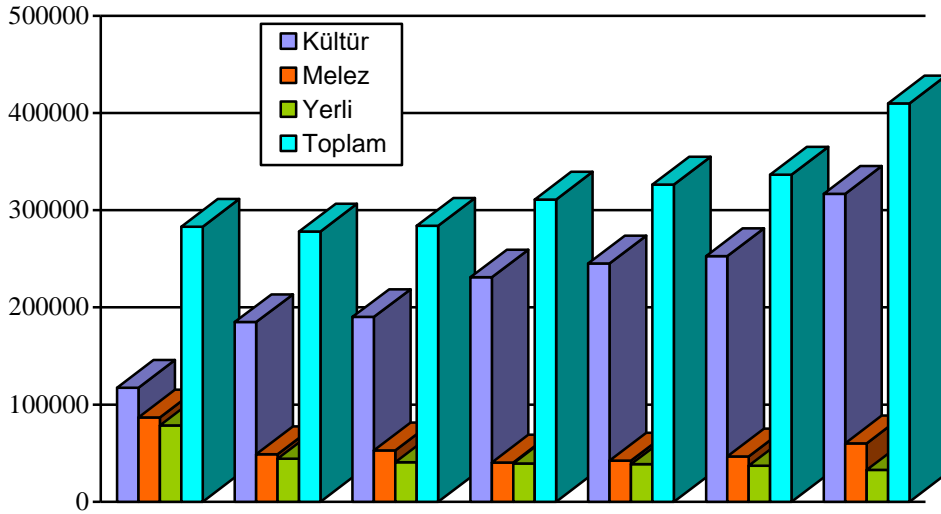
Çizelge 3.8'de Aydın ilinde sığır sayılarındaki 12 yıllık değişimler gösterilmiştir. 2005 yılında 282.952 olan sığır mevcudu 2017 yılında **409.988** adet olmuştur.



Şekil 3.10 Aydın ilinde sığır mevcudunun yıllara göre değişimi (baş)

Şekil 3.10 incelendiğinde 2005 yılından sonra kültür ırkında % 169 oranında artış, melez ırkında % 30, yerli ırkında % 59 oranında belirgin bir düşüş görülmüş olup, toplamda da % 45 oranında artış gözlenmiştir.

3.1.5.2 Aydın ili küçükbaş hayvan sayısı



Şekil 3.11 Aydın alt bölgelerinde küçükbaş hayvan mevcudunun dağılımı (baş)

Şekil 3.11’de Aydın alt bölgelerindeki küçükbaş hayvan sayıları gösterilmiştir. I. alt bölgede koyun sayısı diğer alt bölgelere oranla birinci sırada yer almaktadır. Koyun mevcudu bakımından IV. alt bölgede bulunan Karacasu ilçesi % 16,8 ile birinci sırada, I. alt bölgede bulunan Kuyucak ilçesi % 14,3 ile ikinci sırada yer almaktadır.

Keçi mevcudu bakımından IV. alt bölgede bulunan Karacasu ilçesi % 32,1 ile birinci sırada aynı bölgede yer alan % 23,4 oranı ile Bozdoğan ilçesi ikinci sırada yer almaktadır.

Çizelge 3.9 2004 – 2017 yılları Aydın ili küçükbaş hayvan sayıları

Yıllar	2004	2006	2008	2010	2012	2014	2016	2017
Koyun	120.473	128.774	114.580	120.628	191.425	202.128	203.880	216.727
Keçi	57.741	62.969	54.192	60.092	96.957	102.800	100.317	94.986
Toplam	178.214	191.743	168.772	180.720	288.382	304.928	304.197	311.713

Şekil 3.12 Aydın ilinde küçükbaş hayvan sayısının yıllara göre değişimi (baş)

Çizelge 3.9 ve şekil 3.12’de Aydın ilinde küçükbaş hayvan sayısındaki 13 yıllık değişim gösterilmiştir. 2012 yılında koyun sayısında % 59, keçi sayısında ise % 68

oranında ciddi bir artış olurken, 2012 yılından 2017 yılına kadar hayvan sayılarında ciddi bir değişikliğin olmadığı gözlenmektedir.

Küçükbaş hayvan yetiştiricilerinin başka uğraşlara kayması, bu işle uğraşanların işgücü problemlerinin olması ve göçer halde yaptıkları hayvancılığı artık tercih etmemeleri nedeniyle küçükbaş hayvan yetiştiriciliği çok hızlı büyümemiştir. 2012 yılından sonra ülkemizdeki piyasa şartları ve hayvancılık sektörünün zorlaşmasından dolayı hayvan sayılarının stabil kaldığı gözlenmektedir.

3.1.5.3 Aydın ili kanatlı sayısı

Şekil 3.13 Aydın alt bölgelerinde mevcut tavuk sayısı (adet)

Şekil 3.13 incelendiğinde broiler ve yumurta tavuğu sayısı bakımından I. alt bölge en fazla olup, bu bölgede yer alan Buharkent ilçesi il yumurta tavuğu mevcudunun % 29'nu oluşturmaktadır.

Şekil 3.14 incelendiğinde tavuk sayısı en fazla % 72,1 oranında I. alt bölgede bulunmaktadır.

Şekil 3.14 Aydın alt bölgelerinde tavuk mevcudunun oransal dağılımı (%)

Çizelge 3.10 Aydın ilinde tavuk sayılarının yıllara göre değişimi (adet)

Yıllar	2004	2008	2010	2012	2014	2016	2017
Broiler	823.786	4.108.723	2.145.098	2.082.150	2.335.080	2.621.830	2.021.980
Yumurtacı	733.283	687.732	673.642	633.097	612.572	878.907	918.036

Şekil 3.15 Aydın ilinde Broiler ve Yumurta tavuğu sayısının yıllara göre değişimi (adet)

Çizelge 3.10 ve şekil 3.15 incelendiğinde broiler sayısı 2004 yılından itibaren 2008 yılına kadar 5 kat artmış, buna karşılık yumurta tavuğu sayısı % 29 oranında azalmıştır. Kırmızı et fiyatının yüksek oluşu, beyaz etin tüketiciye değişik şekillerde sunulması ve sağlıklı beslenmede önem kazanması nedeniyle talebe karşı üretim de artmıştır.

Yumurta tavuğu yetiştiriciliği uzun yıllar belli dönemlerde risk göstermesi ve yem maliyetinin yüksek olması buna karşın yumurta fiyatlarının düşük olması sebebiyle 2014 yılına kadar azalma göstermiştir. 2014 yılından sonra yumurta sektörü organik yumurta, köy yumurtası, gezen tavuk gibi girişimler sonucunda tekrar yükselişe geçmiştir.

3.2 Yöntem

İlin biyogaz üretim potansiyelini ortaya koyabilmek için öncelikle bitki çeşitlerine ve hayvan cinslerine göre değişkenlik gösteren bazı oranlar ve kabullere ihtiyaç vardır. Bitkisel ürün atıklarında o bitki atığının kullanılabilirlik oranı ve bu orana göre atığın birim ısıl değer kabullerini, hayvansal ürün atıklarında ise hayvan türlerine bağlı olan günlük atık miktarları, bu günlük atığın kullanılabilirliği ve biyogaz verimi ortaya konmuştur.

Bitkisel atıkların tamamının kullanılabilmesi mümkün değildir. Çünkü bitkisel atıklar ilk halinden enerji üretiminde kullanılacak forma gelene kadar ciddi bir su kaybı yaşamaktadır. Bu nedenle her bitkisel atık için belli bir kullanılabilirlik oranı belirlenmiştir. Çizelge 3.11’de Türkiye’deki bazı bitkisel ürünün atık miktarları ve birim ısıl değer kabulleri gösterilmiştir.

Çizelge 3.11 Türkiye’deki tarla ürünleri atık kullanılabilirliği ve birim ısıl değerleri (Anonim, 2014 b.)

Ürünler	Atıklar	Kullanılabilirlik (%)	Birim Isıl Değeri (Mj/kg)
Buğday	Saman	15	17,9
Arpa	Saman	15	17,5
Çavdar	Saman	15	17,5
Yulaf	Saman	15	17,4
Mısır	Sap	60	18,5
	Sömek	60	18,4
Pirinç	Saman	60	16,7
	Kabuk	80	12,98
Tütün	Sap	60	16,1
Pamuk	Sap	60	18,2
	Çırcır Atığı	80	15,65
Ayçiçeği	Sap	60	14,2
Yerfıstığı	Saman	80	20,74
	Kabuk	80	20,74
Soya	Saman	60	19,4

Aydın ili bitkisel üretimin ilçelere göre yoğunluğu ve miktarları incelenerek bu üretim miktarlarından ortaya çıkacak atık miktarlarının, bu bitkisel atık kabul

değerleri doğrultusunda Aydın İli'nin biyogaz potansiyelinin bitkisel kısmı ortaya konulmuştur.

Bitkisel atıklarda olduğu gibi hayvansal atıklarda da atığın tamamı kullanılamamaktadır. Çizelge 3.12'de görebileceğiniz gibi hayvan cinslerine göre kg/gün olarak atık miktarları verilmiştir. Fakat bu miktarlar atığın tamamını içermekte olup kullanılabilir atık miktarları değildir. Hayvan cinslerine bağlı olarak atık miktarları, kullanılabilirliği ve bu veriler doğrultusunda biyogaz verimleri Çizelge 3.13'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.12 Hayvan atık miktar kabulleri (Anonim, 2012 a.)

Hayvan Tipi	Atık Miktarı Kg dışkı/hayvan x gün
Sığır (Büyükbaş)	37,5
Koyun ve Keçi (Küçükbaş)	2
Broiler Tavuk	0,19
Yumurta Tavuğu	0,13

Çizelge 3.13 Hayvan cinslerine göre atık özellikleri ve biyogaz verimleri (Yokuş, 2011)

Hayvan Cinsi	Canlı Ağırlık (kg)	Taze Atık Miktarı		TK (%)	UK (%)	Kullanılabilirlik Ahırda kalma süresi (%)	Biyogaz Verimi l/kgUK
		Ağırlığın Yüzdesi	Kg/gün				
Büyükbaş	135-800	5-6	10-20	5-25	75-85	Süt 65 Et 25	200-350
Küçükbaş	30-75	4-5	2	30	20	13	100-310
Kümes Yumurta Et	1,5-2,0	3-4	0,08-1,00	10-35 50-90	70-75 60-80	99	310-620 550-650

Atık miktarının hesabında; büyükbaş hayvanlar için 10-20 kg/gün (yaş) atık verimi kabul edilebileceği gibi, canlı ağırlığın % 5-6'sı da günlük atık miktarına esas alınabilir. Aynı şekilde koyun ve keçi için 2 kg (yaş/gün veya canlı ağırlığın % 4-5'i) günlük atık üretimi olarak kabul edilebilmektedir. Tavuk için günlük atık üretimi ise 0,08-0,1 kg (yaş/gün veya canlı ağırlığın % 3-4'ü) kabul edilebilir (Yokuş, 2011).

Bitkisel atıklarda olduğu gibi hayvansal atıklarda da bu kabuller doğrultusunda, Aydın ili ve ilçelerinin hayvansal yoğunluğu ve adetleri incelenerek, aşağıdaki formüller ile hayvansal atık miktarları, kuru madde miktarı, biyogaz potansiyeli ve eşdeğer enerji değerleri hesaplanarak Aydın ili hayvansal atıklardan biyogaz üretim potansiyeli ayrıntılı olarak ortaya konulmuştur.

$$X = (Y \times Z \times 365)/1000$$

Formül 3.1

X: Yıldaki yaş atık miktarı (ton)

Y: Hayvan sayısı (adet)

Z: Atık miktarı kabulü

$$A = X \times B \times C$$

Formül 3.2

A: Yıldaki kuru madde miktarı (ton)

X: Yıldaki yaş atık miktarı (ton)

B: Yüzde toplam kuru

C: Yüzde kullanılabilirlik

$$W = A \times Q$$

Formül 3.3

W: Yıldaki m³ biyogaz potansiyeli

A: Yıldaki kuru madde miktarı (ton)

Q: 1 ton katı atık biyogaz verimi kabulü

$$T = W \times H$$

Formül 3.4

T: Enerji Eşdeğeri

W: Yıldaki m³ biyogaz potansiyeli

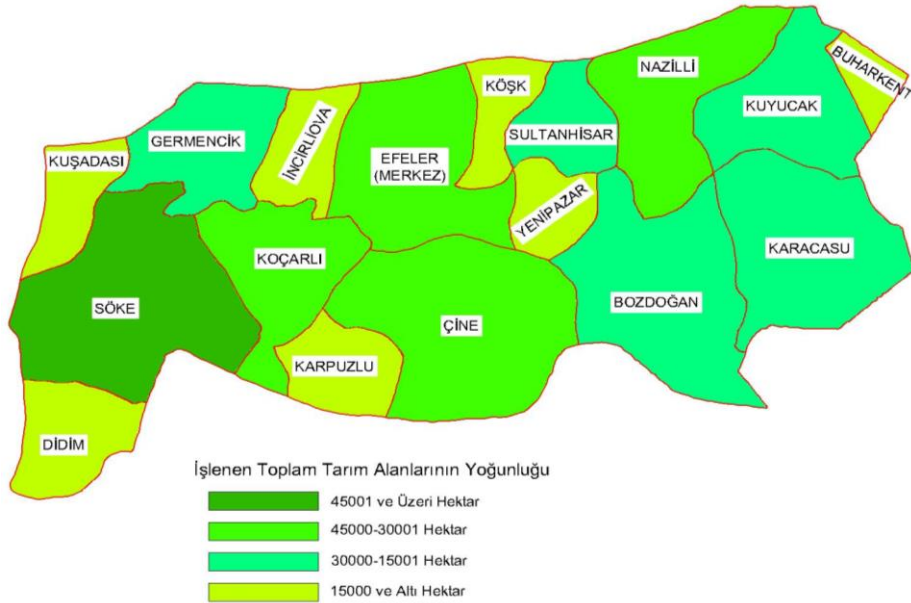
H: 1m³/yıl ısı değer kabulü

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılan çalışmada Aydın ili bitkisel ve hayvansal atık durumu dikkate alınarak Aydın'ın il bazında biyogaz üretim potansiyeli hesaplanması amaçlanmıştır. Bu çerçevede Aydın iline ait ilçe bazlı olacak şekilde hayvan sayıları ve bitkisel üretimleri belirlenmiştir. Bu belirlenen değerler literatür değerleri ile karşılaştırılmıştır.

4.1 Aydın İli Bitkisel Üretimlerinin İlçelere Göre Yoğunluğu

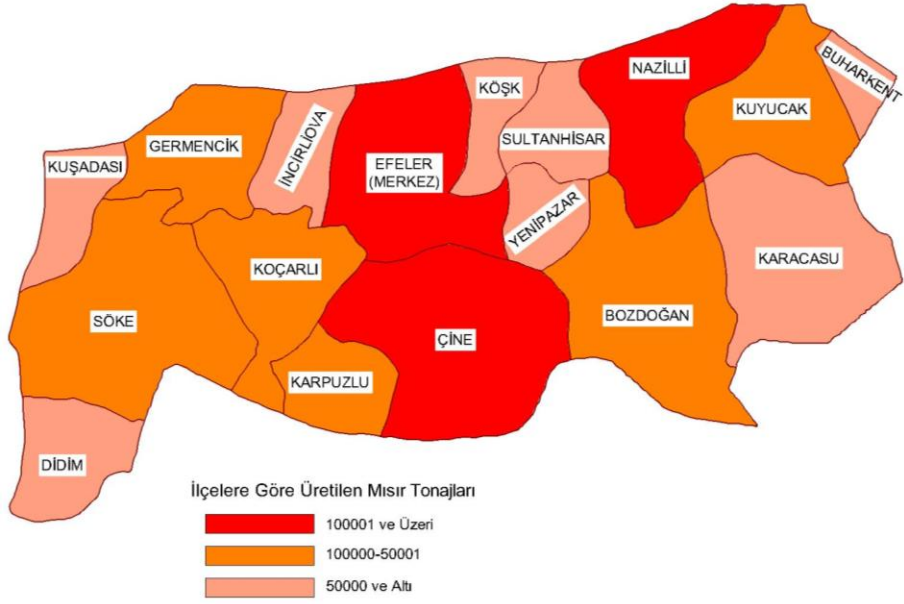
Aydın iline ait toplam 17 ilçede belirli oranlarda farklı türler de bitkisel üretim yapılmaktadır. İşlenen toplam tarım alanlarının büyüklüklerine bakıldığında Söke 45.000 hektarın üstünde bir rakamla en yoğun olan ilçedir. Bu ilçeyi Çine, Koçarlı, Nazilli, Efeler (Merkez) 45.000-30.000 hektar arasında, Bozdoğan, Germencik, Karacasu, Kuyucak, Sultanhisar 30.000-15.000 hektar arasında ve Buharkent, Didim, İncirliova, Karpuzlu, Köşk, Kuşadası, Yenipazar 15.000 hektarın altında olarak takip etmektedir (TÜİK, 2013). Aydın İli işlenen toplam tarım alanlarının yoğunluğunu gösteren harita Şekil 4.1'de verilmiştir.



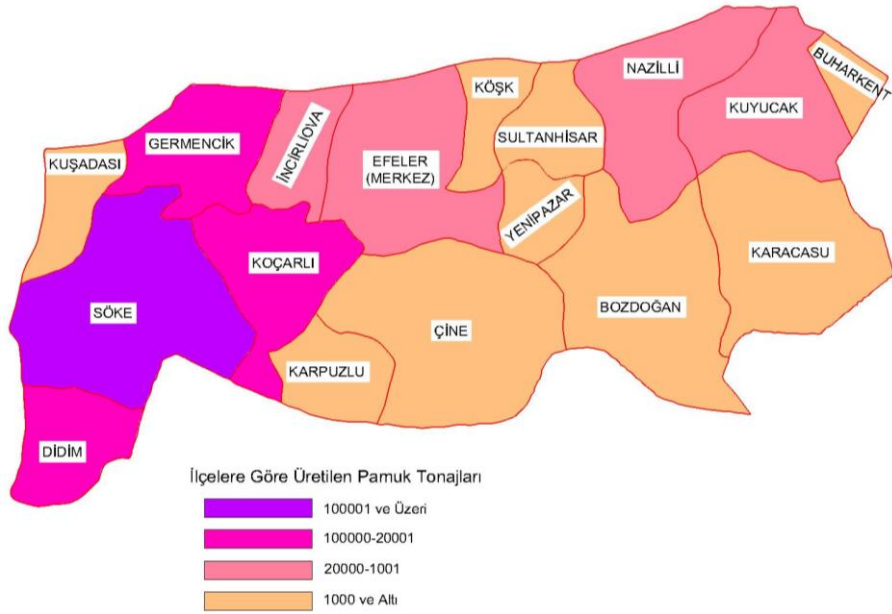
Şekil 4.1 Aydın ili ve ilçelerinde işlenen toplam tarım alanı yoğunluğu

Aydın ili işlenen tarım arazisinde üretiminin büyük bir kısmını 995.000 ton mısır, 287.000 ton pamuk, 87.000 ton buğday ve bunları 33.000 ton ile arpa takip

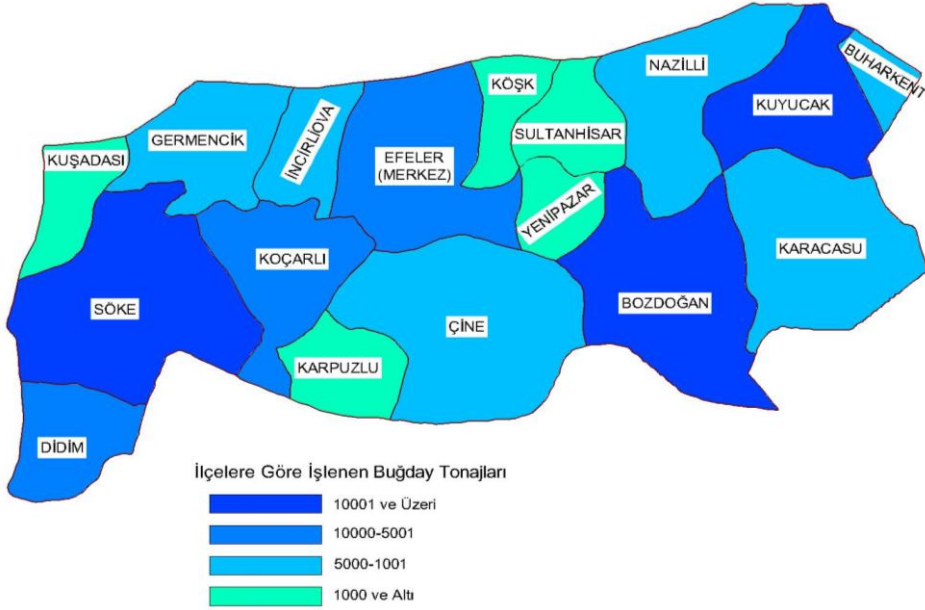
etmektedir. Mısır, pamuk ve buğdayın ilçe bazlı ton değerlerini sırası ile şekil 4.2, 4.3 ve 4.4'te inceleyebiliriz.



Şekil 4.2 Aydın ili ve ilçelerinde üretilen mısır tonaj yoğunluğu



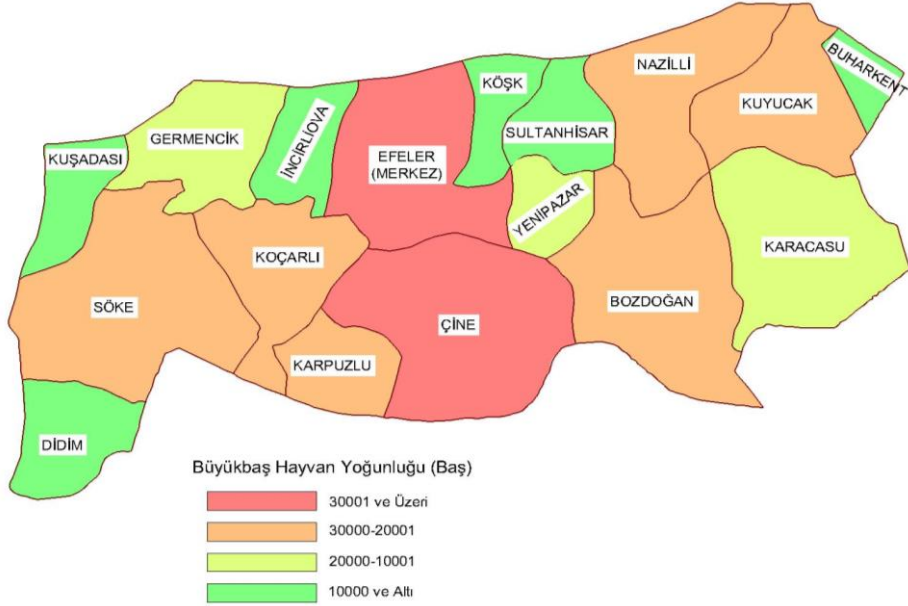
Şekil 4.3 Aydın ili ve ilçelerinde üretilen pamuk tonaj yoğunluğu



Şekil 4.4 Aydın ili ve ilçelerinde üretilen buğday tonaj yoğunluğu

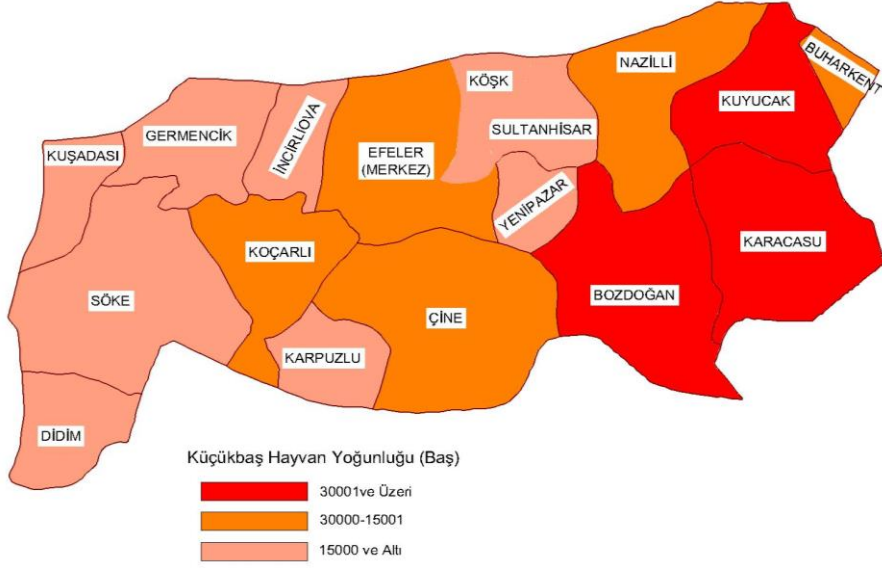
4.2 Aydın İli Hayvan Varlığının İlçelere Göre Yoğunluğu

Aydın ilinde belirli oranlarda da olsa büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvanları yetiştiriciliği yapılmaktadır. Aydın genelinde 409.988 büyükbaş, 311.713 küçükbaş ve 2.940.016 kümes hayvan varlığı vardır (TÜİK, 2017). Aydın ilinde büyükbaş yetiştiriciliğinin en yoğun olduğu yerler Çine ve Efeler (Merkez) olup 30.000 başın üzerindedir. Bozdoğan, Karpuzlu, Koçarlı, Kuyucak, Nazilli, Söke ise 30.000 – 20.000 arasında, Germencik, Karacasu, Yenipazar 20.000 – 10.000 arasında ve Buharkent, Didim, İncirliova, Köşk, Kuşadası, Sultanhisar 10.000 başın altındadır. Aydın ili büyükbaş hayvan varlığının yoğunluğunu gösteren harita Şekil 4.5’de verilmiştir.



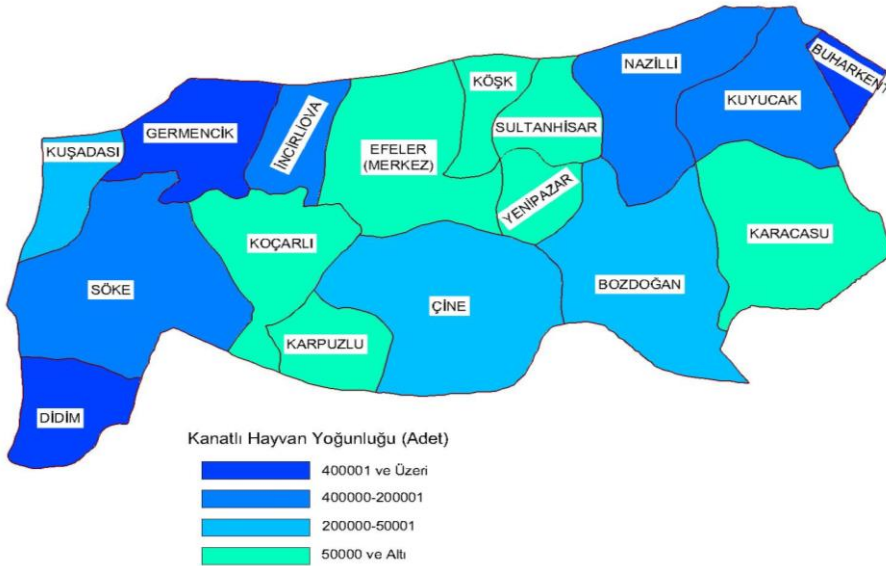
Şekil 4.5 Aydın ili büyükbaş hayvan varlığı yoğunluğu

Küçükbaş hayvancılık en yoğun olarak yapıldığı yerler Bozdoğan, Karacasu, Kuyucak illeri olup 30.000 üstündedir. Efeler (Merkez), Buharkent, Çine, Koçarlı, Nazilli 30.000 – 15.000 arasında, Didim, Germencik, İncirliova, Karpuzlu, Köşk, Kuşadası, Söke, Sultanhisar, Yenipazar 15.000'nin altında üretim yapan ilçelerdir. Aydın ili küçükbaş hayvan varlığının yoğunluğunu gösteren harita Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.6 Aydın ili küçükbaş hayvan varlığı yoğunluğu

Kümes hayvancılığı yoğun olarak Germencik, Didim, Buharkent ilçelerinde 400.000 adet üstündedir. İncirliova, Kuyucak, Nazilli, Söke 400.000 – 200.000 adet arasında, Bozdoğan, Çine, Kuşadası 200.000 – 50.000 adet arasında ve Efeler, Karacasu, Karpuzlu, Koçarlı, Köşk, Sultanhisar, Yenipazar 50.000 adet altında kalmaktadır. İlin kümes hayvan varlığı yoğunluğu Şekil 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.7 Aydın ili kanatlı hayvan varlığı yoğunluğu

4.3 Aydın İli Bitkisel Atık Miktarı ve Biyogaz Potansiyeli

Bitkisel atık miktarının hesabında; elde edilen tarım ürünlerine oranla üretim sonucu oluşan atıklar toplam üretimin kütsel olarak % 90-160'ını kapsamaktadır (İTEP, 2010).

Çizelge 4.1 Aydın ili tarla bitkilerinin atık miktarları ve ısıl değerleri

Ürünler	Atıklar	Üretim (ton)	Kullanılabilir atık (ton)	Kullanılabilirliği (%)	Birim ısıl değeri (Mj/kg)	Toplam ısıl değeri (Gj)
Buğday	Saman	76.557	11.988	15	17,9	214.585
Arpa	Saman	30.336	4.853	15	17,5	84.927
Çavdar	Saman	1.848	388	15	17,5	6.790
Yulaf	Saman	2.881	428	15	17,4	7.447
Mısır (Dane)	Sap	174.575	235.676	60	18,5	4.360.006
	Sömek		90.779	60	18,4	1.670.333
Pamuk	Sap	316.856	209.125	60	18,02	3.768.432
	Çırçır atığı		80.798	80	15,65	1.264.488
Ayçiçeği	Sap	1.212	1.957	60	14,2	27.789

Aydın ilinde yetişen farklı tarımsal atıkların ısıl değerleri, Çizelge 3.14'de verilmiştir. Bu veriler doğrultusunda inceleyecek olursak, işlendiği alan ile kullanılabilir atık miktarları karşılaştırıldığında mısırın 15.933 ha alana karşılık 235.676 ton sap kısmından çıkan atık verdiğini görmekteyiz.

Ekim alanı ile kullanılabilir atık miktarlarını orantıarsak mısır yaklaşık olarak 14,8 kat atık verirken, ona en yakın atık miktarındaki pamuk yaklaşık 3,5 kat atık vermektedir. Tarla bitkilerinde kullanılabilirliği en yüksek ürün atığı %80 ile pamuk bitkisinin çırçır atığı olup, bu ürünü % 60 ile mısır sap ve sömeği ve arkasından ayçiçeği sapı ve pamuk sapı takip etmektedir. Tarla bitkileri yıllık atık miktarının toplam ısıl değeri yaklaşık olarak 11,5 PJ'dür.

4.4 Aydın İli Hayvansal Üretim Biyogaz Potansiyeli

4.4.1 Aydın ili hayvansal atık miktarının hesaplanması

Aydın ili hayvansal atık miktarları il bazında tespit edilen hayvan sayıları kullanılarak formül 3.1 ile çizelge 4.2'de toplam hayvansal atık miktarları ton.dışkı/yıl olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.2 Aydın ili hayvan sayıları ve atık miktarları

Hayvan Tipi	Toplam	Ton/Yıl
Sığır (Büyükbaş)	409.988	5.611.710
Koyun ve Keçi (Küçükbaş)	311.713	227.550
Broiler	2.021.980	140.224
Yumurtalık	918.036	43.560

Hayvan türlerine ve sayılarına bağlı oluşan atık miktarlarına bakıldığında en fazla atık oluşturan türün büyükbaş hayvanlar olduğu görülmektedir. Yıllık toplam değerlere göre oluşan atık miktarları, büyükten küçüğe şu şekilde sıralanabilir; 5.611.710 ton dışkı/yıl ile büyükbaş hayvanlar, 227.550 ton dışkı/yıl ile küçükbaş hayvanlar ve 183.784 ton dışkı/yıl ile kanatlılar. Kanatlı hayvanların sayılarının büyükbaş ve küçükbaş hayvan sayılarına oranla yaklaşık 7 kat olmasına rağmen günlük dışkı miktarları çok az olduğundan atık sıralamasında son sırada yer almaktadırlar.

4.4.2 Aydın ili hayvansal atık kuru madde miktarının hesaplanması

Aydın ili hayvansal atık kuru madde miktarları hesaplamasında hayvansal atık değeri, yüzde toplam kuru madde kabul değerleri ve yüzde kullanılabilirlik kabul değerleri kullanılarak formül 3.2 ile çizelge 4.3’de hesaplanmıştır.

Çizelge 4.3 Aydın ili hayvansal atık kuru madde miktarları

Hayvan Tipi	Ton/Yıl	Ton.KM/Yıl
Sığır (Büyükbaş)	5.611.710	420.878
Koyun ve Keçi (Küçükbaş)	227.550	8.874
Broiler	140.224	48.587
Yumurtalık	43.560	15.093

Hayvansal atık kuru madde miktarlarına bakıldığında küçükbaşların yıllık ton miktarları kanatlılardan fazla olduğu görülmektedir. Fakat kuru madde içeriği hesaplanırken en önemli etkenler olan yüzde toplam kuru ve yüzde

kullanılabilirlik kanatlılarda fazla olduğundan, kanatlılarda yıllık çıkan atık miktarı ile kuru madde miktarları arasındaki fark en az olandır.

4.4.3 Aydın ili hayvansal atıkların m³ biyogaz potansiyelinin hesaplanması

Aydın ili hayvansal atıkların m³ biyogaz potansiyeli hesaplamasında, hesaplanmış olduğumuz hayvansal atıkların yıldaki ton kuru madde miktarı ve 1 ton kuru madde atık miktarının biyogaz verimi kullanılarak formül 3.3 ile çizelge 4.4'de hesaplanmıştır.

Çizelge 4.4 Aydın ili hayvansal atık biyogaz potansiyeli

Hayvan Tipi	Ton.KM/Yıl	m ³ /Yıl
Sığır (Büyükbaş)	420.878	84.175.600
Koyun ve Keçi (Küçükbaş)	8.874	1.774.800
Broiler	48.587	9.717.400
Yumurtalık	15.093	3.018.600

Hesaplamalar doğrultusunda 200 m³ biyogaz verimi 1 ton katı hayvansal atıktan elde edilmekle birlikte biyogaz ısıl değeri de 22,7 MJ/m³ olarak kabul edilmiştir (Başçetinçelik, vd. 2007).

4.4.4 Aydın ili hayvansal atıkların enerji eşdeğerlerinin hesaplanması

Aydın ili hayvansal atıkların enerji eşdeğeri hesaplanmasında, hayvansal atıkların yıldaki m³ biyogaz potansiyeli ve 1m³/yıl ısıl değer kabulü kullanılarak formül 3.4 ile çizelge 4.5'te hesaplanmıştır.

Çizelge 4.5 Aydın ili hayvansal atıkların enerji eşdeğeri

Hayvan Tipi	m ³ /Yıl	MJ/kg
Sığır (Büyükbaş)	84.175.600	1.910.786.120
Koyun ve Keçi (Küçükbaş)	1.774.800	40.287.960
Broiler	9.717.400	220.584.980
Yumurtalık	3.018.600	68.522.220

Bu değerler ve kabuller ile Aydın İli'nin izelge 4.6'da yıllık hayvansal atık miktarlarının ve bu atıkların hepsinin biyogaz tesisinde değerlendirilmesine bağlı olarak üretilecek elektrik ve ısı miktarları belirtilmiştir. Yani Aydın'ın yıllık biyogaz potansiyeli ve bu biyogaz ile ne kadar bir elektrik üretileceği ortaya çıkmıştır.

Çizelge 4.6 Aydın ili toplam hayvansal atıkları biyogaz üretim potansiyeli

Üretim	Toplam Değerler
Sığır (Büyükbaş) hayvan dışkısı (ton/yıl)	5.611.710
Koyun-Keçi (küçükbaş) hayvan dışkısı (ton/yıl)	227.550
Kanatlı hayvan dışkısı (ton/yıl)	183.784
Hayvansal toplam kuru madde (ton.KM/yıl)	493.432
Biyogaz Potansiyeli (m3/yıl)	98.686.400
Enerji Eşdeğeri (MJ/kg)	2.240.181.280

Aydın ilinde hayvansal atıklardan elde edilebilecek enerji miktarı izelge 4.6'da grldği gibi 2,24 PJ'lik bir potansiyelde olduğu hesaplanmıştır.

5. SONUÇ

Yenilenebilir enerji kaynakları içersinde önemli bir yere sahip olan biyogaz dünyanın birçok ülkesinde değerlendirilmektedir. Hindistan ve Çin gibi Asya ülkelerinde aile tipi bireysel üretimin yanı sıra Finlandiya, Almanya ve Avusturya gibi Avrupa ülkelerinde ise üreticilerin birliktelik kurarak ve kooperatifleşmesi ile sanayi üretimi olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Biyogaz üretiminde genel olarak bakıldığında en yaygın kullanılan atık hayvansal atık olmasına karşın bitkisel atıklarında azımsanamayacak derecede etkisi olduğu görülmektedir. Hali hazırda günümüzde biyoenerji kaynağı olarak ormanlar dikilmekte ve hammadde üretimi yapılmaktadır.

Bu çalışma ile yenilenebilir enerji kaynakları içinde en doğal ve çevreyi en fazla koruyan biyogaz, 1980'lerde ülkemizde adından sıkça söz ettirmeye başlamışken daha sonra bir anda uzaklaşılmasına rağmen günümüzde tekrardan parlayan bir alternatif ve yenilenebilir enerji kaynaklarının başına geçmeyi başarmıştır. Aydın ili hem hayvan sayısı hem de ekili tarım arazisi olarak geniş bir biyokütleyle sahip olduğundan biyogaz üretim potansiyeli ve tesislerinin optimum çalışma koşullarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

Bitkisel üretimin ve özellikle tarla bitkilerinin çok yoğun olduğu Aydın'da mısır ve pamuk atıkları, biyogaz üretimi için ciddi hammadde kaynaklarıdır. Çünkü bu iki üründe üretim miktarının % 90 ile % 160'ı kadar atık miktarı vermektedir. 174.575 ton üretim miktarı bulunun mısırın, ortaya çıkan kullanılabilir atık miktarı 326.455 tondur. Mısır atığını oluşturan sap ve sömekten elde edilen ısı değeri 6.030.339 Gj'dür. Aynı şekilde 316.856 ton üretim miktarı bulunan pamuğun ise 289.923 ton kullanılabilir atık miktarı vardır. Pamuk atıkları olan sap ve çırçır atıklarının toplam ısı değeri ise 5.032.920 Gj'dür.

Hayvansal üretiminde Aydın'da yadırganmayacak bir yeri vardır. Yılda 5.611.710 ton büyükbaş, 227.550 ton küçükbaş, 183.784 ton kanatlı hayvan dışkısının olduğu bir üretim vardır. Bu dışkılarının kullanılabilir kuru madde miktarı ise 493.432 ton'dur. Bu kuru madde miktarının enerji eşdeğeri ise 2,24 Pj'dür.

Bitkisel ve hayvansal üretimin yapıldığı Aydın'da tahmini hesaplamalara göre yıllık olarak hayvansal ve bitkisel atıklardan 13,74 PJ'lük enerji potansiyelinin olduğu gözlenmektedir. Atıklardan biyogaz üretimi, çevresel, ekonomik,

sosyokültürel etkilerin etraflıca değerdendirilmesi ile uygunluğu ortaya konduğu takdirde bölgesel enerji ihtiyacının tedarikinde önemli bir yoldur. Dolaylı yollardan elde edilen bu biyogaz enerjisi doğrudan yakılarak sıcak su ve hava elde etmede, ocaklarda yemek pişirmede, yakılarak aydınlatmada kullanılabilceği gibi ısı ve güç üretiminde de yararlanılabilecektir.

Biyogaz tesisi çıkışından sağlanan esas materyal organik madde içerdikli gübredir. Bu fermente gübre patojenlerden arıtılmış olup bitkisel üretimde organik madde için kullanılabilir.

Hayvansal atıkların anaerobik fermantasyonla değerdendirilerek biyogaz ve fermente gübre elde edilmesi, yenilenebilir enerji üretimi ve kullanımı sağlayacağı gibi, çevreye zararlı atık miktarının azaltılması ve atık yönetim maliyetinin de düşürülmesini sağlayacaktır.

Ekonomik açıdan ele alındığında; ilk yatırım maliyetinin yüksek olması biyogaz sistemlerini pahalı bir alternatif enerji kaynağı olarak göstermektedir. Küçük ölçekli biyogaz tesisleri tam verimli işletildiklerinde yaklaşık 8-10 ay içerisinde kendisini amorti edebileceği tahmin edilmektedir. Ancak ilk etapta tesisin kurulması için bir finansmana ihtiyaç vardır. Bu finansman, devlet destekli yabancı kredi ile sağlanabilir ya da kullanıcısı olan özel şahıslarla karşılanabilir. Birçok ülkede, biyogaz teknolojisinin çevre ve sağlık açısından yararları düşünülerek, devlet tarafından programlar başlatılmıştır. Uygulanan teşvikler ve kredilerle maliyetin yaratacağı yük azaltılarak biyogaz sistemleri yaygınlaştırılmaya çalışılmıştır.

İklim koşulları ve üretim olanakları göz önüne alınarak; yatırım maliyetleri düşük, yüksek verimli, kurulum, kullanım ve bakımı kolay biyogaz sistemlerinin tasarlanması ülkemizde de biyogaz teknolojisinin gelişmesini sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- Akbulut, A. Dikici, A. 2004. Elazığ İlinin Biyogaz Potansiyeli ve Maliyet Analizi. **Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları**, Elazığ.
- Akpınar, N. 2006. Kentsel Katı Atıklardan Enerji Üretimi. İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, Enerji Bilimi ve Teknolojileri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 124 syf, İstanbul.
- Aktaş, A. 2008. Yukarı Akışlı Havasız Çamur Yataklı Reaktörlerde Çamur Granüllerinin Oluşmasına Etki Eden Faktörlerin Belirlenmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Bilimleri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 155 syf, Ankara.
- Alçıçek, A. Demiruluş H. 1994. Çiftlik Gübrelerinin Biyogaz Teknolojisinde Kullanılması. **Ekoloji Çevre Dergisi**, 13-5-9 syf, İzmir.
- Al Seadi, T. 2008. Biogas Handbook. Universty of Southern Denmark Esbjerg, Denmark.
- Anonim, 2012 a. Aydın İli Biyogaz Potansiyeli Fizibilite Çalışma Raporu [<http://www.adsyb.org.tr/webfolders/yayinlar/2012-1012.pdf>], Erişim Tarihi: 05.05.2015
- Anonim, 2013 a. İl Tarım ve Kırsal Kalkınma Master Planlarının Hazırlanmasına Destek Projesi, Aydın Gıda, Tarım ve Hayvancılık İl Müdürlüğü, Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Aydın.
- Anonim, 2014 a. Dünya'nın Enerji Üretimi [https://www.google.com.tr/publicdata/explore?ds=d5bncppjof8f9_&met_y=eg_use_elec_kh_pc&hl=tr&dl=tr#!ctype=l&strail=false&bcs=d&nسلم=h&met_y=electricity_production_kwh&fdim_y=energy_source:5&scale_y=lin&ind_y=false&rdim=region&ifdim=region&tdim=true&tstart=6271920000&tend=1325023200000&hl=tr&dl=tr&ind=false], Erişim Tarihi: 09.07.2014
- Anonim, 2014 b. Biyokütle Potansiyeli Olarak Tarımsal Atıklar [http://biyoder.org.tr/?page_num=4589], Erişim Tarihi: 09.07.2014

Anonim, 2014 c. BP Statistical Review of World Energy June 2014. [https://www.bp.com/content/dam/bp-country/de_de/PDFs/brochures/BP-statistical-review-of-world-energy-2014-full-report.pdf], Erişim Tarihi: 16.04.2015

Anonim, 2016 a. Biyogaz Üretiminde Kullanılan Organik Atık/Artık Hammaddeler. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. Yenilenebilir Enerji, Biyokütle, Biyogaz. Web Sitesi. [http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/biyogaz.aspx], Erişim Tarihi: 16.08.2016

Anonim, 2017 a. 1994-2014 Yılları Arası Dünya'nın ve Türkiye'nin Kişi Başı Ortalama Enerji Tüketimi [https://www.google.com.tr/publicdata/explore?ds=d5bnppjof8f9_&met_y=eg_use_elec_kh_pc&hl=tr&dl=tr#!ctype=l&strail=false&bcs=d&nselm=h&met_y=eg_use_pcap_kg_oe&scale_y=lin&ind_y=false&rdim=region&idim=country:TUR&ifdim=region&tdim=true&tstart=309492000000&tend=1394575200000&hl=tr&dl=tr&ind=false], Erişim Tarihi: 06.07.2017

Anonim, 2017 b. 1994-2014 Yıllar Arası Dünya'nın ve Türkiye'nin Kişi Başı Ortalama Elektrik Tüketimi [https://www.google.com.tr/publicdata/explore?ds=d5bnppjof8f9_&met_y=eg_use_elec_kh_pc&hl=tr&dl=tr#!ctype=l&strail=false&bcs=d&nselm=h&met_y=eg_use_elec_kh_pc&scale_y=lin&ind_y=false&rdim=region&idim=country:TUR&ifdim=region&tdim=true&tstart=309492000000&tend=1394575200000&hl=tr&dl=tr&ind=false], Erişim Tarihi:06.07.2017

Anonim, 2017 c. 2017 Yılı Sektör Raporu, Türkiye Elektrik ve Ticaret A.Ş. Genel Müdürlüğü, [http://www.tetas.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FSektör+Raporu%2FTETAŞ+2017+Yılı+Sektör+Raporu.pdf], Erişim Tarihi: 11.10.2018

Başçetinçelik, A. Öztürk, A.ve Karaca, C. 2007. Türkiye'de Tarımsal Biyokütleden Enerji Üretimi Olanakları. IV. Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Kayseri.

[http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/32590c74a229a9f_ek.pdf?dergi=563], Erişim Tarihi 05.05.2011

- Buğutekin, A. 2007. Atıklardan Biyogaz Üretiminin İncelenmesi. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 157 syf, İstanbul.
- Eryaşar, A. 2007. Kırsal Kesime Yönelik Bir Biyogaz Sisteminin Tasarımı, Kurulumu, Testi ve Performansına Etki Eden Parametrelerinin Araştırılması. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Güneş Enerjisi Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 302 syf. İzmir.
- Eryaşar, A. Koçar, G. 2009. Biyogaz Üretiminde Basıncın Etkisi. **Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi**, 181-186 syf, Denizli.
- Ersoy, Y. 2007. İzmir Evsel Çöpünden Biyometan Şeklinde Enerji Geri Kazanılabilirliği. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Bilimleri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 98 syf, İzmir.
- Entürk, E. Yetilmezsoy, K. ve Öztürk, M. 2006 Gübre Atıklarının Arıtılmasında Sabit Kubbeli Çin Tipi Biyogaz Reaktörü Tasarımı, Bir Örnek Uygulama. **Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi**, 2006/3, 119-127 syf, İstanbul.
- GEKA, 2014. Hayvansal Atıklardan Temiz Enerjiye Aydın Atlası. Güney Ege Kalkınma Ajansı, 78 syf, Aydın.
- Güç, A. 2010. Büyükbaş Hayvan Atığından Biyogaz Üretimi ve Uşak İli İçin Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Güneş Enerjisi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 80 syf, İzmir.
- Gül, N. 2006. Tavuk Gübresinden Biyogaz Üretim Potansiyelinin Araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 69 syf, Isparta.
- Deviren, H. İlkılıç, C. Aydın, S. 2017 Biyogaz Üretiminde Kullanılabilen Materyaller ve Biyogazın Kullanım Alanları. **Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi**, Cilt 7 Sayı 2/2 Batman.

İTEP, 2010. İleri Teknoloji Projeleri (İTEP) Destekleme Programı Raporu. Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı.

Lübken, M. Wicherna, M. Schlattmann, M. 2007. Modelling The Energy Balance Of An Anaerobic Digester Fed With Cattle Manure and Renewable Energy Crops. Institute of Water Quality Control Science Direct, Water Research 4. Germany.

Koçer Nacar, N. Ömer, C. Ve Sugözü, İ. 2006. Türkiye’de Hayvancılık Potansiyeli ve Biyogaz Üretimi. Fırat Üniversitesi, Doğu Anadolu Araştırmaları Merkezi, **Doğu Anadolu Araştırmaları**, 17-20 syf, Elazığ.

Selimoğlu, G. 2008. Büyükbaş Hayvan Dışkısından Biyogaz Üretimi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 133 syf, Ankara.

Sözer, S. Yaldız, O. 2006. Sığır Gübresi ve Peynir Altı Suyu Karışımlarından Biyogaz Üretimi Üzerine Bir Araştırma. **Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi**, 179-183 syf, Antalya.

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

Öztuncay, M.K. 2009. Türkiye’de Biyogaz Enerjisinin Kullanılabilirliği ve Ekonomikliği. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 98 syf, İstanbul.

Öztürk, M. 2005. Hayvan Gübresinden Biyogaz Üretimi. Çevre ve Orman Bakanlığı, 53 syf. Ankara.

TÜİK, 2013. Seçilmiş Göstergelerle Aydın. Türkiye İstatistik Kurumu, Ankara.

TÜİK, 2017. Türkiye İstatistik Kurumu, Ankara.

[<http://www.tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=istgosterge>], Erişim Tarih: 28.12.2017

Yokuş, İ. 2011. Sivas İlindeki Hayvansal Atıkların Biyogaz Potansiyeli. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 148 syf, Ankara.

Yiğit, N. 2007. Peyniraltı Suyundan Sürekli Sistemde Biyogaz Üretimi İçin En Uygun Koşulların Belirlenmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 133 syf, Ankara.

Wilkie, A.C. 2007. Digesters for Biogas Production. Web sitesi. [<http://biogas.ifas.ufl.edu/digesters.asp>], Erişim Tarihi: 15.06.2016



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Berker ÖZTÜRK
Doğum Yeri ve Tarihi : Mersin 15.05.1986

EĞİTİM DURUMU

Lisans Öğrenimi : Ege Üniversitesi, Ziraat Mühendisliği, Tarım Makinaları
Yüksek Lisans Öğrenimi : Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Ana Bilim Dalı
Yabancı Dilleri : İngilizce

İLETİŞİM

E-Posta Adresi : berkerozturk86@gmail.com
Tarih : 08.02.2019