



**ORGANİK ATIKLARIN KULLANILDIĞI 1000 BAŞLIK
BİR BİYOGAZ TESİSİNİN PROJELENDİRİLEREK
İMALAT VE ÜRETİM MALİYET ANALİZLERİNİN
BELİRLENMESİ**

Ayşe Özge SAVAŞ



T.C.

BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ORGANİK ATIKLARIN KULLANILDIĞI 1000 BAŞLIK BİR BİYOGAZ
TESİSİNİN PROJELENDİRİLEREK İMALAT VE ÜRETİM MALİYET
ANALİZLERİNİN BELİRLENMESİ**

Ayşe Özge SAVAŞ

Prof. Dr. Kamil ALİBAŞ
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2018

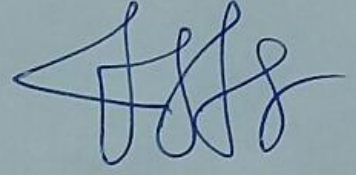
Her hakkı saklıdır

TEZ ONAYI

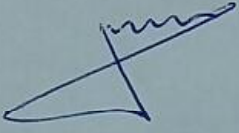
Ayşe Özge SAVAŞ tarafından hazırlanan “Organik Atıkların Kullanıldığı 1000 Başlık Bir Biyogaz Tesisinin Projelendirilerek İmalat ve Üretim Maliyet Analizlerinin Belirlenmesi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Kamil Alibaş

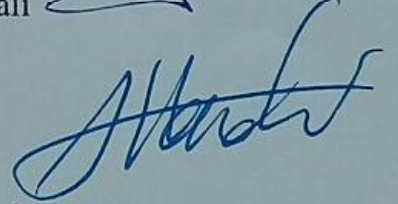
Başkan: Prof. Dr. Kamil Alibaş
Uludağ Üniversitesi
Ziraat Fakültesi
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı



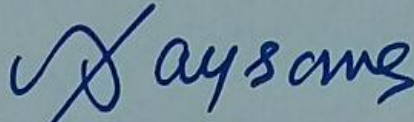
Üye: Prof. Dr. Bülent Eker
Namık Kemal Üniversitesi
Ziraat Fakültesi
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı



Üye: Prof. Dr. Ali Vardar
Uludağ Üniversitesi
Ziraat Fakültesi
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı



Yukarıdaki sonucu onaylarım.



Prof. Dr. Ali BAYRAM

Enstitü Müdürü

24./07/2018

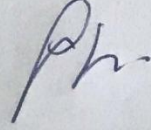
U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

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

beyan ederim.

05/07/2018

Ayşe Özge SAVAŞ



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ORGANİK ATIKLARIN KULLANILDIĞI 1000 BAŞLIK BİR BİYOGAZ TESİSİNİN PROJELENDİRİLEREK İMALAT VE ÜRETİM MALİYET ANALİZLERİNİN BELİRLENMESİ

Ayşe Özge SAVAŞ

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Kamil ALİBAŞ

Sanayi atıkları, hayvansal atıklar ve tarım kaynaklı atıklardan elde edilen biyogaz ile biyoenerjinin kullanımı hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde yaygınlaşmaktadır. Yapılan çalışmada; biyogaz hakkında genel bilgiler verilmiş olup, bu bilgiler ışığında 1000 büyük baş hayvan kapasitesine sahip bir tarım işletmesinin atıkları ile kurulacak biyogaz tesisi için tasarımsal ve mali hesaplamalar yapılmıştır.

Tesiste oluşacak hayvansal atık miktarı 8.030 ton/yıl olacağı öngörülerek, atık kombinasyonuna eklenecek su miktarı, ön dengeleme havuzu hacim ve boyutları, reaktör hacim ve boyutları, gübre depolama havuzu hacim ve boyutları hesaplanmıştır. Bekletme süresi, ekonomik analizler ve önceki çalışmalar referans alınarak seçilmiştir. Biyogaz tesisinin işlem akışı hakkında bilgi verilmiştir.

Kurulacak olan 125 kW elektrik üretim kapasitesindeki tesis için tüm gelir ve gider kalemleri dikkate alınarak maliyet analizleri yapılmıştır. Bu analizler sonucunda, tesise yapılan yatırımın geri dönüş süresi 4 yıl, tesisin amortisman süresinden sonra elde edeceği yıllık gelir 105.753,00 €olarak hesaplanmıştır. Tesisin çalışma süresi minimum 20 yıl olarak öngörülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Organik atık, biyogaz, metan, anaerobik çürüme, hayvansal atık
2018, vii + 72 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

DEFINING OPERATING AND PRODUCTION COSTS BY DESIGNING PROJECT
OF A 1000 CATTLE CAPACITY BIOGAS FACILITY WHICH USES ORGANIC
WASTES

Ayşe Özge SAVAŞ

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Biosystems Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Kamil ALIBAŞ

Biogas and bioenergy which obtained from industrial wastes, animal manure, and agricultural wastes are becoming widespread in both developed and developing countries. In this study, general information about biogas has been given. Base on this information, design and financial calculations have been made for a biogas plant that is going to be feed by a farm which has 1000 cattle capacity.

The amount of animal waste has been estimated at 8.030 tons per year. The amount of water to be added to the manure combination, the volume, and dimensions of the pre-equilibrium pool, reactor, manure storage pool has been calculated considering the estimation. Detention period has been selected by considering economic analyzes and previous studies. Information has been given about flow chart of the biogas plant.

Cost analyzes have been made by considering all income and expense items of the biogas plant which has 125 kW electricity production capacity. As a result of these analyzes, biogas plant's redemption period has been calculated as 4 years. Biogas plant's annual income after the redemption period has been calculated as 105.753,00 € Running time predicted as at least 20 years.

Keywords: Organic waste, biogas, methane, anaerobic digestion, animal waste
2018, vii + 72 pages.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalıŐmasının baŐından sonuna kadar her konuda bilgi ve birikimini benimle paylaŐan, bana yol gÖsteren değerli danışman hocam Sn. Prof. Dr. Kamil Alibaş'a, yŐksek Lisans eğitimim boyunca, bilgi ve deneyimlerini yansıtan, her konuda yardımcı olan Uludağ Üniversitesi Biyosistem Mühendisliği Bölümünün tüm öğretim üyeleri ve personeline, hayatımın her safhasında, her türlü zorlukta tereddütsüz yanımda olan ve bana tüm desteklerini sunan canım anne ve babama, neŐesiyle her daim beni mutlu eden Simay ve Elvinsu'ya, sonsuz saygı ve sevgilerimle teŐekkürlerimi sunarım.

05/07/2018

Ayşe Özge SAVAŞ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER	4
2.1. Biyogazın Tanımı ve Üretim Döngüsü	4
2.2. Biyogaz Üretiminin Tarihçesi	7
2.3. Biyogaz Enerjisinin Kullanım Alanları	7
2.4. Biyogaz Üretiminin Faydaları	9
2.5. Biyogaz Üretiminde Kullanılabilecek Hammaddeler	10
2.5.1. Hayvansal atıklar	11
2.5.2. Bitkisel atıklar	13
2.5.3. Organik içerikli kentsel ve endüstriyel atıklar	14
2.6. Biyogazın Genel Durumu	17
2.6.1. Biyogazın dünyadaki durumu	17
2.6.2. Biyogazın Türkiye'deki durumu	19
2.7. Anaerobik Fermantasyon ve Biyogaz	20
2.7.1. Hidroliz	22
2.7.2. Asidojeniz (Uçucu yağ asitlerinin oluşumu)	23
2.7.3. Asetojenez (Asetat oluşumu)	24
2.7.4. Metanojeniz ve metan Bakterileri (Metanojenler)	25
2.8. Biyogaz Üretimini Etkileyen Unsurlar	28
2.8.1. Sıcaklık	29
2.8.2. Hidrolik bekleme süresi	31
2.8.3. Organik yükleme hızı	32
2.8.4. Karbon/Azot oranı	33
2.8.5. PH değeri	35
2.8.6. Toksinler	36
2.8.7. Karıştırma	36
2.8.7.1. Pasif karıştırma sistemleri	38
2.8.7.2. Aktif karıştırma sistemleri	38
2.9. Biyogaz Tesisleri	39
2.9.1. Kapasiteye göre biyogaz tesisleri	39
2.9.2. Besleme tipine göre biyogaz tesisleri	39
2.9.2.1. Kesikli (Batch) fermantasyon	39
2.9.2.2. Kesikli beslemeli fermantasyon	39
2.9.2.3. Sürekli fermantasyon	40
2.9.3. Biyogaz üretiminde kullanılan anaerobik reaktörler	40
3. MATERYAL VE YÖNTEM	42
3.1. Biyogaz Tesisi Tasarımında Dikkat Edilmesi Gereken Unsurlar	42
3.2. Biyogaz Tesisinin Üniteleri	43
3.3. Bekletme Süresinin Seçimi	44
3.4. Reaktör Seçimi ve Boyutlandırılması	45

3.5. Biyogaz Reaktörünün Isıtma İhtiyacı ve Isı Kayıpları	46
3.6. Tesis Maliyet Hesaplamaları	48
3.6.1. Elektrik geliri.....	48
3.6.2. Gübre geliri.....	49
3.6.3. Isı geliri	49
3.6.4. Karbon geliri.....	49
3.7. Biyogaz Tesisinin İşlem Akışı.....	50
4. BULGULAR	52
4.1. Tesis Tasarımı ve Hesaplamalar	52
4.1.1. Toplam atık miktarının hesaplanması.....	52
4.1.2. Ön dengeleme havuzunun boyutlandırılması	53
4.1.3. Reaktör katı ve uçucu katı madde yüklemesi, reaktör hacmi hesaplanması	55
4.1.4. Sıvı gübre depolama havuzu boyutları.....	57
4.2. Tesis Çıktıları Ve Gelir Hesaplamaları.....	57
4.2.1. Biyogaz üretimi	58
4.2.2. Elektrik üretimi ve elektrik geliri	59
4.2.3. Gübre üretimi.....	60
4.2.4. Isı üretimi	61
4.2.5. Karbon emisyonu	61
4.3. Tesis Giderleri	62
4.4. Tesis Maliyet Analizi	63
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	65
KAYNAKLAR.....	67
EKLER.....	70
EK 1	71
ÖZGEÇMİŞ	72

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
CH ₄	Metan Gazı
CO ₂	Karbondioksit Gazı
H ₂ O	Su Buharı
N ₂	Azot Gazı
H ₂	Hidrojen Gazı
NH ₃	Amonyak
O ₂	Oksijen Gazı
H ₂ S	Hidrojen Sülfür Gazı

Kısaltmalar	Açıklama
Tük	Türkiye İstatistik Kurumu
Hbs	Hidrolik Bekleme Süresi
Uk	Uçucu Katı Madde
Oyh	Organik Yükleme Hızı
Okm	Organik Kuru Madde
Km	Kuru Madde
Vd	Reaktör Hacmi
Sd	Beslenen Hammadde Miktarı
Rt	Bekleme Süresi
Bbh	Büyük Baş Hayvan
Kg	Kilogram
Kwh	Kilowattsaat
L	Litre
M ₃	Metreküp
mL	Mililitre
mm	Milimetre

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Biyogaz döngüsünün mikrobiyolojik safhaları.....	6
Şekil 2.2. Biyogazın kullanım alanları şeması	9
Şekil 2.3. Biyogaz üretim sisteminde hammadde ve enerji akışları diyagramı	11
Şekil 2.4. Avrupa Birliği ülkelerinde biyogaz tesisi.....	18
Şekil 2.5. Biyogaz üretiminin aşamaları	21
Şekil 2.6. Metanojenler ile sülfat indirgeyen bakterilerin H ₂ S ile CH ₄ üretimi	25
Şekil 2.7. Biyogaz üretimini etkileyen parametreler	29
Şekil 2.8. Sıcaklığa göre metan bakterin bekleme sürelerindeki değişim	31
Şekil 2.9. Mekanik karıştırma sistemlerine örnekler	38
Şekil 3.1. Biyogaz reaktörünün ısıl akışı	47
Şekil 3.2. Biyogaz tesisi işlem akış şeması	51



ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Biyogaz kompozisyonu	4
Çizelge 2.2. 1 m ³ biyogazın ısı eş değerleri	5
Çizelge 2.3. Biyogaz ve diğer yanıcı gazların özellikleri	5
Çizelge 2.4. Hayvan türlerine bağlı atık spesyaliteleri ve biyogaz verimlilikleri	13
Çizelge 2.5. Madde bazında biyogaz üretim miktarları	15
Çizelge 2.6. Hammadde cinslerine göre, kuru madde konsantrasyonu değerleri	15
Çizelge 2.7. Almanya'da mevcut durum ve 2020 hedefi	18
Çizelge 2.8. Gelişmekte olan ülkelerde biyogaz tesisi sayıları	19
Çizelge 2.9. Bazı metanojenik bakteri türleri ve kullandıkları substratlar.....	27
Çizelge 2.10. Biyokimyasal reaksiyonlar için belirli sıcaklık aralıkları	30
Çizelge 2.11. Mezofilikçalışan reaktörler için optimum yükleme hızı.....	33
Çizelge 2.12. Bazı organik atıkların C/N oranı	35
Çizelge 3.1. Büyükbaş hayvan atıklarının reaksiyondaki faydaları ve maliyetleri	48
Çizelge 4.1. Ön dengeleme havuzu boyutları.....	55
Çizelge 4.2. Biyogaz reaktörünün boyutları.....	56
Çizelge 4.3. Fermente gübre depolama havuzu boyutları.....	57
Çizelge 4.4. Birim döviz bedelleri.....	58
Çizelge 4.5. Biyogaz tesisi çıktıları ve gelir kalemleri	62
Çizelge 4.6. Biyogaz tesisi yıllık gider tablosu	63
Çizelge 4.7. Biyogaz tesisi fizibilite şablonu	64

1. GİRİŞ

Dünyadaki nüfusun fazlalaşması sonucunda enerji ihtiyacı her geçen gün yükselmektedir. Fosil kaynaklı yakıtların hızla yok olduğu ve küresel ısınmanın ciddi tehlike arz ettiği günümüzde, sürdürülebilir enerji talebinin önemi kabul edilebilir bir gerçektir. Bilhassa sera gazından kaynaklanan emisyonların sebep olduğu bu sorunun doğru yöntemler ile engellenmesi ve oluşan emisyonların enerji olarak değerlendirilmesi sürdürülebilir bir gelecek adına önem taşımaktadır (Anonim 2017).

Hayvanlardan kaynaklı katı atıklardan, tarımsal alanlar için gübre olarak ya da ısınma kaynaklı kurutulup yakılarak tarih boyunca yararlanılmıştır. Kanatlı hayvan sektörü, tüm gelişmiş ülkelerde olduğu gibi, Türkiye’de de son yıllarda hızla artmıştır. 1960’lı ve 1970’li yıllarda yapılan köklü değişikliklerden sonra geleneksel tavukçuluk işletmelerinin yerini entegre yapıya sahip tavukçuluk işletmeleri almıştır, bu durum büyükbaş hayvan işletmelerinde de aynı oranda görülmektedir. Son yıllarda çiftlik sayı ve kapasitelerindeki artış nedeniyle hayvansal kaynaklı atıkların yönetimi zorlaşmıştır, gübreye bağlı çevresel sorunlar gündeme gelmiştir. Hayvansal atıktan kaynaklı problemler, sanayi işletmelerinden oluşan atıklara bağlı sorunlar kadar zararlı olabilmektedir. Bilhassa yüzey sularının ortam drenajı, tarım işletmelerinden dönen sular ve hayvan atıklarının depolandığı araziler su kirliliğinin temel sebepleri olarak görülmektedir.

Fosil enerji kaynaklarındaki azalmanın beraberinde, gelecekteki enerji yönetiminin sağlanması ve oluşabilecek enerji krizlerinin önlenmesi için hayvansal ve diğer organik atıklardan kaynaklanan çevre sorunları beraber değerlendirilmesinin gelecek için avantajlı olduğu öngörülmektedir. Hayvan gübreleri için çevreye yararlı bir atık yönetim şekli olan biyogaz tesisleri ile atık bertarafına ek olarak oluşan yan ürünlerden de fayda sağlamak mümkün olmaktadır (Camcı ve ark. 2013).

Bitkisel veya hayvansal kaynaklı olan organik madde içeriği yüksek atıklardan yararlanılması, çevresel olarak büyük öneme sahiptir. Bu nedenle, gelişmekte olan ülkeler başta olmak üzere en yaygın enerji kaynaklarından birisi biyokütledir.

Dünyadaki enerji tüketiminin yaklaşık olarak %15'i biyokütleden sağlanırken bu oran gelişmekte olan bölgelerde enerji tüketiminin yaklaşık %43'ü olarak görülmektedir (Başçetinçelik ve ark 2007).

Biyogaz temel olarak, organik madde oranı yüksek gazlardan oluşturmakla beraber hayvan gübresi başta olmak üzere, organik atıklardan ve daha farklı birçok kaynaktan da elde edilebilmektedir. Hayvanlardan oluşan atıkların sahip olduğu organik maddeler nedeniyle ve çevrede atıl olarak bulunmalarından dolayı, biyogaz enerjisi elde etme potansiyeli yüksektir. Hayvan gübresinin içeriğindeki metan, organik maddenin anaerobik fermantasyonu sonucunda ortaya çıkar (Safley ve ark. 1992). Hem geviş getiren hayvanların (sığır, koyun, keçi) hem kanatlı hayvanların (tavuk, hindi, kaz, ördek) ve de geviş getirmeyen diğer hayvanların (at, eşek, katır) atıkları ile metan üretilir. Oluşan metanın özellikleri ve miktarı; atığı kullanılan hayvanın cinsine, yaşına, ağırlığına, beslenme kalitesi ve miktarına ve hayvanın harcadığı enerji gibi birçok parametreye bağlı olarak değişir (Anonim 1996).

Hayvan atıklarından kaynaklanan çevre problemleri ve Türkiye hayvancılık işletmelerinin gelişmesi ile artan çiftlik kapasiteleri dikkate alındığında projenin fizibilite çalışmaları için 1000 başlık bir büyük baş hayvan tesisi seçilmiştir. Bu kapsamda, seçilen pilot hayvan çiftliğinde oluşan atıkların biyogaz süreçleri için fizibilite çalışmaları yapılmıştır.

Türkiye'de tarım ve hayvancılığın gelişmesine bağlı olarak, artan tesis sayısı ve kapasitelerinden ötürü oluşan çevresel sorunlar için, bu çalışma kapsamında ekonomik ve uygulanabilir çözüm alternatifi üretilmesi hedeflenmiştir.

Sonuç olarak, hayvan gübresinin potansiyel bir enerji kaynağı şeklinde görülmesi, bu atıkların sebep olduğu çevre sağlığı problemlerinin başarılı planlama, uygulama ve işletme yöntemi ile çözülebileceği, çevre sağlığı sorunlarının bertarafı yanında önemli ölçüde enerji ve kompost/toprak şartlandırıcısı üretilabileceği gösterilmiştir. Bu uygulamalar ile tesislerin ilk yatırım giderlerinin makul süreler sonunda geri

döndürülebileceği ve bu aşamadan sonra tesisin karlı duruma gelebileceği vurgulanmıştır.

Bu çalışmada, biyogaz tesisi tasarımı projelendirilmiş, söz konusu tesislerin maliyet analizleri gerçekleştirilmiş, verimliliğinin, enerji üretim potansiyelinin, sistem iş başarısı, ekonomik unsurlar ve gerekli kıstaslar ortaya konmuştur.

Yöntem olarak ise biyogazın kullanıldığı verimlilik ile ilgili matematiksel eşitlikleri, enerji üretim potansiyeli ile ilgili matematiksel denklemler, sistem iş başarısı modelleri ve maliyet analiz yöntemleri kullanılmıştır. TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu) hayvan sayıları verileri ile çeşitli kaynaklardan alınan çiftlik hayvan gübrelerinin özellikleri, biyogazın ana bileşeni olan metan gazının verimliliği, biyogazın elektrik ve ısı üretim potansiyeli verimlilikleri gibi veriler kullanılarak tesis temelli biyogaz enerjisi potansiyeli hesaplanmıştır.

Çalışma kapsamında özellikle Avrupa Birliği'ndeki atık bertaraf tesisleri konusundaki uygulamalar dikkate alınmış olup, sabit tüketim bedeli, elektrik alım bedeli ve giderler gibi hesaplamalar Türkiye koşullarına göre uyarlanmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Biyogazın Tanımı ve Üretim Döngüsü

Biyogaz, organik atıklardan değerlendirilebilir gaz üretilmesi olarak en temel şekilde tanımlanmaktadır. Bir başka deyişle, biyokütlenin anaerobik şartlarda biyokimyasal reaksiyon ve mikrobiyolojik aktiviteler sonucunda çürümesiyle ortaya çıkan yanıcı bir gaz karışımıdır. Biyogazın diğer yanıcı gazlardan farklı olarak hayvansal atıklar ve bitkisel atıklar olmak üzere, sadece organik yapıdaki maddelerin anaerobik çürüme ile oksijensiz ortamda işlenmesi ile elde edilebilmektedir.

Biyogaz içeriğindeki gaz bileşim kompozisyonu hacimsel yüzde olarak ortalama; % 60-70 metan gazı (CH₄), % 30-40 karbondioksit gazı (CO₂), %0-10 su buharı (H₂O), % 0,1-2 azot gazı (N₂), %0-1 hidrojen gazı (H₂), %0-0,5 amonyak (NH₃), % 0,01-0,5 oksijen gazı (O₂) ve 20-4000 ppm hidrojen sülfür gazı (H₂S) oranlarındadır. Belirtilen değerler Çizelge 2.1.'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Biyogaz kompozisyonu (Çallı 2012)

	Miktar (%)
Metan(CH ₄)	60 - 70
Karbondioksit(CO ₂),	30 - 40
Su Buharı (H ₂ O)	0 - 10
Oksijen (O ₂)	0 - 0,5
Hidrojen(H ₂)	0 - 1
Amonyak (NH ₃)	0 - 0,5
Azot(N ₂)	0 - 2
Hidrojen sülfür(H ₂ S)	20 - 4000 ppm
Isıl Değer(kWh/Nm ³)	6.5

Yanıcı olan biyogaz karışımı, yüksek ısıl değere sahip bir enerji kaynağıdır. İçerdiği metan gazı, bu gazın ısıl değerini oluşturan ana maddedir. Metan, birçok kullanım için üstün özelliklere sahip bir yakıt türüdür. 1 m³ biyogazın sağladığı ısı miktarı 19 678 –

23 865 kjoule (4700 - 5700 kcal)'dir. 1 m³ biyogazın ısıl eş değerleri Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.2. 1 m³ biyogazın ısıl eş değerleri (Arslan ve Gülen 2005)

1 m ³ Biyogaz	=	0,62 lt Gaz yağı
		1,46 kg Kömür
		3,47 kg Odun
		0,43 kg Bütan gazı
		12,3 kg Tezek
		5,7 kWh Elektrik
		1,18 m ³ Hava gazı

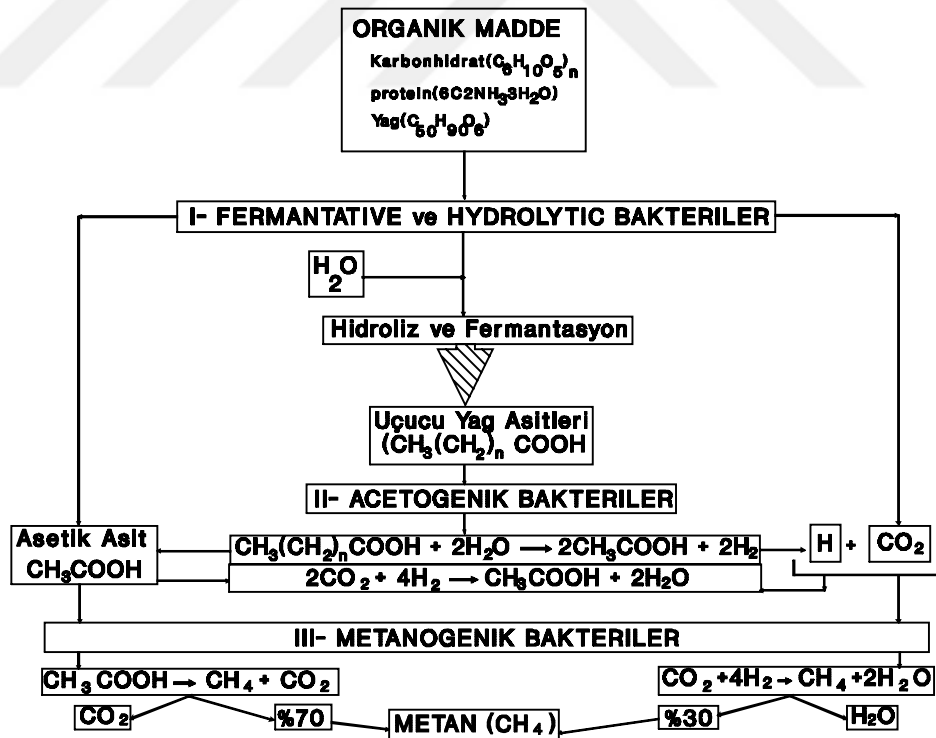
Biyogaz; kokusu olmayan, renksiz, havadan daha hafif ve mavi renkli parlak alevle yanan bir gaz birleşimidir. Biyogaz, yerüstünde atmosferik basınçta (-164⁰C) düşük sıcaklıkta sıvılaştırılabilir. Bu gazın düzenli olarak sıkıştırılmasıyla yoğuşturulması mümkün olabilir. Eğer bu şekilde sıvılaştırmak istenirse, ortam basıncı 1200 barın üzerine çıkartılmalıdır ki bu yol pratik açıdan mümkün değildir (Avcı ve ark. 1995). Önceki çalışmalarda biyogaz kombinasyonu, ortamın sıcaklığı, gazın su içeriği, hammaddenin cinsi gibi farklı faktörlerde değişiklik gösterdiği ortaya çıkmıştır. Biyogaz, doğal gazın yerini tutabilecek bir enerji kaynağını oluşturmaktadır. Bu bağlamda, uygulamada temizlenmiş biyogazdan; LPG ya da doğal gaz ile çalışan tüm aletlerde (gerekli değişimler sonucunda) yararlanılabilir. Çizelge 2.3'te biyogaz ve diğer gazların özellikleri verilmiş olup, değerlerinin benzer özellikte olduğu görülmektedir (Koçer 2014).

Çizelge 2.3. Biyogaz ve diğer yanıcı gazların özellikleri (Koca 2007)

Yakıt	Isıl değeri (kJ/kg)	Yoğunluk	Hava-yakıt oranı (kg/kg)	Ateşleme sıcaklığı (°C)
Metan	50000	0,72 kg/ Nm ³	17,2	650
Propan	46300	2,02 kg/ Nm ³	15,6	470
Bütan	45600	2,70 kg/ Nm ³	15,6	365
Benzin	43000	0,75 kg/ l	14,8	220
LPG	46000	0,54 kg/ l	15,5	400
Motorin	42500	0,85 kg/ l	14,5	220
Doğal Gaz	57500	0,83 kg/ Nm ³	17,0	600
Biyogaz (%60 CH ₄ , %40 CO ₂)	18000	1,2 kg/ Nm ³	10,2	650

Biyogaz üretimi, farklı rollere sahip mikroorganizmaların bulunduğu karmaşık yapıdaki biyokimyasal bir dögüdür. Bu süreçteki bakterileri gruplandırdığımızda, esas görevi üstlenen iki ana bakteri (asit bakterileri ve metan bakterileri) olarak ayırmak uygun olacaktır (Demir 1993).

Biyogaz üretiminde yer alan karmaşık yapıdaki organik hammaddelerin havasız ortamda çürümesi; hidroliz safhası, asit üretimi safhası ve metan üretimi olarak üç fazlı bir süreç olarak incelenmektedir. Şekil 2.1’de gösterildiği gibi, ilk fazda yüksek moleköl ağırlıklı katı ve çözülmüş organik hammaddeler; bakterilerin hücre dışı enzimleriyle fermantasyona uğrayarak daha düşük moleköl ağırlıklı organik maddelere dönüşmektedir. Asit üretim aşamasında, düşük moleköl ağırlıklı organik maddelerin asit bakterilerince muhtelif uçucu yağ asitleri ve ardından da asetik asitte dönüşmektedir. Son safhada, asit üretimi aşamasında üretilen asetik asit parçalanmasıyla veya CO₂ ve H₂ senteziyle beraber metan oluşumu gerçekleşmektedir (Kossmann 1999).



Şekil 2.1. Biyogaz dögüsünün mikrobiyolojik safhaları (Alibaş 2004)

2.2. Biyogaz Üretiminin Tarihçesi

Biyogazın 1682 yılında keşfinin bilinmesiyle, sistemli araştırmaları Alessandro Volta'nın gerçekleştirdiği ve 1770 yılında bataklıklarda biyogazı keşfettiği bilinmektedir. 18. yüzyılın sonlarında, John Dalton, Sir Humphry Davy ve William Henry'nin büyük baş atıklarından fermantasyon ile metan üretimini hayata geçirdikleri söylenmektedir. 19. yüzyılın sonlarında, Bechamp ve Popoff metan gazı oluşumuna bakterilerin neden olduğunu keşfetmişlerdir. İlk modern biyogaz tesisi, 1859 yılında Hindistan'ın Bombay şehrinde kurulmuştur. 1895'te atık su arıtımı yapan bir tankta oluşan biyogazın biriktirilerek İngiltere'deki Exeter şehrinde sokak lambalarında kullanımı biyogazın ilk ticari olarak kullanımı olmuştur (Acaroğlu 2003, Koçar ve ark 2010, Aydın 2012).

Mikrobiyolojideki gelişmeler, 1930'dan sonra anaerobik bakterilerin ve metan üretimini etkileyen koşulların tespitine yönelik çalışmaların artmasına sebep olmuştur. 20. yüzyılın başlarında biyogaz kullanımının yaygınlaşarak ülkelerin kendi ekonomik ve iklimsel yapılarına uygun biyogaz tesisi geliştirme ve yaygınlaştırma çabalarının olduğu görülmektedir. 1970'li yıllarda karşılaşılan petrol ve enerji krizi, yenilenebilir enerjiye (dolayısıyla biyogaza) olan merakı artırmıştır (Akkova 2008, Çallı 2012).

2.3. Biyogaz Enerjisinin Kullanım Alanları

Biyogazın esas itibarıyla günlük hayatta çok sayıda kullanımı incelenebilir. Proses sonucunda çıkan yan ürünleri ve biyogazın kullanım alanlarını 8 maddede sıralarsak,

- Isı ve buhar üretilmesi
- Elektrik üretilmesi
- Gaz türbinleri + jeneratörler
- Kojenerasyon
- Yakıt pilleri
- Araç yakıtları
- Doğalgaz hattının beslenmesi

- Kimyasal madde üretimi
- Atık olarak kullanımı üretimi şeklinde olacaktır (Çallı 2012).

Biyogaz, içeriğindeki yanıcı özellikteki metan (CH_4) sayesinde, ısıl ihtiyaçların giderilmesinin yanı sıra elektrik enerjisine dönüştürülerek veya karışım içerisindeki CO_2 miktarı kimyasal olarak tutulup, metan oranı artırılarak içten yanmalı motorlarda yakıt olarak kullanılabilir. Üretilen biyogazın bir brülör vasıtasıyla biyogaz sobalarında, kombilerde, buhar kazanlarında veya sıcak su kazanlarında uygun şartlarda yakılmasıyla elde edilen ısı, konutlarda, hayvan barınaklarında, seralarda ve tesis bünyesinde ısıtma amacıyla kullanılabilir. Bu şekilde değerlendirilmesi en ucuz ve verimli yöntemdir.

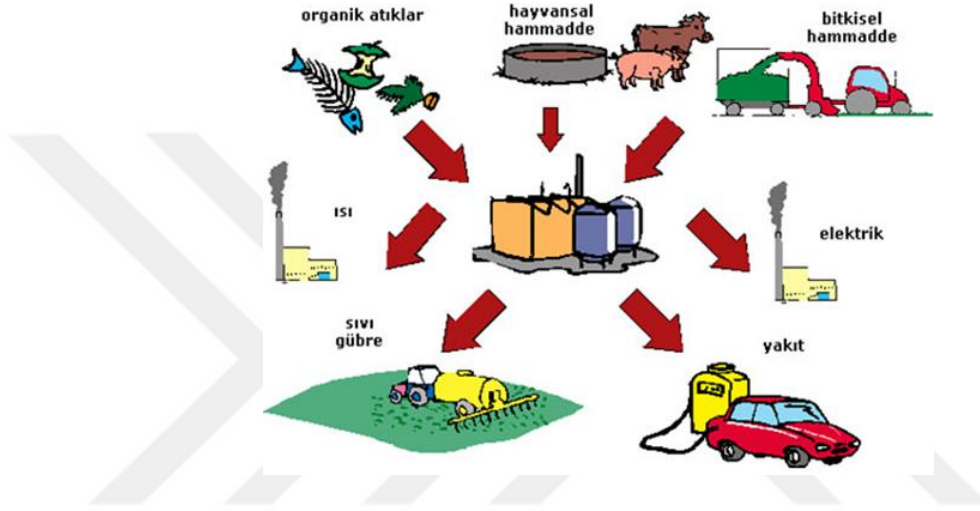
İçeriğindeki metan gazı oranı yükseltilerek, özellikle de yüksek sıkıştırma oranına sahip motorlarda gaz yakıt olarak biyogazın kullanılması mümkündür. Biyogazın taşıt üzerinde güvenli ve az yer kaplayarak depolanabilmesi için sıkıştırılması veya sıvılaştırılması gerekmektedir. Bunu alaşımlı çelik veya kompozit depolarla sağlamak mümkündür. Birçok Avrupa ülkesinde taşıtlarda, özellikle de toplu taşıma araçlarında biyogaz kullanımı uygulanmakta ve teşvik edilmektedir.

LPG veya doğalgaz ocaklarında, biyogazın uygun filtreleme işlemlerinden geçirilmesi ile kullanımı mümkündür. Böylelikle pişirme için gerekli ısı, elektrik enerjisi veya doğalgaz yakıtı kullanımı ile değil, biyogazdan sağlanmış enerji ile, giderlerinde önemli ölçüde azalma olacaktır.

Avrupa'da biyogaz tesislerindeki çıktılar, genellikle elektrik enerjisine çevrilerek şebekelere aktarılmaktadır. Termik çevrimlerde, mekanik enerjinin yalnız olarak elde edilmesi düşük verimlerde olmaktadır. Bu sebepten, açığa çıkan enerjiden maksimum fayda ile yararlanmak gerekir. Hem mekanik enerjinin elektrik enerjisine dönüşümünün sağlanması hem de oluşan ısıdan faydalanılması işlemlerine kojenerasyon adı verilmektedir. Biyogazın bu sistemlerde yakıt olarak kullanımı her geçen gün artmaktadır. %20–40 çevrim veriminde sadece elektrik enerjisi eldesi

sağlanırken, kojenerasyon yöntemiyle bu verim %65–85 oranlarına kadar yükselebilmektedir (Koçar 2006).

Biyogaz üretimi sonucu, elektrik enerjisine ek olarak sıvı fermente gübre oluşmaktadır. Ortaya çıkan bu yan ürün, tarımsal arazilerin sulanmasında direk kullanılabilirdiği gibi granül hale getirilebilir ya da bekletme havuzlarında kurutulabilir. Şekil 2.2’de biyogaz kullanım alanları şema halinde gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Biyogazın kullanım alanları şeması

2.4. Biyogaz Üretiminin Faydaları

Biyogaz, organik atıkların hem enerji üretmesine, hem de atıkların toprağa geri kazandırılması faydalarını sağlamaktadır. Bu gazın içerdiği metan, biyogazın ısı değerini oluşturmaktadır. Metan, karbondioksit göre 23 kat daha fazla sera etkisine neden olur.

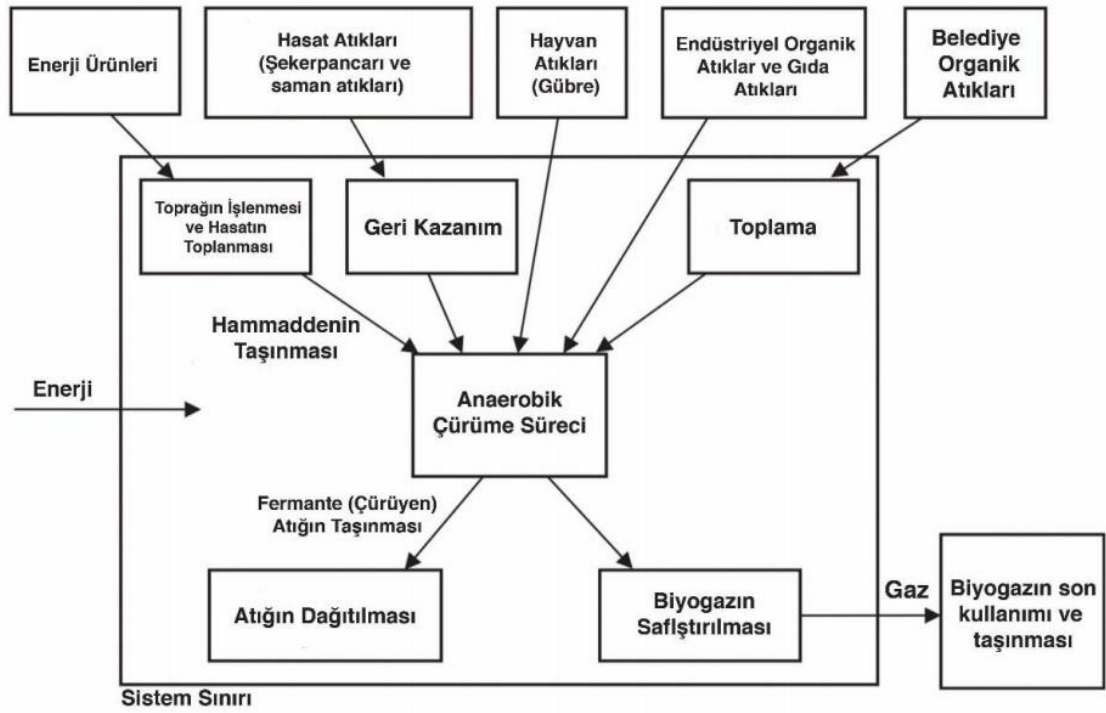
Biyogaz, kentleşmiş bölgeler dışında oldukça kolay sağlanan bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Bu bağlamda, diğer yenilenebilir enerjilerin sahip olduğu tüm avantajları sunmaktadır (Yürük 2015). Kapsamlı bir şekilde incelendiğinde, biyogazın üretilmesi ve kullanılması doğrultusundaki avantajlarını aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür:

- Biyogaz tesisinde üretilen elektrik ve ısı finansal fayda sağlar.

- Biyogaz tesisinden çıkan işlenmiş organik gübrenin içeriğinde bulunan patojen mikroorganizmaların büyük bir bölümü yok olmuştur. Ve işlenmiş gübre verimliliği yaklaşık %10 daha fazladır.
- Hayvan atıkları, içeriğindeki patojenlerden ötürü insanları hasta etmekte ve yer altı sularına karışmaktadır. Atıkların işlenmesiyle, hastalık etmenleri çoğunlukla yok olmaktadır ve yaşam alanları daha sağlıklı olmaktadır. Sinek/haşere üremelerini önlemektedir.
- Hayvansal gübrelerden kaynaklı oluşan koku problemleri, hissedilmeyecek seviyede azalmaktadır.
- Küresel ısınmanın esas kaynaklarından olan sera gazıdır ve en tehlikeli sera gazlarından biri olan metan gazı fermente edilerek CO₂'ye çevrilmektedir. Bu şekilde kontrolsüz sera gazı kullanımını engellenmektedir.
- Evsel katı atıklar, tarımsal atıklar, hal atıkları hayvan gübresiyle birlikte biyogaz üretiminde kullanılabilir ve biyogaz için kaynak oluşturmak oldukça ucuzdur.
- Ülkemizde enerjide dışa bağımlılık ve kimyasal gübreye olan bağımlılık azalmakta ve sürdürülebilir kalkınmaya katkı sağlamaktadır.
- Kırsal alanlara yapılan biyogaz yatırımları ile yeni istihdam alanları oluşturulabileceği gibi, doğalgazın ulaşmadığı alanlarda biyogazdan yararlanılarak kırsal nüfusun temel ihtiyaçları da buradan karşılanabilir (Çallı 2012).

2.5. Biyogaz Üretiminde Kullanılabilecek Hammaddeler

Organik içeriğe sahip, çürüeyebilen hammaddeler biyogaz tesislerinde kullanılmaktadır. Hayvansal ve bitkisel kaynaklı atıklar kullanılabildiği gibi, organik içeriğe sahip diğer endüstriyel ve şehirsal atıkların da biyogaz tesislerinde kullanılması mümkündür. Biyogaz üretim sisteminde hammadde ve enerji akışları diyagramı Şekil 2.3'te verilmiştir.



Şekil 2.3. Biyogaz üretim sisteminde hammadde ve enerji akışları diyagramı (Berglund ve Börjesson 2006)

Genel olarak biyogaz üretimi için kullanılabilen organik içerikli hammaddeler 3 ana başlık olarak incelenebilir.

2.5.1. Hayvansal atıklar

Hayvancılık sonucunda oluşan atık ve gübreler, biyogaz üretiminde önemli bir yere sahiptir. Sığır, manda, at ve domuz gübresi biyogaz üretimi proseslerinde büyükbaş hayvan gübresi olarak kabul edilmekte olup, koyun ve keçi gübreleri küçükbaş hayvan gübresi olarak nitelendirilmektedir. Büyükbaş ve küçükbaş hayvanların gübreleri ahır gübresi olarak da bilinmektedir. Bunun dışında, hayvansal ürünlerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan atıklar ve mezbahanelerde oluşan atıklar da hayvansal kaynaklı atık başlığı altında incelenmektedir (Halil ve ark. 2017).

Hayvan gübreleri biyogaz üretimi için önemli bir potansiyeldir, özellikle kırsal kesimlere ve büyük hayvancılık işletmelerine yakın bölgelerde bulunan tesisler için uygun bir hammadde kaynağı özelliği taşımaktadır.

Hayvanlar, yemdeki besin maddelerinin en fazla %45'inden yararlanabilmektedirler ve bitkideki besin maddelerinin yarısından fazlası dışkı yoluyla gübreye iletilir. Hayvanın beslenmesi metan verimliliğini, dolayısıyla biyogaz üretimini etkiler. Sığır beslenmesinde karbona dönüşebilen maddelerin çoğunluğu işkembe ve bağırsakta sindirilmektedir. Bu bağlamda; sığır gübresi, domuz ve kümes hayvanları gübresine göre biyogaz üretiminde daha düşük potansiyele sahiptir. Sığır gübresinden üretilen biyogazda metan (CH₄) konsantrasyonu daha düşüktür.

Hayvanların canlı kütlesine bağlı olarak üretilebilecek yaş gübre miktarları günlük ve yıllık olarak aşağıdaki gibi kabul edilir;

- Büyükbaş hayvan :Hayvan kütlesinin % 5 - 10'u kg_{yaş gübre/gün}
- Küçükbaş hayvan :Hayvan kütlesinin % 4 - 5'i kg_{yaş gübre/gün}
- Kanatlı hayvan :Hayvan kütlesinin % 3 - 4'ü kg_{yaş gübre/gün}

Bir diğer yaklaşımla;

- 1 adet büyükbaş hayvan 3,10 ton_{yaş gübre/yıl}
- 1 adet küçükbaş hayvan 0,7 ton_{yaş gübre/yıl}
- 1 adet kanatlı hayvanı 0,022 ton_{yaş gübre/yıl}

Bu değerlerden yola çıkarak hayvan türlerine göre üretilecek biyogaz miktarları aşağıdaki gibidir:

- 1 ton büyükbaş gübresi 33 m³/yıl biyogaz
- 1 ton kümes hayvanı gübresi 78 m³/yıl biyogaz
- 1 ton küçükbaş gübresi 58 m³/yıl biyogaz (Kaya ve Öztürk 2012)

Çizelge 2.4'te hayvan türlerine bağlı atık spesyaliteleri ve biyogaz verimlilikleri belirtilmiştir.

Çizelge 2.4. Hayvan türlerine bağlı atık spesiyaliteleri ve biyogaz verimlilikleri (Yokuş ve Avcıoğlu 2012)

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

2.5.2. Bitkisel atıklar

Bitkilerin işlenerek fayda sağlamayan kısımları (ince kıyılmış sap, saman, anız ve mısır artıkları, şeker pancarı yaprakları ve fındık çotanağı ve ya çimen artıkları) ve bitkisel ürünlerin işlenmesi sonucunda ortaya çıkan atıklar biyogaz üretimi için kullanılmaktadır (Anonim 2018a).

Bitkisel artıkların fazla olduğu bölgelerde, direk ve dolaylı yollarla elde edilebilecek olan atıklar biyogaz üretiminde önem arz etmektedir. Özellikle Almanya gibi birçok Avrupa ülkesinde, hayvancılık işletmesi oranlarında düşüş olmasına rağmen enerji ihtiyacı artmaktadır. Bu sebeple, hammadde olarak kullanmak amacıyla büyük işletmeli biyogaz tesislerinde genellikle; mısır silajı, macar fiği gibi enerji bitkileri yetiştirilmektedir.

Kırsal kesimlerde bitkisel artıklardan biyogaz eldesi kontrollü bir şekilde yönetilmelidir çünkü bitkisel atıklar ile beslenen biyogaz tesislerinde süreç kontrolü hayati önem taşımaktadır. Aksi takdirde, tesislere kalıcı zararlar verilmesi söz konusudur. Tarım işletmelerindeki silaj artıkları, budama atıkları gibi hasat artıkları da üretim için oldukça verimli hammaddelerdir ancak bu materyallerin dönemlik olarak bulunması, mevsimsel tedarik sorunlarına yol açmaktadır. Atık kompozisyonu planlanırken, atığın tedarik dönemleri de göz önünde bulundurulması gereken bir faktördür.

2.5.3. Organik içerikli kentsel ve endüstriyel atıklar

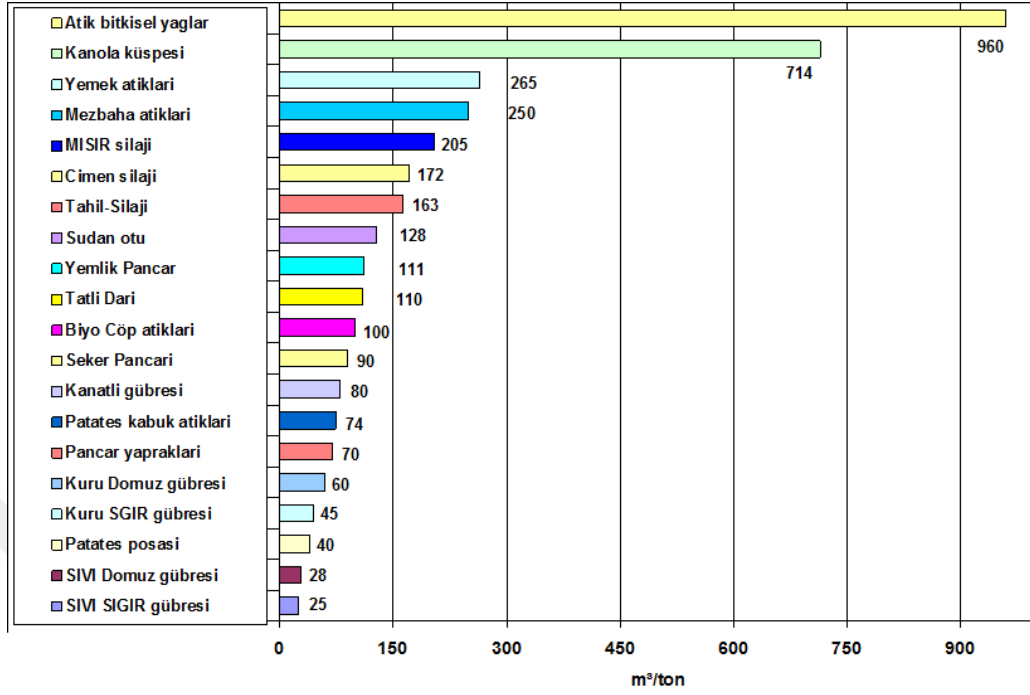
Biyogaz üretiminde şehirsal (kentsel) ve endüstriyel atıkların kullanılması uygundur. Şehirsal atıklara; evsel katı atıklar, yemek atıkları, kanalizasyon çamurları ve evsel atık sular örnek verilebilir. Endüstriyel atıklardan; kâğıt ve gıda sanayi atıkları, atık su arıtma tesis çamuru, içki endüstrisi atıkları, meyve ve sebze endüstrisi atıkları, şeker endüstrisi atıkları, süt ve süt ürünleri çözülmüş organik madde derişimi yüksek endüstriyel atık sular biyogaz üretiminde kullanılmaktadır (Tolay 2012). Bu atıklar bilhassa belediyeler ve büyük sanayi kuruluşlarının, gelişmiş teknolojilerden yararlanarak meydana getirilen biyogaz üretim merkezlerinde yararlanılan atıklardır.

Gıda sanayisinden oluşan atıklar, düşük ve yüksek düzeyde kuru madde içeriğine sahip geniş bir yelpaze sergileyerek; homojen yapıya sahiptirler. Üretim aşamaları yılın belirli dönemlerinde bulunanların yanında, aralıksız yararlanılabilecek olanlar da vardır. Gıda sanayi atıklarının en önemli avantajı zararlı maddeleri eser miktarda veya hiç içermemeleridir. Gaz üretim miktarı, hayvansal gübrelerden üretilenden daha yüksektir. Bu nedenle, tesisin ekonomik işletilmesinde katkı sağlamaktadır.

Evsel likit ve katı atıklar, homojen değildirler. Fiziksel özellikleri sabit olmadığı gibi kimyasal özellikleri de farklılık göstermektedir. Yıl boyunca içerikleri değişmektedir. Zararlı maddeleri içirme riskleri yüksektir. Ayrıca evsel sıvı atıklar, besin maddeleri açısından zengin yapıya sahip olduğu için fermantasyon materyalinin sıvılaştırılmasında kullanılabilir. Bunun yanı sıra atık su arıtma tesislerinde anaerobik fermantasyonla biyogaz eldesi, oldukça yaygın bir uygulamadır (Yaldız 2001).

Kullanılan hammaddeye göre, elde edilen biyogaz miktarları değişiklik göstermektedir. Bunun sebebi, hammaddeler içerisindeki biyolojik olarak çürüyebilirliğe sahip bileşiklerinin değişik oranlarda dağılmasıdır. Biyogaz üretiminde yaygın olarak kullanılan atık türleri ve bu atıklardan elde edilebilecek biyogaz miktarları Çizelge 2.5'te yer almaktadır. Hammadde cinslerine göre, kuru madde ve metan konsantrasyonu değerleri Çizelge 2.6'da listelenmiştir.

Çizelge 2.5. Madde bazında biyogaz üretim miktarları (Karakuz 2015)



Çizelge 2.6. Hammadde cinslerine göre, kuru madde konsantrasyonu değerleri

Hammadde Cinsi	Kuru Madde Oranı [%OKM]	Organik Kuru Madde Oranı [%KM]	Metan (CH ₄) Konsantrasyonu
Büyükbaş Hayvan Katı Gübresi	24%	82%	57%
Büyükbaş Hayvan Sıvı Gübresi	8%	80%	57%
Yumurta Tavuğu Gübresi	40%	70%	57%
Besi Tavuğu Gübresi	60%	80%	57%
Koyun Gübresi	30%	80%	55%
Saman	86%	91%	52%
Yeşil Çavdar	22%	90%	53%
Baklagiller	18%	89%	55%
Patates Posası	13%	97%	50%

Çizelge 2.6. Hammadde cinslerine göre, kuru madde konsantrasyonu değerleri (devam)

Patates Kabukları	11%	90%	53%
Aritma Çamuru	4%	50%	60%
Yonca	25%	90%	55%
Yem Atıkları	35%	87%	53%
Sebze Atıkları	15%	90%	53%
Tahıl Atıkları	85%	90%	53%
Atık Yağlar	10%	90%	60%
Peynir Altı Suyu	5%	87%	53%
Gliserin(Biyodizel Üretiminden)	88%	90%	60%
Park-Bahçe Yeşillikleri	50%	85%	52%
Sebze ve Üzüm Posası	30%	86%	56%
Meyve Posası	22%	96%	53%
Zeytin Posası	25%	85%	53%
Zeytin Yıkama Suyu	5%	92%	53%
Süt	10%	95%	60%
Mısır Silajı	32%	95%	53%
Çimen Silajı	30%	90%	53%
Kanola Silajı	16%	80%	53%
Şekerpancarı-Parçaları	23%	92%	52%
Tahılgiller	87%	96%	53%
Şeker Darısı	22%	93%	53%
Şeker Pancarı Posası	19%	91%	53%

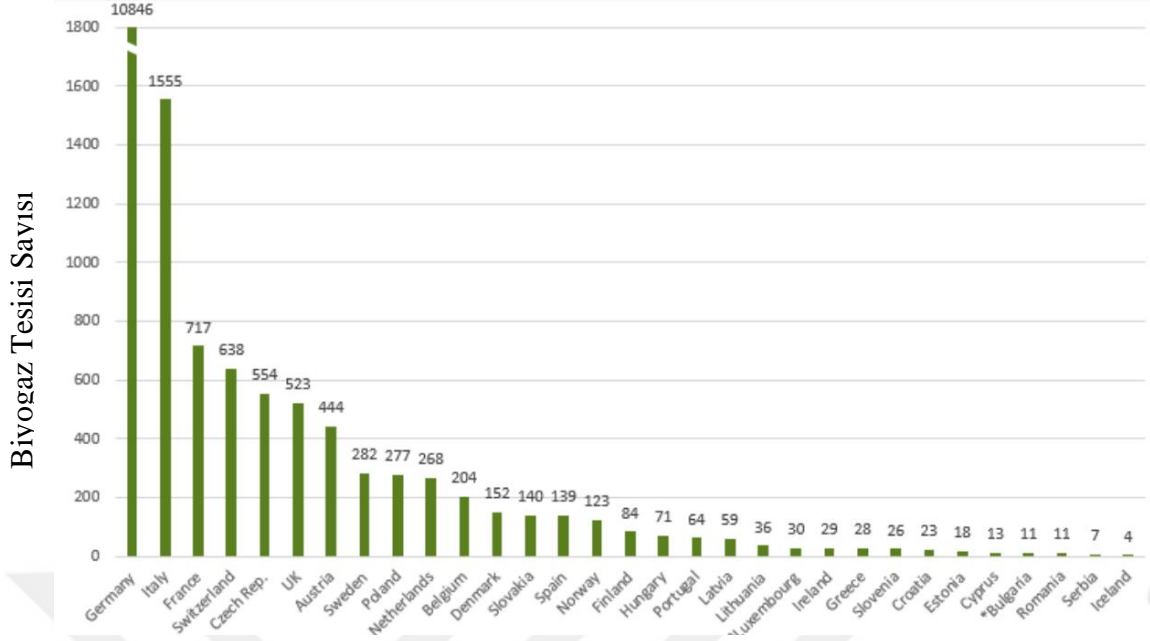
2.6. Biyogazın Genel Durumu

2.6.1. Biyogazın dünyadaki durumu

Tüm dünyada örnek olarak gösterilen Avrupa Birliği ülkelerinde, gelişimi olan hayvansal atıklarından anaerobik arıtma yöntemleri ile biyogaz üretim teknikleri yerel enerji üretim kaynaklarına çok fazla katkı sağlamaktadır. Günümüzde Avrupa'da Almanya, Fransa, İsviçre, İtalya, Avusturya biyogaz tesisi hayvansal ve tarımsal atıkların bertarafı için anaerobik fermantasyon yöntemlerini kullanarak biyogaz üretmektedir ve sadece Almanya'da 3000'den fazla biyogaz tesisi bulunmaktadır.

Hayvan gübresini farklı organik atıklarla birleştirerek biyogaz üretimi yapan en başarılı ülkelerden birisi Danimarka'dır. Dünyada örneği olmayan merkezi biyogaz tesisleri de bu ülke tarafından yaygın olarak kurulmuştur. Hayvansal işletmelerden toplanan atıklar, merkezi biyogaz tesislerinde gaz üretiminde kullandıktan sonra, gazı merkezi doğal gaz şebekesine aktarmakta ve çıkan fermente gübreyi işletmelere geri dağıtmaktadır. Danimarka 1500-2500 büyük baş hayvan atığını arıtan örnek biyogaz tesisleri ile bu konuda önderdir. Bu tesisler, günlük 1000-15000 m³ biyogaz üretecek kapasiteye sahiptir.

Avrupa Birliği'ne üye ülkelerde, biyogazdan üretilen toplam elektrik enerjisi miktarı yaklaşık 60.6 TWh olup bu değer yıllık yaklaşık 13,9 milyon hane halkının elektrik ihtiyacını karşılamaktadır. Avrupa Birliği ülkelerinde hayvansal gübre kaynaklı, 2015 yılındaki biyogaz tesisi sayısı Şekil 2.4'te verilmiştir (Kaya ve Öztürk 2012). Bu tesislerin kapasite bazında da incelenmesinde yarar görülecektir, bunun sebebi tesis kapasitelerinin Avrupa'da daha büyük olduğunun bilinmesindedir.



Şekil 2.4. Avrupa Birliği ülkelerinde biyogaz tesisi (2015)

Almanya'nın biyogaz konusunda Avrupa'da öncü olduğu görülmektedir (Şekil 2.4) 1991'de Almanya'da bulunan biyogaz tesis sayısı 120 adet iken, 2006 yılında % 2800 artış göstererek 3500 tesis ve 1.100 Megawatt'lık elektrik üretim kapasitesi ile üst sıraya yerleşmiştir. Bu sektör için, 2006 yılında 1 milyar euro civarında yatırım yapılmıştır.

Çizelge 2.7'de ifade edildiği gibi Almanya'nın 2020 hedeflerinde biyogaz üretiminden 2006'da kazanılan 5 milyar kWh elektriği, 76 milyar kWh'a yükseltmek vardır. Bu değer, toplam elektrik üretiminde yüzde 17'lik bir pay anlamına da gelmektedir.

Çizelge 2.7. Almanya'da mevcut durum ve 2020 hedefi (Karakuz 2015)

	2006	2020
Tesis sayısı	3.500	---
Elektrik gücü	1.100 MW	9.500 MW
Güç artışı (2005'e göre)	+70%	---
Tesis yatırımı	1 milyar Euro	7.6 milyar Euro
Elektrik üretimi	> 5 milyar kWh	76 milyar kWh
Toplam elektrik üretimindeki pay	> % 1	% 17
CO2 Emisyon azalımı	5 milyon Ton/Yıl	103 milyon Ton/Yıl

Hayvansal ve tarımsal kaynaklı atıkların, Çin ve Hindistan’da ve daha pek çok ülkede biyogaz tesislerinde yaygın olarak kullanıldığı bilinmekte ve bu konularda araştırma ve geliştirmler her geçen gün artmaktadır. Dünya’da kurulu hayvan gübresinden biyogaz tesislerinin % 80’i in’de, % 10’u Hindistan, Nepal ve Tayvan’da bulunmakta olup, bu değerler izelge 2.8’de verilmiştir (Tolay 2012).

Çizelge 2.8. Gelişmekte olan ülkelerde biyogaz tesisi sayıları

lkeler	Tesis Sayısı
in	7.000.000
Hindistan	2.900.000
Kore	29.000
Brezilya	2.300
Bangladeş	566*
Nepal	49.500

2.6.2. Biyogazın Türkiye’deki durumu

Ülkemizde taşra bölgelerinde mutfakta ve ısıtma için yakıt olarak odun, tezek, LPG ve kömür kullanımı yaygındır. Son dönemde Türkiye’deki yakıt fiyatlarındaki yükselmeler, kırsal alandaki halka finansal sorunlar yaşatmaktadır. Bu bölgelerde, yakıt kaynaklarının darlığı orman alanlarının tahribatı sonucunu da oluşturmaktadır (ztrk 2005).

Türkiye geçiminin büyük bir kısmını tarım ve hayvancılık ile sağlamaktadır. Ülkemizde biyogaz için yapılan çalışmalar 1957 yılında başlamıştır ancak 1975 yılından sonra Toprak Su Araştırma Enstitüsü ve 1980’li yıllarda Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü kapsamında yürütülen biyogaz üretimi çalışmaları 1987 yılında

seçilen politikalar sebebiyle duraklamıştır. Çevre konularının öneminin tam olarak anlaşılabilmesi, yanlış koordinasyonlar ve verilere olan güvensizlik, yönetimlerin konuya olumsuz bakmaları, çalışmalarını koordine edebilecek bir yapılanmanın oluşturulamaması ve konuyla ilgili gerekli desteğin sürekliliğinin sağlanamaması Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü'nün biyogaz çalışmalarını durdurma kararı almasına sebebiyet vermiştir. Bu süreçte yapılan çalışmalar ile birçok temel bulgu elde edilmiştir (Deniz 1987). Ülkemizdeki biyogaz potansiyelinin 17,3 milyon TEP/yıl dolayında olduğu bilinmektedir ancak yakacak tezek miktarı gün geçtikçe azalmaktadır. 2017 yılı ekim ayı başında Türkiye'nin elektrik enerjisi kurulu gücü 81.520,8 MW'a ulaştığı saptanmıştır. Bunun %55,2'si termik, %33,2'si hidrolik ve %1,2'si jeotermal, %0,5'i biyokütle ve %7,6'sı rüzgâr santralleri oluşturmaktadır.

Ülkemizde biyogaz üretimi ile ilgili araştırma çalışmaları en yoğun biçimde 1980-1986 yılları arasında Merkez Toprak Su Araştırma Enstitüsü'nde yürütülmüş ve biyogaz üretimi ile ilgili birçok temel bulgu elde edilmiştir.

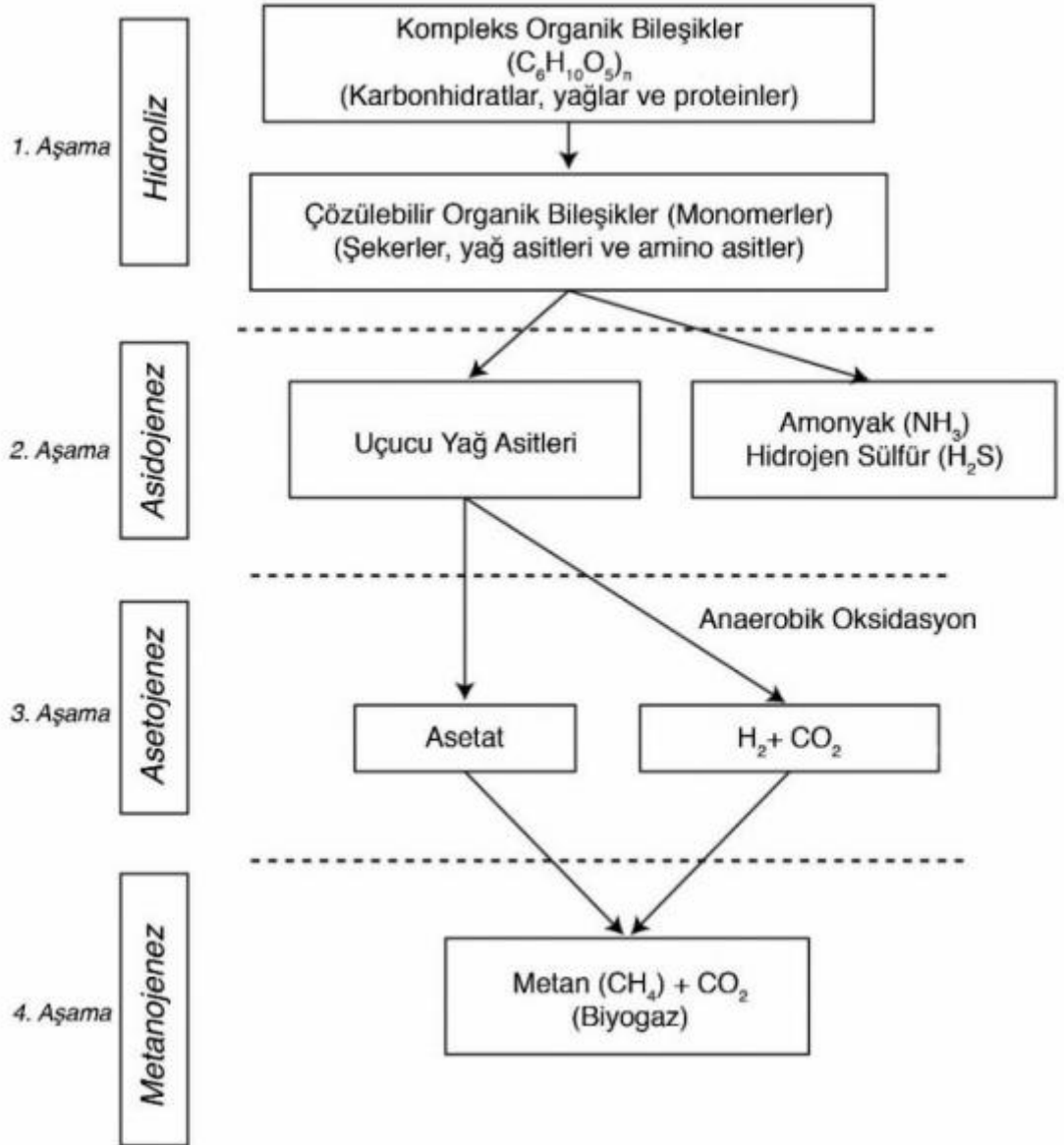
2.7. Anaerobik Fermantasyon ve Biyogaz

Biyogaz üretimi, bazı mikroorganizma grupları ile birlikte gerçekleştiğinden, karmaşık ve hassas bir işlemdir. Anaerobik fermantasyon, organik maddenin oksijen olmayan ortamda ayrıştırıcı bakteriler ile çürütülmesiyle oluşan, ve içeriğinde farklı basamaklarda biyokimyasal tepkimeler barındıran biyolojik bir süreçtir. Bu proses sonucunda, metan ve karbondioksitin ağırlıklı olduğu ve beraberinde hidrojen (H_2), hidrojen sülfür (H_2S) ve azot (N_2) bulunduran gaz kombinasyonu oluşmaktadır (Buswell ve Hatfield 1936).

Anaerobik fermantasyon ile biyogaz üretiminin mikrobiyal metabolizmasını; bakterilerin ortak işlevleri ve birbirleri ile olan etkileşimleri göz önüne alarak 4 faz halinde incelemek mümkündür (Şekil 2.5);

1. Hidroliz: Büyük moleküllü yapıdaki organik maddelerin, daha küçük yapıya dönüşümü
2. Asidojenesis: Küçük moleküllü organik maddelerin, asit bakterileri tarafından

- uçucu yağ asitlerine dönüşümü, asit oluşumu
3. Asetojenezis: Uçucu yağ asitlerinin asetik asit, hidrojen ve karbondioksite dönüşümü, asit oluşumu
 4. Metanojenesis: H_2 , asetat ve CO_2 'nin metan bakterileri yardımıyla metana dönüşümü, metan oluşumu (Sabuncu 2010).



Şekil 2.5. Biyogaz üretiminin aşamaları (Korres ve ark. 2013)

2.7.1. Hidroliz

Hidroliz kelimesi, bakteriler tarafından karmaşık moleküllerin kimyasal bağlarının kırılması “lysis” ve su katılmasının “hydro” birleştirilmesiyle oluşmuştur. Organik materyal hidroliz aşamasında bakterilerin kolayca kullanabileceği daha küçük komponentlere çevrilir. Ayrıca ölü bakterilerin yıkımı ve hücre bileşenlerinin geri kazanımı da sağlanır. Böylece yıkımla beraber ölü bakteri bileşenleri, yeni bakterilerin büyümesi için de kullanılır. Organik materyalin içeriğindeki makro moleküller, örneğin protein, karbonhidrat, yağ, selüloz, hemiselüloz, lignin gibi fiber yapılar, bu aşamada depolimerize olur (Gerrardi 2006).

Hidroliz aşamasındaki reaksiyonlar bakteri ve substratın etkin temasıyla fazlaca ilgilidir. Çünkü parçacık boyutu, difüzyon, adsorbsiyon ve enzim miktarıyla bağlantılı olarak hidroliz etkinliği değişir. Bu mekanizmalar 3 farklı şekilde tanımlanabilir;

- i. Bakteri enzimi ortama salgılar, sonra da enzim substrat üzerine adsorblanır. Böylece enzim-substrat ilişkisi kurulmuş olur.
- ii. Bakteri atık üzerine yapışır ve enzimlerini atık üzerine salgılar. Enzimin salgısı ile oluşan üründen bir diğer bakteri de yararlanabilir.
- iii. Bakteri ile substrat selülitik bakterilerde olduğu gibi bir kanal boyunca doğrudan kontak kurar ve bakteri substrattan sadece bireysel olarak yararlanır (Gerrardi 2003, Gerrardi 2006).

Hidroliz aşaması, anaerobik fermantasyon için hız belirleyici bir basamaktır. Reaktör içine alınan materyalin metan üretimine geçmeden önce bakteriler tarafından kullanılabilir formda dönüşmesi gerekir. Hidroliz aşaması ne kadar uzarsa hidrolik bekletme süresi ve beraberinde metanojenez fazına geçiş de o denli uzar. Selüloz ve lipit içeriği fazla olan organik atıkların hidroliz süresi ve bununla beraber hidrolik bekletme süresi uzamaktadır. Bunun aksine hidrolitik fazın kısa sürmesini sağlayacak atık içeriğine sahip sistemlerde asidojenik bakterilerin üremeleri hızlanır ve ortam

asitleşmesi artar. Asitleşmenin sonucunda ise uçucu yağ asidi birikimi artar, metanojenlerin asit kullanımı, üretilen asidin tamamını tüketmeye yetmez ve sistem pH'sı düşer (Demirer ve ark. 1997).

2.7.2. Asidojenez (Uçucu yağ asitlerinin oluşumu)

Fermantasyon aşaması, anaerobik yıkım basamakları arasında reaksiyonların en hızlı gerçekleştiği adımdır. Çoğu araştırmacı bu aşamayı asetojenez basamağı içinde ele alsa da meydana gelen metabolik faaliyetler bakımından ayrı olarak açıklamakta fayda vardır. Çünkü hidroliz ile yıkılan atıklar içerdikleri organik çeşitlilikle birlikte farklı fermantasyon ara ürünleri oluşturur. Oluşan metabolitler bir sonraki adım olan asetojenez ya da doğrudan metanojenez için substrat sağlamakta veya biyogaz üretimi dışında gelişebilecek fermentasyon ürünlerine kayabilmektedir. Burada gerçekleşecek olan reaksiyonlar sebebiyle sistemin genel seyri kolaylıkla değişebilmektedir.

Hidroliz aşamasının yıkım ürünleri olan aminoasitler, basit şekerler, uzun ve kısa zincirli yağ asitleri, alkoller, organik asitler, C1-C5, (formik, propiyonik, bütirik, süksinik, laktik asit), bazı azot ve kükürt bileşikleri, asidojenez fazında asetat, CO₂ ve H₂ gibi ara metabolitlere fermente olur (Deublein ve Steinhauser 2008).

Asidojenik bakteriler, fakültatif anaerob oldukları için ortamda bulunan çözünmüş ve bağlı oksijenden faydalanabilir. Böylece metanojenik bakteriler için elzem olan anaerobik ortam koşullarını sağlamış olurlar. Metanojenler de, asidojenlerin ürünlerini kullanarak bir simbiyoz ortamında metan üretimini gerçekleştirir (Hohlfeld 1985).

Anaerobik koşullarda, asidojenik bakterilerin hızlıca çoğalması gözlenir. Aktif oldukları sıcaklık aralığı 3–70 C° gibi çok geniş alana yayılmıştır fakat optimum sıcaklıkları 30 C°'dir. Substratla yakın temas kurmaya ihtiyaç duyarlar, yani karıştırmanın artırılması çevrim için pozitif etki yapar. Çoğu hidrolizlenmiş materyal asetik aside ve devamında metanla beraber CO₂ 'e çevrilir. Asetik asit konsantrasyonu, anaerobik koşullarda organik materyalin çevrimi esnasında önemli bir role sahiptir.

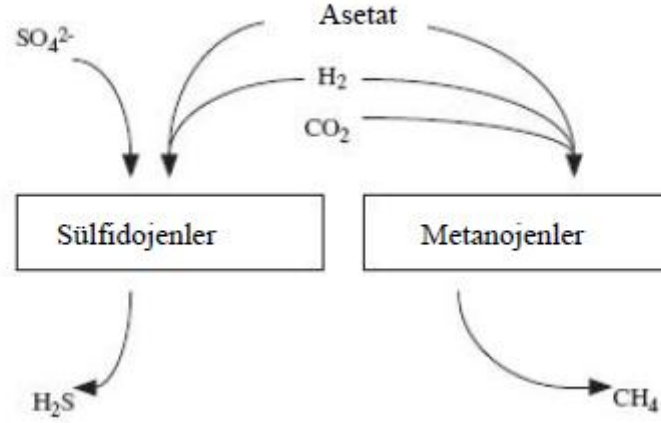
Eğer prosesin dengesi bozulursa, H₂ tüketimi yeterince hızlı gerçekleşmez, bununla beraber değişik türden alkol ve yağ asidi oluşumu artar (Gerrardi 2006).

2.7.3. Asetojenez (Asetat oluşumu)

Asetojenez fazı anaerobik yıkım sürecindeki en önemli adım olan metanojeniz için substrat sağlamakla görevlidir. Asetojenezin adından da anlaşıldığı gibi, birincil ürünü asetattır (asetik asidin iyonize formu). Metanojenler doğrudan asetatı kullanarak metan ve karbondioksit üretir. Yapılan izotropik denemelerde metanojenler tarafından oluşturulan metanın metil grubunun %95'inin termofilik asetat oksidasyonu ile gerçekleştiği görülmüştür (Angelidaki ve ark. 1999).

Asetat üreten bakteriler ile metan üreten bakteriler simbiyotik bir ilişki içerisinde ürerler. Bu iki grup mikroorganizma da obligat anaerobtur ve enerji metabolizmalarında genel elektron donörü H₂, akseptör de CO₂ 'dir. (Gallert ve Winter 2005). Bu prosesin sonucu olarak membran üzerinde H⁺ ve Na⁺ tarafından iyon gradienti oluşur, ATPaz devreye girer. Gelişen bu enerji dönüşümü substrat düzeyinde fosforilasyona dâhildir. Asetojenezde H₂ 'in yanında C₁ bileşikleri de (şekerler, amino asitler, organik asitler, alkoller) elektron donörü olarak kullanılabilir fakat bu mikroorganizmanın türüne bağlıdır (Ayman 1997).

H₂, asetojenler tarafından genelde yan ürün olarak bazen de substrat olarak kullanılır. Çözünmüş H₂ konsantrasyonunun artması durumunda asetojenlerin aktiviteleri ve dolayısıyla asetat üretimi fazla miktarda H₂'in ürün inhibisyonuna neden olmasından dolayı durmakta ve reaksiyon farklı asitlerin fermentasyonuna kaymaktadır. Bu anda devreye metanojenler girer ve H₂ 'i tüketip metan üreterek, H₂ birikmesine engel olur (Erickson ve ark. 1988). Şekil 2.6'da metanojenler ile sülfat indirgeyen bakterilerin H₂S ile CH₄ üretimi verilmiştir.



Şekil 2.6. Metanojenler ile sülfat indirgeyen bakterilerin H_2S ile CH_4 üretimi (Gerrardi 2003)

2.7.4. Metanojenez ve metan Bakterileri (Metanojenler)

Metanojenik faz metan bakterilerinin düşük büyüme hızlarından dolayı en yavaş adım ve dolayısıyla hız belirleyici basamaktır. Fiziksel ve kimyasal koşullardaki değişimler, substrat ve ürün yoğunlaşmada farklılıklar, metan üretimini, inhibisyonu ve bakteriyel aktiviteleri ile yakından ilgilendirir. Yüksek UYA konsantrasyonu metanojenezini inhibe eder. Bu durumda metanojenlerin H_2 ve UYA giderme hızı üretim hızından daha hızlı değildir. Sonuç olarak UYA birikimi ile tamponlama kapasitesi düşer, pH seviyesi hidroliz/asidoliz sürecini inhibe edecek seviyelere geriler (Deublein ve Steinhäuser 2008).

Metanojenler, en eski bakteri grubu olan Archaeobacteria grubundadır. Bu grup içerisinde aşırı termofiller, termoasidofiller ve aşırı halofiller yer almaktadır. Ancak metanojenlerin yapısı diğer türlerden farklıdır. En önemli farklılık içerdikleri kükürt miktarıyla başlar, diğer bakterilerin aksine kükürt içerikleri fazladır ve yaklaşık kuru ağırlıklarının %2,5'inde kükürt bulunmaktadır. Metanojenlerin büyüme zamanı yani rejenerasyon zamanı $35^\circ C$ 'de 3 gün, $10^\circ C$ 'de ise 30 gün civarındadır.

Metanojenler genelde; yerüstünde ve sulu ortamlarda, doğal olarak çürümüş organik materyalde, derin denizlerdeki volkanik yarıklarda, derin tortularda, gayzerlerde, bataklık ve göllerin kara çamurlarında bulunur. Metan bakterileri ayrıca hayvan ve

insanların sindirim ürünlerinde özellikle geviş getiren otçulların rumenlerinde (selüloz ve kompleks karbohidratların yıkıma uğradığı özel bir organ; sığırlar, keçiler, koyunlar ve geyikler, rumene sahip bazı hayvanlara örnek olarak gösterilebilir), geviş getirmeyen hayvanlarında jejum denilen kalın bağırsakları başlangıcında bulunur.

Metanojenler enerji ihtiyaçlarını ve hücrel aktivitelerini düşük karbon sayılı basit substratların yıkımı ile karşılarlar (Gerrardi 2003). Substrat türleri 3 ayrı kategoride ele alınmaktadır;

CO₂ tipi substratlar CO₂, HCOO⁻, CO

Metil tipi substratlar CH₃OH, CH₃NH₃, (CH₃)₂NH₂⁺, (CH₃)₃NH⁺, CH₃SH, (CH₃)₂S

Asetat tipi substratlar CH₃COO

İlk grup substratları kullanan hidrojenotropik metan bakterileri (ya da hidrojen kullanan kemolitoroflar) karbondioksit, karbon monoksit ve formik asidi metana indirgerler. Bu indirgeme işlemi H₂ bağımlı olarak ve düşük H₂ kısmı basıncı altında gerçekleşir (Deublein ve Steinhauser 2008).



Metil grubunun metana dönüşümü metilotropik metan bakterileri tarafından gerçekleşir. Metilaminler ve metanol, metan oluşumu için başlıca substratlarıdır.



Metan oluşumunun üçte ikisi, asetatı substrat olarak kullanan asetotropik metan bakterileri tarafından gerçekleşir. Methanosaeta ve Methanosarcina cinsleri en yaygın asetotropik metan bakterileridir.



Aşağıdaki Çizelge 2.9’da bazı metanajenik bakteri türleri ve kullandıkları substraklar belirtilmiştir.

Çizelge 2.7. Bazı metanojenik bakteri türleri ve kullandıkları substratlar (Deublein ve Steinhauser 2008).

Bacteria	Substrate	Bacteria	Substrate
<i>Methanobacterium bryantii</i>	H ₂	<i>Methanoplanus limicola</i>	H ₂ and HCOOH
<i>M. formicicum</i>	H ₂ and HCOOH	<i>M. endosymbiosus</i>	H ₂
<i>M. thermoautotrophicum</i>	H ₂	<i>Methanogenium cariaci</i>	H ₂ and HCOOH
<i>M. alcaliphilum</i>	H ₂	<i>M. marisnigri</i>	H ₂ and HCOOH
<i>Methanobrevibacter arboriphilus</i>	H ₂	<i>M. tatii</i>	H ₂ and HCOOH
<i>M. ruminantium</i>	H ₂ and HCOOH	<i>M. olentangyi</i>	H ₂
<i>M. smithii</i>	H ₂ and HCOOH	<i>M. thermophilicum</i>	H ₂ and HCOOH
<i>Methanococcus vannielii</i>	H ₂ and HCOOH	<i>M. bourgense</i>	H ₂ and HCOOH
<i>M. voltae</i>	H ₂ and HCOOH	<i>M. aggregans</i>	H ₂ and HCOOH
<i>M. deltae</i>	H ₂ and HCOOH	<i>Methanococcoides methylutens</i>	CH ₃ NH ₂ and CH ₃ OH
<i>M. maripaludis</i>	H ₂ and HCOOH	<i>Methanotherix soehngenii</i>	CH ₃ COOH
<i>M. jannaschii</i>	H ₂	<i>M. concilii</i>	CH ₃ COOH
<i>M. thermolithoautotrophicus</i>	H ₂ and HCOOH	<i>Methanothermus fervidus</i>	H ₂
<i>M. frisius</i>	H ₂ , CH ₃ OH CH ₃ NH ₂ , and (CH ₃) ₃ N	<i>Methanolobus tindarius</i>	CH ₃ OH, CH ₃ NH ₂ , (CH ₃) ₂ NH, and (CH ₃) ₃ N
<i>Methanomicrobium mobile</i>	H ₂ and HCOOH	<i>Methanosarcina barkeri</i>	CH ₃ OH, CH ₃ COOH, H ₂ , CH ₃ NH ₂ , (CH ₃) ₂ NH, and (CH ₃) ₃ N
<i>M. paynteri</i>	H ₂	<i>Methanosarcina thermophila</i>	CH ₃ OH, CH ₃ COOH, H ₂ CH ₃ NH ₂ , (CH ₃) ₂ NH, and (CH ₃) ₃ N
<i>Methanospirillum hungatei</i>	H ₂ and HCOOH		

Çizelge 2.7. Bazı metanojenik bakteri türleri ve kullandıkları substratlar (devam)

Order	Family	Genus	Species
Methanobacteriales	Methanobacteriaceae	Methanobacterium	<i>M. formicicum</i>
			<i>M. bryanti</i>
			<i>M. thermoautotrophicum</i>
		Methanobrevibacter	<i>M. ruminantium</i>
			<i>M. arboriphilus</i>
			<i>M. smithii</i>
Methanococcales	Methanococcaceae	Methanococcus	<i>M. vannielii</i>
			<i>M. voltae</i>
			<i>M. mobile</i>
Methanomicrobiliaes	Methanomicrobiaceae	Methanogenium	<i>M. cariaci</i>
			<i>M. marisnigri</i>
			<i>M. hungatei</i>
		Methanospirillum	<i>M. barkeri</i>
			<i>M. mazei</i>
	Methanosarcinaceae	Methanosarcina	

2.8. Biyogaz Üretimini Etkileyen Unsurlar

Açığa çıkan biyogazın verimliliği ve kalitesi, fermantasyon süresince olan dengelerin korunmasına bağlıdır. Sistem verimliliği, biyogaz tesisinde kullanılan materyal ile ilgili etmenlere, üreteç ile ilgili etmenlere ve işlem süreci ile ilgili etmenlere bağlı olabilir. Biyogaz tesislerinin tasarımında atığın alındığı hayvan cinsi, sayısı ve atığın toplanma yöntemi planlamayı etkilemektedir.

Biyogaz üretiminde yararlanılacak olan materyal seçilirken, hammaddenin cinsi ve içeriği, kuru madde ve organik madde oranı, içerdiği yataklık miktarı, parçacık büyüklüğü dikkate alınmalıdır. Biyogaz sistemindeki üreteç ile ilgili, üreticinin yapımında kullanılan hammaddeler, üreticinin boyutları ve hacmi, üretimin bulunduğu yer, karıştırma/ yükleme/ boşaltma sistemleri, ısıtma sistemleri gibi etmenlere bağlıdır. Uçucu madde oranı, organik kuru madde oranı, hammadde yükleme oranı, reaktör sıcaklığı ve bekletme süresi işlem sürecini etkileyen etmenlerdir. Ancak anaerobik sistemlerin işletimi ile ilgili faktörler ise kullanılan hammaddeye göre değişmekte ve anaerobik işlem veriminin artırılmasında bu faktörlerin optimumlarının belirlenmesi daha fazla önem kazanmaktadır (Acaroğlu 2007). Biyogaz tesislerinde metan gazı üretimini etkileyen parametreler aşağıda Şekil 2.7’de belirtilmekte olup, bu parametreler başlıklar halinde incelenmiştir.



Şekil 2.7. Biyogaz üretimini etkileyen parametreler (Yakut 2012)

2.8.1. Sıcaklık

Biyogaz fermantasyonu, enzimler tarafından kontrol edilmektedir veya enzimler katalizör görevini üstlenmektedir. Enzimlerin sahip olduğu etkiler ve enzim miktarları sıcaklığa bağlı olduğundan, biyogaz fermantasyonu da sıcaklığa bağımlı olmaktadır (Ayhan 2013). Bu bağlamda, ortamın sıcaklığı metan gazı oluşumundaki en mühim etkenlerden birisidir.

Sıcaklık fermantör içerisindeki ortama ek olarak, biyogaz tesisinin kurulduğu bölgenin iklim koşullarına da bağımlılık göstermektedir. Bir biyogaz tesisi tasarlanırken, kurulacağı bölgeye ait iklimsel şartlar değerlendirilmeli ve reaktör tipinin seçilmesinde dikkate alınmalıdır.

Biyogaz fermantasyonu sıcaklıktaki beklenmeyen değişimlere uygun değildir. Reaktör sıcaklığındaki 1-2°C'lik değişme 2 saatten daha kısa sürede oluşur ise, gaz çıkışı olumsuz olarak etkilenmektedir. Eğer sıcaklıktaki dalgalanma sistemdeki metan üreten bakterileri olumsuz olarak etkilerse, üretimin aynı verime yeniden ulaşması için haftalar geçmesi gerekebilir (Çallı 2012).

Metan üreten bakteriler, sıcaklık değişimine karşı çok hassastırlar. Metanojenik bakteriler çok yüksek ve çok düşük sıcaklık değerlerinde verimli değildirler. Reaktördeki sıcaklığın sabit tutulmasının bir diğer sebebi de, sıcaklık değişimi ile reaksiyonu sağlayan bakteri tiplerinin değişmesinden kaynaklıdır. Sakrofilik, mezofilik ve termofilik sıcaklık aralıklarında çalıştırılan sistemler sırasıyla $\pm 2^{\circ}\text{C}$, $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ve $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ aralığında korunmalıdır (Arslan ve Gülen 2005, Öztürk 2005). Biyokimyasal reaksiyonlar için belirli sıcaklık aralıkları Çizelge 2.10'da belirtildiği gibidir.

Çizelge 2.10. Biyokimyasal reaksiyonlar için belirli sıcaklık aralıkları (Seadi 2008)

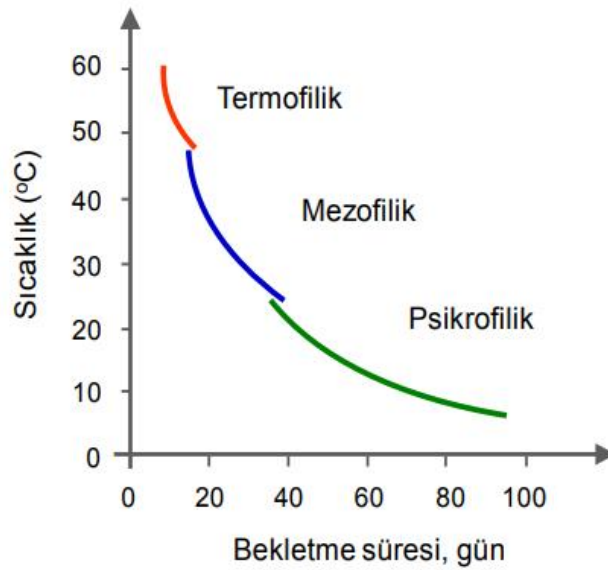
	Sıcaklık Aralığı ($^{\circ}\text{C}$)	Minimum Hidrolik Bekleme Süresi (gün)
Sakrofilik	< 20	70 - 80
Mezofilik	30 - 42	30 - 40
Termofilik	43 - 55	15 - 20

Biyokimyasal reaksiyonlarda metan üretim hızı, sıcaklık artışıyla doğru orantılıdır. Sıcaklık arttıkça;

- Reaksiyon hızı artar, bekletme süresi kısılır
- Gerekli reaktör hacmi azalır
- Organik maddelerin hidrolizi hızlanır

Termofilik sıcaklık şartlarında gerçekleşen reaksiyon, mezofilik sıcaklık şartlarındaki reaksiyona göre daha hızlı gerçekleşir. Termofilik şartlarda metan üretim hızı mezofilik şartlara göre iki kat daha fazladır. Buna bağlı olarak termofilik şartlarda kullanılan reaktör hacmi mezofilik şartlarda kullanılanla kıyasla yarı yarıya daha

küçüktür. Termofilik şartlarda mezofilik şartlara göre aynı hidrolik bekleme süresinde daha fazla organik yükleme yapılabilir. Termofilik sıcaklık aralığında çalışmanın bir takım dezavantajları da bulunmaktadır. Reaktörü termofilik sıcaklık aralığında çalıştırmak için ilave ısıya ve dolayısıyla ilave maliyete ihtiyaç olabilmektedir (Öztürk 2005). Şekil 2.8’de sıcaklığa göre metan bakterin bekleme sürelerindeki değişim gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Sıcaklığa göre metan bakterin bekleme sürelerindeki değişim (Çallı 2012)

2.8.2. Hidrolik bekleme süresi

Hammadde içeriğindeki organik bileşenlerin, bakteriler tarafından reaksiyona uğratması sonucunda biyogaz oluşumu için gerekli olan süre hidrolik bekleme süresi (HBS) olarak adlandırılmaktadır. Fermantasyon sırasında, bakteriler reaksiyona girdikçe gaz üretiminde azalma gözlenmektedir. Belirlenen hidrolik bekleme süresinde, organik hammaddelerin %70–%80 oranında reaksiyon boyunca kaybolduğu kabul edilmektedir. Biyogaz tesislerinde HBS 20 ile 120 gün arasında olabilmektedir, bu değerde ortam sıcaklığı önem taşımaktadır. Sıcak iklime sahip bölgelerde HBS 40-50 gün iken, soğuk bölgelerde bu değer yaklaşık olarak 100 gündür. Hidrolik bekleme süresi hesaplaması denklem 2.1 ile ifade edilir .

$$HBS = \frac{\text{Reaktör Hacmi}}{\text{Günlük Debi}} = \frac{m^3}{(m^3 / \text{gün})} \quad (2.1)$$

HBS süresinin uzun belirlenmesi, bakterilerin fermantasyondan kaçmasını önlemekte ve bakteri sayısının katlanmasını sağlamaktadır. Yeterli HBS belirlenmediğinde, bakteriler hızlıca kaçmakta ve uçucu yağ asidi konsantrasyonu artmaktadır. Bu artış, biyogaz üretiminde düşüşe sebep olmakta ve fermantasyonun tamamlanamamasına sebep olmaktadır. Ancak, bu problem biyogaz tesislerinde nadir olarak gerçekleşmektedir. Fermantasyona girecek hammaddenin özelliklerine bağlı olarak HBS süresinin düşürülmesi de mümkün olacaktır. Gübrelerinin hammadde olduğu fermantasyonlarda HBS'ni etkileyen en önemli aşama hidrolizdir.

Hayvan gübresinde bulunan organik maddelerin çürümesi aşağıdaki sırada gerçekleşir.

1. Karbonhidratlar
2. Yağlar
3. Proteinler
4. Hemi selüloz
5. Selüloz

Hidrolik bekleme süresi artıkça, biyoreaktör sıcaklığı düşer. Sıcaklık artıkça, biyokimyasal reaksiyonların oluşum hızı artmaktadır. Bu bağlamda, hidrolik bekleme süresi seçiminde sıcaklık dikkate alınmalıdır (Öztürk 2005).

2.8.3. Organik yükleme hızı

Organik yükleme hızı, biyogaz reaktörüne düzenli olarak yüklenecek hammaddenin birim hacim (m^3) miktarıdır. OYH günlük olarak fermantörün beslenmesi gereken girdi miktarının belirlenmesini sağladığından, fermantasyon için önemli bir değişkendir.

Organik yükleme hızı optimumda tutulmalıdır. Aksi halde biyoreaktör içinde asit birikmesi olur ve pH seviyesini düşürerek, reaksiyondaki biyogaz oluşumunu

durdurması mümkündür. Mezofilik şartlarda çalışan reaktörlerde uygun değer OYH Çizelge 2.11'deki gibidir.

Çizelge 2.11. Mezofilik çalışan reaktörler için optimum yükleme hızı (Öztürk 2005)

Atık Malzeme	Yükleme Miktarı/Gün
Sığır Gübresi	2.5-3.5 kg UM/m ³ .gün
İlave Besin Maddeli Sığır Gübresi	5.0-7.0 kg UM/m ³ .gün
Domuz Gübresi	3.0-3.5 kg UM/m ³ .gün

Katı miktarı %12'den fazla olduğunda, fermantasyonu olumsuz etkiler. Çok düşük yüklemelerde ise süreç çalışır ancak çok fazla su geçişi olduğundan ekonomik olmaz. Ekonomik nedenlerden ötürü katı madde, kuru madde miktarının %30'unu geçmemelidir.

Bunun sebebi;

- Çok düşük su içeriği hücre büyümesini geciktirir.
- Substrattaki malzeme transferi limitleyici faktör olur.
- Biyokütle pompalanamaz ve karıştırılamaz.

2.8.4. Karbon/Azot oranı

Hayvan atıkları, bitkisel atıklar ve endüstriyel atıklar gibi organik besli içerikli tüm hammaddeler belli miktarda karbon, oksijen ve azot bulundurmaktadır. Anaerobik bakterilerin enerji ihtiyacını, organik maddelerdeki karbon karşılamaktadır. Karbon dışındaki en önemli enerji besleyicileri fosfor ve azottur. Azotun bakteriler için önemi, büyüme ve çoğalmaya olan faydasıdır.

Bir hammaddenin azot içermesinin iki başlıca faydası vardır.

- Aminoasitlerin, proteinlerin ve nükleik asitlerin sentezi için gerekli elementi sağlamak

- Amonyaga dönüşen azotun uçucu yağ asitlerini tamponlanarak pH'ın düşmesini önlemek

Hammadde içindeki bileşikler, biyoreaktörde bulunan bakterilere fayda sağlamaktadır. Biyoreaksiyonlar için gerekli C/N oranı bakteriler için uygun değerde tutulmalıdır. Karbon ve azot konsantrasyonu, anaerobik fermantasyonun performansını belirler. C/N oranı 23/1'i aştığında bu değer fermantasyon için elverişli olmadığı gibi, bu oranın 10/1'den düşük olması bakterilerin faaliyetlerini olumsuz etkilemektedir.

Substrattaki çok düşük C/N oranı NH₃ üretimini yükseltmekte ve metan üretiminden yoksun bırakmaktadır. Çok yüksek C/N oranı azot eksikliği anlamındadır, bu da protein üretimi için olumsuz etki yapar. Uygun C/N oranı farklı organik hammaddelerin kombinasyonu ile sağlanabilir (Öztürk 2005).

C/N oranı hesaplanırken kuru madde oranı esas dikkate alınmalıdır. Reaksiyonda hammadde içindeki suyun katkısı yoktur. Bakterilerin besi kaynağı organik maddelerdir. En iyi C/N oranı değişik kaynaklı organik hammaddeler ile oluşur. Sabit karışım gaz üretiminin sürekliliğini sağlamak içindir.

Hayvan gübresinden biyogaz üreten atıklarda C/N oranı 15/1 ila 30/1 arasında değişir. Çoğu taze hayvan gübreleri bu oranı sağlar. C/N oranı 15/1 ila 30/1' i sağlıyorsa hayvan gübresini ayrıca ayarlamaya gerek yoktur. Çeşitli hayvan gübrelerine ve evsel/tarımsal atıklara ait kuru bazda C, N, C/N oranı ve nem miktarları Çizelge 2.12'de belirtilmiştir.

Çizelge 2.12. Bazı organik atıkların C/N oranı (Öztürk 2005)

Organik Atıklar		% C	% N	C/N Oranı	Nem (%)
Hayvansal Atıklar	Sığır Gübresi	30	1,66	18	80-85
	Koyun Gübresi	83,6	3,8	22	75-80
	Kümes Hayvanı Gübresi	87,5	6,55	14	70-80
	Domuz Gübresi	76	3,8	20	75-80
	At Gübresi	33,4	2,3	15	80-85
	Güvercin Gübresi	50	2	25	70-80
	Kan	36	12	3	90-95
	İdrar	15	15	1	90-95
	Balık Atığı	56	7	8	55-75
	Kesimhane Atığı	64	8	8	55-75
	Çiftlik Gübresi	42	3	14	75-80
Evsel ve Bitkisel Atıklar	İnsan Dışkısı	48	6	8	50-70
	İdrarlı İnsan Dışkısı	70	7	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
	Taze Çim	48	4	12	40-60
	Yulaf Samanı	50,4	1,05	120	20-40
	Pirinç Samanı	18	0,3	60	20-40
	Yer Fıstığı Kabuğu	40	2	20	25-40
	Soya Fasulyesi	17,5	3,5	5	10-15
Ağaç yaprağı	75	1,5	50	40-60	

2.8.5. PH değeri

Çözeltilerin asidik veya bazik özellik taşıdığını belirten pH kimyevi bir ifade olup, çözelti içindeki H⁺ iyonlarının durumunu göstermektedir. Anaerobik bakteriler, fermantasyon süresince pH değişimine göre hassasiyet gösterebilmektedir. Biyogaz fermantasyonunda pH seviyesinde, reaksiyon hızının ve diğer değişkenlerin büyük etkisi gözlenmektedir.

İdeal bir fermantasyon için pH değeri 6-8 arasında olmalıdır. Asit bakterilerinin üreme hızı, metan bakterilerinden daha yüksek olduğundan, sistemdeki asit üretim hızının artması metan üreten bakterilerin aktivitesini düşürebilir. Sistem pH'sını düzenli kontrol altında tutmanın temel nedeni budur. Normal bir fermantasyonda reaktör içindeki pH değeri sabit olarak 7 civarında seyrederek. Sıcaklıktaki ani değişimler, planlanandan fazla hammadde girişi ve zehirli madde girişi asit dengesini bozar. Asit

oranı artması sonucunda pH değerinde düşme ve metan üretiminde durma meydana gelir. Böylelikle üretilen gazın CO₂ oranı yükselir ve gaz yanarken sarımtırak bir alev görülür. Eğer böyle bir durum karşılaşırsa, önceki değerlere geri dönebilmek için;

- a) Metan üreten bakteriler ile, reaktördeki fazla asidi kullanmaları için besleme hızı düşürülmeli veya durdurulmalıdır.
- b) pH değerinin düşmesi durdurulamaz ise reaktöre nötralizasyon için alkali maddeler ilave edilmelidir (Kılıç 2011).

2.8.6. Toksinler

Deterjan gibi kimyasal içerikli maddeler, organik içeriği düşük olan mineral iyonları ve ağır metaller bakteri üremesini olumsuz etkilemekte bir başka deyiş ile toksik etki oluşturmaktadır. Bunun yanı sıra; sodyum, potasyum, kalsiyum, magnezyum, amonyum ve kükürt gibi az miktarda mineral içeren iyonların olumlu etkisi vardır. Bu nedenle biyogaz fermantasyonlarında, kullanılacak materyallerin bu tür maddeleri içermemesi önem taşımaktadır (Öztürk 2005).

Kanatlı işletmelerinde, nadir olarak yemlere antibiyotik atılması görülmektedir ve bu antibiyotikler tavuk gübrelerine etki ettiğinden dolayı tesislerdeki toksite oranını bozmaktadır. Bu tarz işletmelerden hammadde alınması durumunda, kanatlıları beslemekte kullanılan antibiyotikler metan oluşturucu bakteriler üzerinde negatif etkiye sahiptir (Kılıç 2011).

2.8.7. Karıştırma

Fermantasyon süresince, materyallerin akıcılık özelliğine sahip olması ve homojen bir kombinasyonda olması gerekmektedir (Aoki ve ark. 2006). Reaktördeki karıştırma işleminin sisteme kazandırdığı kararlılığın sağlanabilmesi ve sürdürülebilmesi açısından faydalar, aşağıdaki gibidir;

- Üretilen biyogazın çıkış hızını artırır,
- Bakteri kompozisyonu ile yaş atığın birbirine karışmasını sağlayarak reaksiyon hızını artırır,

- Reaktör üst yüzeyinde filamentli mikroorganizmaların gelişmesi ile oluşan ve gaz deşarjını önleyen köpük oluşumunu engeller,
- Atıklarda yer alan küçük parçacıkların tabana çökmesini önler,
- Fermantör içerisinde sıcaklık dağılımının homojenliğini sağlar,
- Fermantördeki bakteri popülasyonu yoğunluğunu düzenler,
- Reaktör içerisinde ölü alanların oluşumunu engeller (Deublein ve Steinhauser 2008).

Komplike tesislerde genellikle devir hızına göre 2 tür karıştırıcı bulunmaktadır. Yüksek devirli tesisler 1000 devir/dakika ile çalışırken, düşük devirli tesisler 60 devir/dakika olarak çalışmaktadır. Düşük devirli karıştırıcılı tesislerdeki amaç hammaddenin tüm fermantör içine iyi dağılımını sağlamak ve üst kısımdaki kabul oluşumlarını önlemektedir. Bu karıştırıcılar tüm gün süresince çalışmaktadır.

Hızlı devirli, hammaddenin hem parçalanmasını hem de karıştırılmasını sağlamaktadır. Bu karıştırıcılar, genellikle 5 dakika çalışıp 10 dakika bekleyerek devreye girmektedir.

Karıştırma işlemi çok etkin ve dikkatli bir şekilde yapılmalı ve işlem esnasında aşağıda belirtilen konulara dikkat edilmelidir (Deublein 2008):

- Fermantörden biyogaz etkili bir şekilde alınmalıdır.
- Asit ve metan üreten mikroorganizmalar arasındaki simbiyoz, yaşama zarar vermemelidir.
- Mikroorganizmalar strese karşı hassas olduklarından çok güçlü karıştırmadan kaçınılmalıdır.
- Karıştırma işlemi sırasında enerji tüketimi minimize edilmelidir.
- Reaktöre ve atık birleşimine uygun karıştırıcı sistemi seçilmelidir.

Biyogaz reaktörlerinde kullanılan karıştırma sistemlerini pasif ve aktif karıştırma sistemleri olmak üzere iki grupta incelenmesi mümkün olacaktır.

2.9. Biyogaz Tesisleri

2.9.1. Kapasiteye göre biyogaz tesisleri

Ülkelerin bulunduğu koşullara, hizmet ettiği amaca, planlamalara göre farklı teknolojiler kullanımıyla, ihtiyaca bağlı olan kapasiteler ile planlanarak biyogaz tesisleri inşa edilmektedir. Biyogaz tesisleri kapasite olarak incelenecek olursa, aşağıda belirtildiği gibi genellikle 4 grupta ele alınmaktadır;

- Aile Türü (6-12 m³ kapasiteli)
- Çiftlik Türü(50-100-150 m³ kapasiteli),
- Köy Türü (100-200 m³ kapasiteli)
- Sanayi Türü (1.000-10.000 m³ kapasiteli)

2.9.2. Besleme tipine göre biyogaz tesisleri

Biyogaz üretiminde besleme sıklığına göre değişen sistemler vardır.

2.9.2.1. Kesikli (Batch) fermantasyon

Tesisin reaktörü hammadde yüklenmekte ve belirlenen hidrolik bekletme süresi kadar bekletilerek, biyogazın üretim aşamasını tamamlamaktadır. Reaktör süreç başında hammadde ile yüklenir ve yeterli biyogaz açığa çıkana kadar beklenir. Seçilen hammaddeye ve sistem sıcaklığı dikkate alınarak bekletme süresi belirlenir. Proses bitiminde, biyogaz tesisin fermantörü (reaktörü) tamamıyla boşaltılmakta ve yeniden yüklenmektedir (Koçar ve ark. 2003).

2.9.2.2. Kesikli beslemeli fermantasyon

Bu fermantasyon şeklinde, fermantasyon başında reaktör, hesaplanan miktarda hammadde yüklenir ve geri kalan hacim mayalanma süresine bölünerek günlük miktarlarla tamamlanır. Belirlenen zamanın sonunda, reaktör tamamen boşaltılarak

yeniden yüklenir. Bu tip fermantörler ticariden çok bilimsel çalışmalar için kullanılmaktadır.

2.9.2.3. Sürekli fermantasyon

Sürekli beslemeli sistemlerde, tam doldurulmuş olan reaktörden biyogaz çıkışının başlaması itibariyle düzenli olarak günlük hammadde beslemesi yapılır. Fermantasyona eklenen hammadde kadar, fermantasyona uğramış hammadde çıkarılır (Appels ve ark. 2008). Hidrolik bekleme süresi kadar bekleyen hammaddeler, her gün sabit miktarda eklenmektedir. Bu şekilde, düzenli besleme ile sürekli biyogaz üretimi sağlanır (Ward ve ark. 2008).

2.9.3. Biyogaz üretiminde kullanılan anaerobik reaktörler

Biyogaz üretiminde kullanılan reaktörler kullanılan atığa, sistemin kullanım amacına, biyogaz üretim miktarına, biyogaz üretim tesisinin büyüklüğüne göre değişmektedir. Reaktör çeşitlerini farklı şekillerde incelemek mümkün olduğu gibi, en bilinen 15 reaktör çeşidi sıralanmıştır;

1. Sabit kubbeli reaktörler
2. Hareketli kubbeli reaktörler
3. Torba reaktör
4. Sabit film reaktörleri
5. Yukarı akışlı anaerobik biyoreaktör
6. Yatay engelli reaktörler
7. Anaerobik havuzlu reaktörler
8. Karıştırmalı reaktörler
9. Tapa akışlı biyoreaktörler
10. Kontakt biyoreaktörler
11. Asit fazlı biyoreaktörler
12. Akışkan yataklı anaerobik biyoreaktörler
13. Yukarı akışlı filtreli kombine biyoreaktör

14. Ardışık kesikli anaerobik reaktörler

15. Hibrit biyoreaktörler (Öncel ve ark. 2003)



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Biyogaz Tesisi Tasarımında Dikkat Edilmesi Gereken Unsurlar

Biyogaz tesisinin teknik özelliklerinin belirlenmesinde etkili işletme gereksinimleri aşağıdaki gibidir;

- İşlem seçimleri, organik hammadde seçimi ve oluşturulan atık kompozisyonuna,
- Tesisin kapasitesi, gerekli olan biyogaz ve atık miktarına,
- Tesis tasarım ve işletme, işgücü ve makine teçhizat ihtiyacına bağlıdır.

Belirli bir biyogaz tesisinin seçimi mevcut değişik alternatifler ile bunların güçlü ve zayıf özelliklerine dikkat edilerek yapılmaktadır. Biyogaz tesisinin seçiminde dikkate alınan değişkenler aşağıdaki gibidir;

1. Tesisin gaz basıncına ve hammaddenin hidrolik basıncına bağlı sağlamlığı
2. Tasarım maliyeti
3. Tasarım malzemelerinin bulunabilirliği ve maliyeti
4. Tasarım kolaylığı
5. Çalışma ve işletme kolaylığı
6. Bakım kolaylığı
7. İşlevsel olarak güvenirliliği
8. Gaz sızdırmazlığı (sızıntı olmadan gaz basıncının artması)
9. Tesisin çalışma emniyeti.

Biyogaz tesisi tasarım veya tipinin seçiminde başlıca aşağıdaki unsurlar dikkate alınır:

- Tesisin ideal olması için düşük maliyet gereklidir.
- Tesisin tasarım kolaylığı tasarım unsurları dışında, işletme ve bakım açısından da kolay yapıya sahip olmalıdır.

- Biyogaz tesisi çevresel koşullara uygun dayanıklılık ve sağlamlığa sahip olmalıdır.
- Değişik özelliklerde hammadde kullanımına açık olmalıdır.
- Hammadde giriş çıkışlarının düzenliliği dikkate alınmalıdır.

Biyogaz tesislerinde dikkat edilecek değişmenler aşağıdaki gibidir;

- Reaktör içerisinde oksijen olmamalıdır.
- Antibiyotik tedavisi gören hayvan atıkları kullanılmamalıdır.
- Deterjan içeren atıklar kabul edilmemelidir.
- Bakteri oluşumu için gerekli olan azot miktarı sağlanmalıdır.
- Reaktördeki pH değeri 7,0 -7,10 arasında olmalıdır.
- Organik asit konsantrasyonu yaklaşık 500-1500 mg/L arasında bulunmalıdır.
- Reaktörün sıcaklık değeri 35°C veya 51°C' arasında tutulmalıdır.
- Fermantasyon içerisi tamamen karanlık olmalı, ışık girmemelidir.
- Reaktör içindeki kükürt miktarı 200mg/L üstüne çıkmamalıdır.
- Metan bakterilerinin beslenmesi için yeterli organik madde olmalıdır (Kaya ve Öztürk 2012).

3.2. Biyogaz Tesisinin Üniteleri

Tasarlanan biyogaz tesisini 3 ana ünite olarak değerlendirmek mümkündür. Bu üniteler,

Biyogaz Üretim Üniteleri

- Gübre Havuzu
- Ön Dengeleme (Besleme) Havuzu
- Biyogaz Reaktörü
- Fermente Gübre Depolama Havuzu
- Seperatör

- Sıvı Gübre Lagünü
- Katı Gübre Lagünü

Biyogaz Yıkama ve Şartlandırma Üniteleri

- Biyogaz Deposu
- Köpük Tutucu
- Kondeksi Tutucu
- Biyogaz Yakma Bacası

Enerji Ünitesi

- Kojenerasyon Sistemi
- Kimyasal Hazırlama ve Dozlama Üniteleri
- $FeCl_3$ Dozaj Ünitesi

3.3. Bekletme Süresinin Seçimi

Bekletme süresi (HBS), reaktöre yüklenen materyalin reaktörde beklediği süredir. Bu süre, fermantasyonun bakteriler tarafından tamamlanabilmesi için substrakın reaktör içerisinde beklemesi gereken süredir. Bekletme süresi ekonomik ölçütlere bağlı olarak belirlenir. Bu açıdan, ekonomik gaz çıkışının azaldığı noktada fermantasyon süresi sonlandırılır. Aksi takdirde, fermantör hacimlerinin büyümesine bağlı olarak maliyet artışına neden olacaktır.

Bekletme süresi aşağıdaki iki değişkene bağlıdır;

1. Reaktörün sahip olduğu sıcaklık
2. Kullanılacak olan besleyici hammadde

Mezofilik sıcaklıkta işleyen tesislerde genellikle bu sıcaklık $20^{\circ} < t < 40^{\circ}$ aralığında bulunmaktadır. Bu sıcaklık aralığında fermentasyona uğrayan sıvı gübre için bekletme süresi yaklaşık olarak aşağıdaki gibidir;

Sıvı sığır gübresi:	35-45 gün
Sıvı domuz gübresi:	20-30 gün
Sıvı tavuk gübresi:	25-45 gün

Büyükbaş hayvan atıkları ile yapılan biyogaz tesislerinin bekletme süresi konusunda yapılmış olan çalışmalar, biyogaz üretiminin 40.gününden sonra azalmaya başladığını kanıtlamıştır. Bekletme süresi, reaktöre alınan organik materyalden elde edilen biyogaz üretiminin yaklaşık %80-90 civarında gerçekleştiği süre aralığında alınabilir (Kaya ve Öztürk 2012).

3.4. Reaktör Seçimi ve Boyutlandırılması

Tesis için seçilecek olan reaktörün tipi ve kapasitesi, tesisteki biyogaz üretimi için kullanılacak olan hammaddenin değişkenleri ve yapısı göz önüne alınarak hesaplanmalı ve istenilen reaktör koşulları tercih edilmelidir. Tasarım aşamasında yapılan teknik tercihler reaktörün sonraki kullanımı için de önem taşımaktadır. Bu bağlamda, tasarım hesaplamalarının iyi yapılması gereklidir. Tasarım ölçüleri olarak, hammadde depolama ve fermantasyonu, değişik birleşim oluşumları, farklı besleme şekilleri, gazın atılması, gazın depolanması, gözlem/kontrol vb. gibi birçok etmen göz önünde bulundurulmalıdır (Yokuş 2011).

Biyogaz tesisi boyutlandırılmalarında (ön dengeleme havuzu, reaktör hacm, sıvı gübre depolama havuzu) aşağıdaki temel hacim denklemi kullanılmaktadır. İnşaat açısından kolaylığından ötürü, denklem (3.1)'de genellikle çap, yükseklikten büyük belirlenmektedir.

$$V = \pi r^2 h \quad (3.1.)$$

Üretilen gaz miktarı reaktördeki substrakt hacminin bir fonksiyonu olduğundan, biyogaz tesisinin tasarımını kontrol eden temel değişken reaktörün iç hacmidir. Biyogaz tesisinin reaktör hacminin hesaplanmasında en önemli parametre bekletme süresinin tespit edilmesidir. Biyogaz tesisi reaktör hacmi aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır.

$$V_d = S_d \cdot HBS \quad (3.2)$$

Burada;

V_d : Reaktör hacmi (m^3),

S_d : Beslenen hammadde miktarı (m^3 /gün),

HBS : Hidrolik bekletme süresi (gün)'dür (Avcıoğlu 2010).

3.5. Biyogaz Reaktörünün Isıtma İhtiyacı ve Isı Kayıpları

Yapılan hesaplamalar neticesinde, biyogaz tesisinin reaktör çalışma sıcaklığı $37^\circ C$ olarak belirlenmiştir. Sıcaklığın sabit tutulabilmesi amacıyla, kojenerasyon ünitesinden elde edilen ısı enerjisi kullanılacaktır.

Q_T : Biyogaz reaktörünü belirlenen sıcaklıkta tutmaya gerekli toplam enerji miktarı (kj)

Q_Y : Biyogaz reaktörünün yüzeyindeki ısı kaybı (kj)

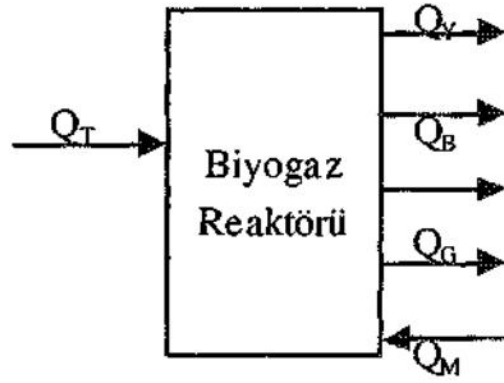
Q_B : Buharlaşan ısı kaybı (kj)

Q_G : Reaktörden çıkan biyogazdan dolayı olan ısı kaybı (kj)

Q_M : Giren hammaddelerin uygun sıcaklığa gelmesi için gerekli ısı (kj)

Q_R : Reaksiyon süresince oluşan ısı kazancı olarak gösterilmiştir (kj)

Biyogaz reaktörünün ısı akışı Şekil 3.1'de şema olarak görülmektedir.



Şekil 3.1. Biyogaz reaktörünün ısı akışı (Köse 1998)

Reaktörün ihtiyaç duyduğu ısı miktarı aşağıdaki gibidir:

$$Q_T = Q_Y + Q_B + Q_G + Q_M - Q_R \quad (3.3)$$

Bu hesaplamalarda,

$$Q_B + Q_G - Q_R \quad (3.4)$$

olur. Toplam ihtiyaç duyulan ısı,

$$Q_T = Q_Y + Q_N \quad (3.5)$$

olarak bulunur. Reaktör yüzeyinde oluşan ısı kaybı,

$$Q_Y = A \cdot K_T \cdot \Delta T \quad (3.6)$$

olarak hesaplanır.

Belirtilen hesaplamada reaktörün toplam yüzey alanı A (m^2), toplam ısı geçişi katsayısı K_T ($kJ / m^2 \cdot ^\circ C$), reaktörün çalışma sıcaklığı ile bölge sıcaklığı farkı ΔT ($^\circ C$) şeklinde alınmaktadır. ΔT hesaplamasında çevre koşullarının etkisi dikkate alınmalıdır. Besleyici maddenin fermentasyon sıcaklığına getirilmesi,

$$QM = m \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (3.7)$$

şeklinde hesaplanır. Bu hesaplamadaki m besleyici maddenin kütlesi (kg), C^p özgül ısı (kj/kg⁰C) , A_T reaksiyon sıcaklığı (°C) ile besleyici madde sıcakları arasındaki farktır (Alkhamis ve ark. 2000).

3.6. Tesis Maliyet Hesaplamaları

Büyükbaş hayvan atıklarının girmesiyle çalışan biyogaz tesisinde oluşan çıktılar ve gelirleri maliyet hesaplamalarının temelini oluşturmaktadır. Bunun dışında, tesisten çıkan her ürünün faydası bulunmaktadır. Bu bağlamda, tesisten çıkan ürünlerin faydaları ve maliyet analizleri Çizelge 3.1’de özetlenmiştir.

Çizelge 3.1. Büyükbaş hayvan atıklarının reaksiyondaki faydaları ve maliyetleri

Ürünler	Faydalar	Maliyetler
Elektrik	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Elektrik kullanımından kurtulma ▪ Elektrik satışı 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Elektrik üretim ekipmanı ▪ İşletme ve bakım ▪ Satıştan alınan vergiler
Biyometan	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Doğal gaz satışı 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Biyogaz toplama ▪ Gaz temizleme ▪ Depolama ve taşıma
Isı	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Isı / sıcak su 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ekipman, işletme ve bakım
Doğal gübre	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kimyasal gübre kullanımında azalma ▪ Nutrient kalitesinde gelişme ▪ Daha düşük tarım ilacı kullanımı ▪ Satış 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Satış anlaşmaları
Karbon kredisi	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Satış 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Veriler ve doğrulama maliyetleri
Çevre	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kokuda azalma ▪ Çevrede kontaminasyon riskinde azalma ▪ Ödenen cezalardan kurtulma ▪ Patojen azaltımı ▪ Metanın kontrol altına alınması 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Substrat yönetimi

3.6.1. Elektrik geliri

Biyogaz tesisindeki fermantasyon sonucunda ortaya çıkan biyogaz, metan dışındaki gazlardan arıtılarak direkt enerji kaynağı olarak kullanılabilirdiği gibi jeneratör sistemleri sayesinde elektrik enerjisi üretiminde de yararlanılabilmektedir. İşletme

ihtiyaçlarını karşılamak adına üretilen elektriğin bir kısmı işletme içinde kullanılmakta ve kalan elektrik fazlası şebekeye satılabildiği gibi, tüm üretilen elektrik satılıp tesis ihtiyacı resmi dağıtıcıdan tedarik edilebilir.

3.6.2. Gübre geliri

Biyogaz tesisindeki, havasız çürüme koşullarında ortaya çıkan atıklar macar fiği, yonca ve mısır ekimi gibi bitkiler organik gübre olarak kullanılmaktadır. Tesisten çıkan doğal gübre katı gübre ve sıvı gübre olarak ayrılmaktadır.

3.6.3. Isı geliri

Biyogaz tesisinde elektrik motorları ya da türbinlerinde yakıldığında çıkan atıl ısıdan reaktör ısıtmasında yararlanılabilmektedir. Bu durum, reaktörlerin ısıtmasına harcanacak olan maliyetleri düşürmektedir.

3.6.4. Karbon geliri

Hayvansal kaynaklı atıklar, kontrolsüz olarak bertaraf edilmeden bırakıldıklarında bozunmaya uğrarlar ve bunun sonucunda metan gazı açığa çıkarırlar. Metan gazı, sera gazı etkisi açısından aynı miktardaki karbondioksitten 20 kat daha tesirlidir. Bu nedenle, atıkların yönetilememesi durumunda oluşan en önemli sorunların başında kontrolsüz metan gazı oluşumu gelmektedir.

Kyoto protokolü kapsamında, sera gazı emisyon değerleri belirlenen sınırı aşan ülkelerin sınırın altında kalan ülkelere bu miktarları satın almaları gerekmektedir. Bu bağlamda, karbon kredisi adı da verilen birçok ticari kuruluşların da dâhil olduğu uluslararası bir karbon borsası oluşmuştur.

3.7. Biyogaz Tesisinin İşlem Akışı

Tasarlanan biyogaz tesisi, 1000 başlık bir büyükbaş hayvan tesisi işletmesinden alınacak atıklar ile işletilecektir. Bu çalışmada biyogaz tesisi olarak kubbeli, sürekli beslemeli ve üretim gazından elektrik üreten, biyo-gübreyi depolayan ve separe eden bir biyogaz tesisinin tasarımı dikkate alınmıştır.

Ahırlardan sıyırma yöntemi ile alınan atıklar, mevcut gübre çukuruna aktarılacaktır. Bu çukurlarda bulunan dalgıç karıştırıcılarla homojenize edilen atıklar, dalgıç pompalar aracılığıyla ön dengeleme (besleme) havuzuna aktarılacaktır. Ön dengeleme havuzunda katı madde miktarı %10'a kadar getirilen atıklar, dalgıç karıştırıcı yardımıyla karıştırılacak, bu şekilde çökelmeler önlenerek, atığın homojen olması sağlanacaktır.

Ön dengeleme havuzundan dalgıç pompa ile basılan bu karışım, debimetre ile debisi ölçülerek üç ayrı hatta verilebilecektir. Bu hatlardan biyogaz reaktörüne, diğeri ise bir sorun durumunda kullanılmak üzere fermente gübre deposuna çekilen tesisattan oluşmaktadır.

Biyogaz reaktörüne basılan atık, reaktör içerisinde bulunan 3 adet karıştırıcı tarafından karıştırılacak ve kojenerasyon ünitesinden alınan sıcak suyun sirküle edildiği ısıtma boruları ile belirlenen çalışma sıcaklığına kadar ısıtılacaktır.

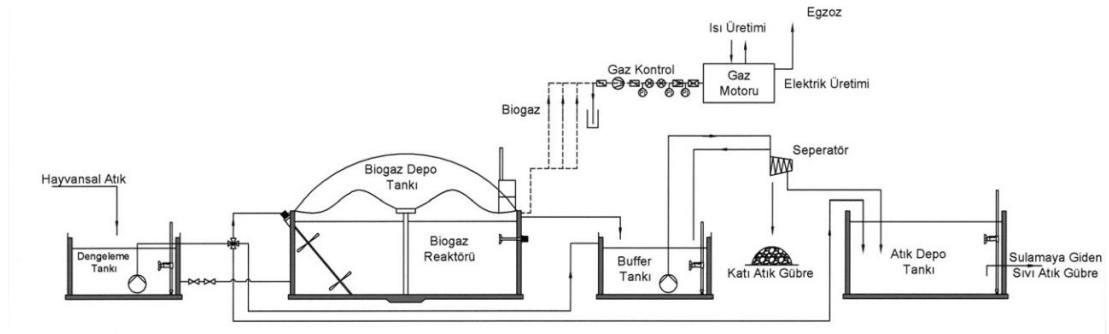
Reaktöre girişte ya da besleme havuzunda atığa $FeCl_3$ dozajlama ünitesi ve statik karıştırıcı yardımıyla H_2S oluşumunu azaltmak amacıyla $FECL_3$ eklenecektir. Reaktör içerisindeki atık, fermente gübre depolama havuzuna, diğeri sıvı gübre lagününe olmak üzere 2 ayrı hatta basılacaktır. Fermente gübre depolama havuzunda atığın çökmesini önlemek üzere dalgıç karıştırıcı beslenecektir. Burada da atığın debisi bir debimetre ile ölçülecektir.

Hatlardan biri mevcut seperatöre, biri ön dengeleme havuzuna diğeri ise sıvı gübre lagününe bağlıdır. Seperatör susuzlaştırılan atıklar, katı gübre deposuna aktarılacaktır. Sızıntı suyu ise sıvı gübre lagününe verilecektir.

Reaktörden elde edilen biyogaz, reaktöre entegre olan çift membranlı gaz deposunda depolanacaktır. İç ve dış membrandan oluşan depoda, reaktör basıncının sabit tutulması amacıyla iki membran arasına hava basılacaktır. Buradan alınan biyogaz, köpük giderici, kimyasal desülfirizasyon ünitesi ve kondens tutucudan geçirecektir. Debisi ölçülerek, bir fan yardımıyla basınçlandırılan biyogaz, kullanılmak üzere kojenerasyon ünitesine ya da bir sorun olması durumunda biyogaz yakma bacasına iletilecektir.

Kojenerasyon ünitesinde biyogaz kullanılarak elektrik ve ısı enerjisi üretilecektir. Elde edilen ısı, biyogaz reaktörünün ısıtılmasında kullanılacak artanı ise işletmenin ihtiyaçlarını karşılamak üzere sevk edilecektir. Elektrik enerjisi ise şebekeye iletilecektir.

Aşağıdaki Şekil 4.1'de iş akış şeması ile biyogaz tesisinin çalışma sistemi şema halinde gösterilmiştir (Anonim 2018b).



Şekil 3.2. Biyogaz tesisi işlem akış şeması

4. BULGULAR

4.1. Tesis Tasarımı ve Hesaplamalar

4.1.1. Toplam atık miktarının hesaplanması

Biyogaz tesisinin hammaddesini sağlayacak olan işletme, 1000 adet büyükbaş hayvan (BBH) kapasitesine sahiptir. Ahırlardan günlük olarak gübre sıyrıcılar ile alınacak olan atıklar, gübre havuzlarında depolanacaktır.

Günlük toplam atık miktarı hesaplanmasında, hayvan başına atık miktarı 22 kg/gün ve katı madde miktarı %20 olarak alınmıştır. Buna göre günlük ve yıllık oluşacak olan atık miktarı aşağıdaki gibi hesaplanır,

$$\text{Günlük Atık Miktarı} = 1000 \text{ adet BBH} \times 22 \text{ kg/adet.gün} = 22.000 \text{ kg/gün} = 22 \text{ ton/gün}$$

$$\text{Yıllık Atık Miktarı} = 22 \text{ ton/gün} \times 365 = 8.030 \text{ ton/yıl}$$

Atık maddenin özgül ağırlığı, yapılan önceki çalışmalardan alınan 986 kg/m^3 olarak kabul edilmektedir. Buradan yola çıkarak günlük hacimsel atık miktarı;

$$\text{Hacimsel Atık Miktarı} = 22.000 \text{ kg/gün} \div 986 \text{ kg/m}^3 = 22,312 \text{ m}^3/\text{gün}$$

olarak bulunur.

Reaktör içerisindeki atıklardan, bakterilerin maksimum seviyede yararlanabilmesi için karışım içerisindeki katı madde oranının (TK) %10 olarak kabul edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, atıkların sulandırılması ve %20 olan katı madde oranının yarıyı indirilmesi gerekmektedir. Bu gereksinim, ahırlardaki sıyrıcıların çalıştırılması sırasında kullanılan yıkama suyu ile çözülecek ve ön dengeleme havuzuna gelen atıkların katı madde miktarı %10 seviyesinde tutulacaktır. Buna göre $22,312 \text{ m}^3/\text{gün}$ olan atık miktarı, aynı orandaki su ile karıştırılarak atık miktarı,

$$22,312 \text{ m}^3/\text{gün} + 22 \text{ m}^3/\text{gün} = 44,312 \text{ m}^3/\text{gün}$$

bulunur. Aynı işlem kuru madde miktarı hesaplaması ile de bulunabilmektedir. Günlük toplam katı (kuru) madde miktarı;

$$\text{Katı Madde Miktarı} = 22 \text{ ton/gün} \times 0,20 = 4,4 \text{ ton/gün}$$

olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunun hacimsel değeri, yoğunlukla çarpılması suretiyle;

$$\text{Katı Madde Miktarı(TK)} = 4,4 \times 0,986 = 4,3380 \text{ m}^3/\text{gün}$$

olarak hesaplanır. Katı madde konsantrasyonun %20'den %10 a düşürülebilmesi için eklenecek su miktarı maksimum;

$$\text{Su Miktarı} = (4,4 \text{ ton/gün} \div 0,10) - 22 \text{ ton/gün} = 22 \text{ ton/gün}$$

olmalıdır. Suyun özgül ağırlığı 1.000 kg/m^3 olduğu göz önüne alındığında, reaktöre günlük beslenecek hacimsel atık miktarının değeri;

$$\text{Kullanılacak Hacimsel Atık Miktarı} = 22,312 + 22 = 44,312 \text{ m}^3/\text{gün}$$

olarak suyla karışmış toplam gübre bulamacı hesaplanır. Biyogaz üretiminde önemli bir parametre de toplam uçucu katı madde (UK) miktarıdır. TK'nın %82,7si olarak hesaplara dâhil edildiğinde, kullanılabilir UK miktarı

$$\text{Uçucu Katı Madde Miktarı} = 4,4 \text{ ton/gün} \times 0,827 = 3,6388 \text{ ton/gün}$$

olarak bulunur.

4.1.2. Ön dengeleme havuzunun boyutlandırılması

Planlanan tesiste sadece sığır gübresi substrakt olarak seçilecek olduğundan, fermentasyonun tamamlanması için 35 günlük bekletme süresi seçilmiştir. Bu

seçimde, tesisin maliyeti, gübre maksimum gaz üretim değerleri ve gübre içindeki patojenlerin bertaraf edilmesi dikkate alınmıştır.

Ön dengeleme havuzunun hacminin belirlenmesinde, günlük olarak biyogaz reaktörüne beslenecek materyalin hacimsel miktarı göz önüne alınır. Sistem işleyişinde sorun yaşanmaması için kullanılabilir havuz hacmi, günlük atık miktarının iki katı olacak şekilde seçilmiştir. Buna göre;

$$\text{Kullanılabilir Ön Dengeleme Havuzu Hacmi} = 2 \times 44,312 = 88,624 \text{ m}^3$$

olarak bulunur. Havuzun çapı 8m olarak kabul edildiğinde, kullanılabilir havuz yüksekliği denklem (3.1) ile;

$$88,625 = \pi 4^2 h$$

$$h = 1,764 \text{ m}$$

olarak bulunur.

Ön dengeleme havuzunun toplam hacmine, kullanılabilir hacme hava payının eklenmesiyle ulaşılır. Genellikle kullanım hacminin 1,5 katı alınabilir. Bu durumda;

$$\text{Toplam Hacim} = 88,624 \times 1,5 = 132,936 \text{ m}^3$$

olur. Bu durumda, minimum havuz yüksekliğinde de, denklem (3.1)'den yararlanılarak;

$$132,936 = \pi 4^2 h$$

$$h = 2,646 \text{ m}$$

olarak bulunur.

Elde edilen minimum havuza ait değerler Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Ön dengeleme havuzu boyutları

Havuz çapı (m)	8
Havuz yüksekliği(m)	2,646
Toplam hacim (m ³)	132,936
Kullanılabilir havuz yüksekliği (m)	1,764
Kullanılabilir hacim(m ³)	88,625

Sistem tasarımında işletmenin ilerideki gelişmeler de göz önüne alınarak ve sorun yaşanmaması amacıyla havuz yüksekliği 3-4 m olarak seçilmesi uygun olacaktır.

4.1.3. Reaktör katı ve uçucu katı madde yüklemesi, reaktör hacmi hesaplanması

Reaktör hacmi başına katı ve uçucu katı madde yükleme değerleri, biyogaz üretimi için önemlidir. Kurulacak olan biyogaz tesisinin kullanılabilir hacim başına katı madde yükleme değeri, katı madde miktarının kullanılan reaktör hacmine oranlanması ile bulunur.

$$\text{Katı Madde Yükleme} = 4.400 \text{ kg/gün} \div 1905,416 \text{ m}^3 = 2,309 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{gün}$$

Uçucu katı madde yükleme değeri ise, uçucu katı madde miktarı ile kullanılan reaktör hacmine oranlanması ile bulunur.

$$\text{Uçucu Katı Madde Yükleme} = 3.638 \text{ kg/gün} \div 1905,416 \text{ m}^3 = 1,909 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{gün}$$

değeriyle kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalmıştır. Bu bağlamda reaktör hacmi aşağıdaki hesaplama ile

$$\text{Reaktör Hacmi} = 44,312 \times 35 = 1550,92 \text{ m}^3$$

olarak olması gereken minimum değer elde edilmektedir. Bu değer yardımıyla, reaktör çapı 20m olarak kabul edildiğinde denklem (3.1) yardımıyla reaktör yüksekliği;

$$1550,92 \text{ m}^3 = \pi 10^2 h$$
$$h = 4,939 \text{ m}$$

olarak bir adet 1550,92 m³ hacme sahip reaktör tasarımı yapılmıştır. Reaktör boyutlarının belirlenmesinde bir diğer değişken ise reaktör üzerinde bırakılacak boşluğun tespit edilmesidir.

Fermantör üzerinde gaz çıkışı olacağından, gazın bu seviyede birikmesi için genel yaklaşım sıvı seviyesinin üzerinde 0,5 -1,0m boşluk bırakılması gerekmektedir. Sistem tasarımında bu değer 0,932 m olarak alınarak reaktör yüksekliği 7 m olarak tasarlanmıştır. Bu şekilde bekletme süresindeki veya atık miktarındaki küçük değişimler karşılanabilecektir. Bu durumda toplam reaktör hacmi denklem (3.1) yardımıyla;

$$V = \pi 10^2 7$$
$$V = 2198 \text{ m}^3$$

olarak bulunabilir. Elde edilen reaktör boyutları aşağıdaki Çizelge 4.2’de belirtilmiştir.

Çizelge 4.2. Biyogaz reaktörünün boyutları

Reaktör adedi	1
Reaktör çapı (m)	20
Reaktör yüksekliği (m)	7
Toplam reaktör hacmi (m ³)	2198
Kullanılabilir reaktör yüksekliği (m)	6.068
Kullanılabilir reaktör hacmi(m ³)	1550,92 m ³

4.1.4. Sıvı gübre depolama havuzu boyutları

Sıvı gübre depolama havuzunun boyutlarının belirlenmesinde, günlük olarak fermente olarak çıkacak atığın hacimsel miktarı göz önüne alınmalıdır. Bu hesaplamada bekletme süresi 20 gün olarak seçilmiş, katı gübre miktarı göz önünde bulundurulmamıştır. Buna göre;

$$\text{Sıvı Gübre Depolama Havuzu Hacmi} = 20 \times 44.312 = 886.240 \text{ m}^3$$

olarak bulunur. Sıvı gübre depolama havuzun çapı 80m olarak alındığında, denklem (3.1) dikkate alınarak kullanılabilir havuz yüksekliği;

$$886,240 = \pi r^2 h$$

$$h = 17,64 \text{ m}$$

olarak hesaplanır. Elde edilen minimum havuz boyutları Çizelge 4.3'te belirtilmiştir.

Çizelge 4.3. Fermente gübre depolama havuzu boyutları

Havuz çapı(m)	80
Havuz yüksekliği(m)	17,64
Toplam hacim(m ³)	886.240

4.2. Tesis Çıktıları Ve Gelir Hesaplamaları

Maliyet hesaplamalarında Çizelge 4.4'de belirtilen 24.05.2018 tarihi Merkez Bankası döviz alış kurları kabul edilmiştir. Tesis bedelleri sektördeki firmalardan Euro para birimi olarak alındığından ötürü, fizibilite tablosunda hesaplamalar tek bir birim olan Euro olarak kabul edilmiştir.

Çizelge 4.4. Birim döviz bedelleri

Birim Bedeller	
\$ Döviz Kuru	4,63
€ Döviz Kuru	5,411
Çapraz Kur (\$/€)	0,855664387

4.2.1. Biyogaz üretimi

Beklenen günlük biyogaz üretiminin hesaplanabilmesi için, 35 günlük bekletme sürecinde giderilen UK miktarının bilinmesi gerekmektedir. Bu amaçla biyogaz üretim potansiyeli deneyinde kullanılan atıkların deney öncesi ve deney sonrası katı ve uçucu madde miktarları ile kütleli değişimleri kullanılmış ve 35.günde %80 giderimin sağlandığı göz önüne alınmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre 35. günde UK giderimi ortalaması olan %54 ise biyogaz üretim hesaplamalarında kullanılmıştır.

Kurulacak olan tesiste günlük olarak işlenecek UK miktarı 3,6 tondur. Buradan giderilen UK miktarı;

$$Uçucu Katı Madde Giderimi=3,6 \text{ ton/gün} \times 0,54 = 1,944 \text{ ton/gün}$$

olarak kabul edilir. Metan oluşumu giderilen kg UK başına 345 litre olarak alındığında günlük metan (CH₄) üretimi;

$$Metan Üretimi=1,944 \text{ ton/gün} \times 0,345 \text{ m}^3/\text{kg}=0,67 \text{ m}^3/\text{gün}$$

olarak bulunur. Yapılan deneysel çalışmalar biyogaz içerisindeki CH₄ oranı %50-65 civarında olduğunu göstermiştir. Metan oranı %55 alındığında günlük biyogaz üretim potansiyeli;

$$Biyogaz Üretimi= 0,67 \text{ m}^3/\text{gün} \div 0,55=1.218 \text{ m}^3/\text{gün}$$

olarak hesaplanır.

$$Yıllık\ Biyogaz\ Üretimi = 1.218\ m^3/gün \times 365 = 444.570\ m^3/yıl$$

olarak bulunmuştur. %55 CH4 içeriğine sahip biyogazın alt ısıl değeri yaklaşık olarak 21 Mj/m³ (5020 kcal/m³ – 5,837 kWh/m³) dür.

4.2.2. Elektrik üretimi ve elektrik geliri

Elektrik üretimi hesaplanması için gerekli jeneratör gücü hesaplanması gerekmektedir. Bir yılda toplam 8760 saat olmasına rağmen tesis maliyet hesaplamalarında olası hasarlar ve bakım süreçleri için yıllık toplam tesis çalışma süresi 7000 saat olarak kabul edilmiştir. Böylelikle, yıllık elektrik ve biyogaz üretimi güvenli olarak hesaplanmıştır. Sektörel firmalardaki yapılan araştırmalara göre, jeneratör kapasitesi, tesis kapasitesiyle orantılı olarak 125 kW olarak alınmıştır. Bu değerler ile tesis yıllık elektrik üretimi,

$$Yıllık\ Elektrik\ Üretimi = 7000 \times 125\ kWh = 875.000\ kWh/yıl$$

olarak bulunmuştur. Tesisin yıllık elektrik üretiminin %7'si kadar elektriğe ihtiyaç duymaktadır, şebekeye aktarılmadan önce iç tüketim ihtiyacını kendi üretiminden harcanması düşünüldüğünde,

$$Yıllık\ İç\ Elektrik\ Tüketimi = 61.250\ kWh/yıl$$

bulunur. Yıllık elektrik üretiminden, yıllık iç elektrik tüketiminin farkı alındığında,

$$Net\ Elektrik\ Üretimi = 875.000\ kWh/yıl - 61.250\ kWh/yıl = 813.750\ kWh/yıl$$

olarak hesaplanmıştır.

Yenilenebilir Enerji Bakanlığı, 5346 Sayılı “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının” Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun’da kurumlarından sonraki 10 yıl içinde 13,3\$cent/kWh değerinde sabit alım garantisi vermektedir. Yıllık elektrik üretiminin, elektrik alış bedelinin çapraz kur ile hesaplanmasıyla

$$Yıllık Elektrik Geliri = 99.577,94 \text{ €}$$

olarak hesaplanmaktadır. Bu bağlamda, kurulacak yenilenebilir enerji tesislerinin maliyet analizlerinde tesis iç tüketimini 18,45TL/kWh olarak şebekeden almak ve üretilen elektriğin tamamını şebekeye aktarmak daha uygun olacaktır.

$$Tesis İç Tüketim Bedeli = 61.250 \times 18,45 = 1.129.817 \text{ TL}$$

olarak gider kaleminde belirtilmelidir.

4.2.3. Gübre üretimi

Yıllık gübre üretiminin %22’si katı ve %78’i sıvı gübre olarak çıkması ön görülmüştür. Bu bağlamda, önceki bölümlerde hesaplandığı gibi yıllık 8.030 tonluk gübre girişi olduğunda,

$$Yıllık Katı Gübre Üretimi = 1.767 \text{ ton/yıl}$$

$$Yıllık Sıvı Gübre Üretimi = 6.263 \text{ ton/yıl}$$

olarak hesaplanmaktadır.

Ülkemizde sıvı gübrenin maddi bir değeri olmamasına karşın, yapılan araştırmalarda katı gübrenin 100TL/ton mali değere sahip olduğu belirlenmiştir. Bu bağlamda, üretilecek katı gübre ile elde edilecek gelir;

$$Yıllık Gübre Geliri = 32.648,31 \text{ €}$$

olarak hesaplanmıştır.

4.2.4. Isı üretimi

Sektörel firmalardan alınan verilere göre, jeneratör gücüne bağlı olarak hesapladığımız yıllık toplam elektrik üretiminin %66 katı olarak ısı üretim bedeli hesaplamak mümkün olacaktır. Buna göre,

$$\text{Yıllık Isı Üretimi} = 875.000 \text{ kWh/yıl} \times 0,66 = 1.321.2000 \text{ kWh/yıl}$$

olarak kabul edilmiştir. Yapılan araştırmalarda, piyasadaki ısı birim bedeli 0,01€/kWh olarak belirlenmiş ve yıllık ısı geliri;

$$\text{Yıllık Isı Geliri} = 13.212,00 \text{ €}$$

olarak hesaplanmıştır.

4.2.5. Karbon emisyonu

Sera gazı etkisini düşüren teknolojilerin bu açıdan bir katma değeri bulunmaktadır. 125kW elektrik kapasiteli tesisimizde, yıllık karbon emisyonu değeri 5.000 ton/yıl olarak kabul edilmiştir. Yapılan araştırmalarda, karbon emisyonu bedeli 1,5€/ton olarak belirlenmiş ve yıllık ısı geliri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır;

$$\text{Yıllık Isı Geliri} = 5.000 \text{ ton/yıl} \times 1,5 \text{ €/ton} = 7.500, 00 \text{ €}$$

Bu bağlamda, biyogaz tesisinde oluşan çıktılar, birim bedeller ve gelirler aşağıda bulunan Çizelge 4.5'te özetlenmiştir.

Çizelge 4.5. Biyogaz tesisi çıktıları ve gelir kalemleri

ÇIKTILAR	
Biyogaz	
Biyogaz Üretimi	444.570 m3/yıl
Elektrik	
Elektrik Üretimi	875.000 kWh/yıl
İç Elektrik Tüketimi	61.250 kWh/yıl
Net Elektrik Üretimi	813.750 kWh/yıl
Gübre	
Gübre Üretimi	8.030 ton/yıl
Katı Gübre	1.767 ton/yıl
Sıvı Gübre	6.263 ton/yıl
Isı	
Isı Üretimi	1.321.200 kWh/yıl
Karbon	
Karbon Emisyonu	5.000 ton/yıl

GELİRLER	
Elektrik Geliri	99.577,94 €
Gübre Geliri	32.648,31 €
Isı Geliri	13.212,00 €
Karbon Emisyonu Geliri	7.500,00 €
Toplam Gelir	152.938,25 €

Birim Bedeller	
Ş Döviz Kuru	4,63
€ Döviz Kuru	5,411
Çapraz Kur (€/€)	0,855664387
Elektrik Birim Bedeli \$	13,3 \$cent/kWh
Elektrik Dağıtım Bedeli	
Elektrik Alış Bedeli	18,45 TL/kWh
Kuru Gübre Birim Bedeli	100 TL/ton
Isı Birim Bedeli	0,01 €/kWh
Karbon Emisyonu Bedeli	1,5 €/ton

Yıllık Toplam Çalışma Saati	7000
Jeneratör Gücü	125

* 24.05.2018 M.B. Döviz Alış Kuru

4.3. Tesis Giderleri

Ülkemizdeki biyogaz tesislerinin bir çoğu anahtar teslim olarak Avrupa menşeli firmalar tarafından yapılmaktadır. Bu çalışmamızda amaç kurulacak biyogaz tesisi değerlerinin uygulanabilirliğini kanıtlamak olduğundan, mevcuttaki tesislerden fiyat teklifleri alınmış ve çalışmamızdaki 1000 başlık 125 kWh kapasiteli, 88,625 ön depolama sistemine sahip, 35 gün bekleme süreli tesis bedeli 421.736,00 € olarak belirlenmiştir. Kabul edilen bu fiyata, biyogaz tesisindeki bütün üniteler dahil olup başka bir yatırım bedeli gerekmeyecektir. Bu bağlamda,

$$\text{Tesis Yatırım Bedeli} = 421.736,00 \text{ €}$$

olacaktır. Bir biyogaz tesisi atık temini, çalışan bedelleri, sigorta bedelleri, bakım onarım bedelleri, tesis iç tüketim bedeli, yıllık lisans bedeli ve biyolojik destek olarak bir çok gidere sahiptir. Bu değerlerin gerçekten hesaplanabilmesi için tesisin çalışması gerekmektedir. Bu çalışmada alınan değerler, teknoloji firmalarının verdiği tekliflerin

analiz edilmesi ile belirlenmiştir. Çizelge 4.6’da 125 kW kapasiteli biyogaz tesisinin olası yıllık giderleri belirtilmiştir.

Çizelge 4.6. Biyogaz tesisi yıllık gider tablosu

GİDERLER	
Personel Giderleri	3.733,10 €
Sigorta giderleri	3.000,00 €
Bakım ve onarım giderleri	16.940,00 €
Bakım ve onarım giderleri (Kojenaratör)	13.205,00 €
Tesis İç Tüketim Bedeli	2.088,00 €
Elektrik iletim, dağıtım ve bağlantı giderleri	1.100,00 €
Genel giderler	3.000,00 €
Biyolojik Destek	2.250,00 €
Yıllık Lisans Bedeli	262,50 €
Nakliye Gideri	1.606,00 €
Toplam Gider	47.185 €

4.4. Tesis Maliyet Analizi

Biyogaz tesisi gelir kalemleri, elektrik, gübre, ısı ve karbon emisyonu olarak 4 ana değer olarak hesaplandığında tesis yıllık toplam geliri *152.938,25 €* olarak bulunmuştur. Olası tesis değer kalemleri de *47.185,00 €* olarak alındığında, yıllık brüt işletme karı *105.735,65 €* olarak hesaplanmıştır.

Ülkemizde henüz büyük çaplı biyogaz tesislerinin kurulumu yeteri kadar yaygınlaşmamış olduğundan, emniyetli tarafta kalmak amacıyla yapılan hesaplamalarda maliyetler maksimum değerlerinde alınmıştır. Bu değerler ile fizibilite hesaplaması yapıldığında, tesis bedelinin geri dönüş süresi *4 yıl* olarak bulunmuştur.

Yapılan bütün hesaplamalar, fizibilite çalışması olarak Çizelge 4.7’de belirtilmiştir.

Çizelge 4. 7. Biyogaz tesisi fizibilite şablonu

BIYOGAZ TESİSİ (125kWel) (22ton/gün)	
ÇIKTILAR	
Biyogaz	444.570 m ³ /yıl
Biyogaz Üretimi	875.000 kWh/yıl
Elektrik	61.250 kWh/yıl
Elektrik Üretimi	813.750 kWh/yıl
İç Elektrik Tüketimi	
Net Elektrik Üretimi	
Gübre	
Gübre Üretimi	8.030 ton/yıl
Katı Gübre	1.767 ton/yıl
Sıvı Gübre	6.263 ton/yıl
Isı	
Isı Üretimi	1.321.200 kWh/yıl
Karbon	
Karbon Emisyonu	5.000 ton/yıl
Yıllık Toplam Çalışma Saati	7000
Jeneratör Gücü	125
GELİRLER	
Elektrik Geliri	99.577,94 €
Gübre Geliri	32.648,31 €
Isı Geliri	13.212,00 €
Karbon Emisyonu Geliri	7.500,00 €
Toplam Gelir	152.938,25 €
Birim Bedeller	
\$/ Döviz Kuru	4,63
€ Döviz Kuru	5,411
Çapraz Kur (\$/€)	0,855664387
Elektrik Birim Bedeli \$	13,3 Scent/kWh
Elektrik Dağıtım Bedeli	
Elektrik Alış Bedeli	18,45 TL/kWh
Kuru Gübre Birim Bedeli	100 TL/ton
Isı Birim Bedeli	0,01 €/kWh
Karbon Emisyonu Bedeli	1,5 €/ton
GİDERLER	
Personel Giderleri	3.733,10 €
Sigorta giderleri	3.000,00 €
Bakım ve onarım giderleri	16.940,00 €
Bakım ve onarım giderleri (Kojenaratör)	13.205,00 €
Tesis İç Tüketim Bedeli	2.088,00 €
Elektrik iletim, dağıtım ve bağlantı giderleri	1.100,00 €
Genel giderler	3.000,00 €
Biyolojik Destek	2.250,00 €
Yıllık Lisans Bedeli	262,50 €
Nakliye Gideri	1.606,00 €
Toplam Gider	47.185 €
Brüt İşletme Karı	105.753,65 €
Tesis Bedeli	421.736,00 €
Tesis Dönüş Süresi	4,0 yıl

* 24.05.2018 M.B. Döviz Alış Kuru

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Ülkemiz için tarım ve hayvancılık önemli bir gelir kaynağı olduğundan, yenilenebilir enerji kaynaklarından biyogaz, yüksek üretim potansiyeli olan önemli bir enerji kaynağıdır. Büyük kapasiteli tesis işletmeleri, çevresel bilinç konusunda yetersiz kalmasından dolayı üretimde gerekli birçok maliyeti kabul etmişken, işletmede oluşan atıkların bertarafından kaynaklanacak giderleri kabul etmemekte ve bu konuda yapılacak yatırımların bütçeyi kötü etkileyeceğini düşünerek gerekli bulmamaktadır. Bahsi geçen işletmelere, çevre bilinci aşılması ve bu konuda desteklenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, bu bilincin oluşturulması hedeflenmiş olup, bir biyogaz tesisinin ne kadar karlı olacağı gösterilmek istenmiştir.

Tez kapsamında, 1000 büyük baş kapasiteye sahip bir çiftlik için günlük atık miktarı 22 ton olarak belirlenmiş ve bu 125 kW kapasiteli bir biyogaz tesisi için uygun tasarım projelendirilmiş olup; tasarlanan tesisin biyogaz üretim potansiyeline bağlı olarak elektrik üretim kapasitesi belirlenmiştir. Kırsal bir evde tüketilen elektrik enerjisi 2.628 kWh/yıl olarak kabul edilirse (Murphy 2004), satılan elektrik enerjisinin kullanılabileceği ev sayıları;

$$\text{Elektrik enerjisi kullanan ev sayısı} = 875.000 \text{ kWh/yıl} / 2628 \text{ kWh/yıl} = 333 \text{ ev}$$

olarak hesaplanabilir. Tesisten üretilen elektrik enerjisinin yanı sıra, tesisin üreteceği ısı ve tesisten çıkacak olan katı, sıvı fermente gübreye ek olarak karbon emisyon bedelinin de ekonomik analizi yapılmış olup; tesis gider ve gelir kalemleri incelenmiştir.

Tesisin ekonomik analizi kapsamında dinamik değerlendirilmesinde net bugünkü değer analizi ve iç karlılık oranı analizi kullanılmıştır. İlk yatırım maliyeti 421.736,00 € olan bu tesiste, yıllık brüt işletme karı 105.753,36 € olarak hesaplanmış ve bu değerler ile yapılan fizibilite çalışmasında yatırımın geri ödeme periyodu 4 yıl olarak belirlenmiştir.

Tesis Yenilenebilir Enerji Bakanlığı'nın 10 yıllık sabit alım garantisi ile 4.yılından sonra kazanç getirmeye başlayarak, kalan 6 yıl boyunca yıllık 105.753,36 €kar elde etmeye devam edecektir. Anahtar teslim biyogaz tesisi firmaları, yaptıkları tesisler için 20 yıllık garanti vermektedirler. Bu bağlamda, tesisin kendi bedelini çıkardıktan sonra en az 16 yıllık bir çalışma hedeflenmelidir.

Tasarlanan biyogaz tesisi projesinin gerçekleştirilecek kurulan tesisin kendini kısa sürede amorti edeceği görülmektedir. Bu tasarımdaki tesis, büyük sayılabilecek kapasitede olmaktadır ancak küçük çiftçi bazında da hesaplamalar yapıldığında; oldukça uygun maliyet hesaplamalarının ortaya çıkması mümkün olacaktır. Bu sebeple, ülkemizde bütünleşik atık yönetim stratejilerinin uygulanarak çürütme tesislerinin yaygınlaştırılması, çevre sağlığı ve ülke ekonomisi açısından oldukça büyük faydalar sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Acaroglu, M. 2003.** Alternatif enerji kaynakları. Atlas Yayın Dağıtım, Ankara, 341 s.
- Acaroglu, M. 2007.** Alternatif enerji kaynakları (II. Baskı). Nobel Yayınevi, Ankara, 609 s.
- Akkova, İ. 2008.** Yenilenebilir enerji kaynakları, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 224 s.
- Alibaş, K. 2004.** Biyogaz üretimi ve sistemleri. Tarımsal Mekanizasyon Kongresi 22. Ulusal Kongresi, 08-10 Eylül 2004, Aydın.
- Alkhamis, T.M., El-Khazah, M., Kablan, R. M. 2000.** Heating of biogas reactor using a solar energy system with temperature control unit. *Solar Energy J.*, 69: 239-247 .
- Angelidaki, I., Ahring, B.,K., Ellegaard, L. 1999.** A comprehensive model of anaerobic bioconversion of complex substrates to biogas. *Biotechnology and Bioengineering*, Danimarka, 63 s.
- Anonim, 1996.** IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: reference manual, Intergovernmental Panel on Climate Change, İngiltere.
- Anonim, 2017.** Sera gazı emisyonları, United Nations Climate Change. http://unfccc.int/ghg_data/ghg_data_unfccc/items/4146.php-(Erişim tarihi:10.04.2018)
- Anonim, 2018a.** Biyogaz tesisi üniteleri. <http://www.hochreiter-tr.com/tesis-unite/erişim>-(Erişim tarihi:02.05.2018).
- Anonim, 2018b.** Biyogaz çalışmaları. Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü. http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/biyoenerji/01-biyogaz/bg_hammadde.html-(Erişim tarihi:01.05.2018).
- Aoki, K., Umetsu, K., Nishizaki, K., Takahashi, J., Kishimoto, T., Tani, M., Hamamoto, O., Misaki, T. 2006.** Thermophilic biogas plant for dairy manure treatment as combined power and heat system in cold regions, *International Congress Series*, 1293: 238-241.
- Appels, L., Baeyens, J., Degreve, J., Dewil, R. 2008.** Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge. *Progress in Energy and Combustion Science*, 34: 755–781.
- Arslan, H., Gülen, J. 2005.** Biyogaz. *Journal of Engineering and Natural Science.*,4 : 121-129.
- Avcı, A., Kılıç, M., Can, M. 1995.** Doğal gaz sıvılaştırma yöntemleri, sıvılaştırılmış doğalgazın nakli ve depolanması üzerine bir inceleme, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(2): 45-52.
- Aydın, G. 2012.** Humus biyogaz döngüsü ve biyogaz atıklarının humus etkisi, *SAÜ Fen Edebiyat Dergisi*, 14(1): 383-371.
- Ayhan, A. 2013.** Farklı karışım oranlarındaki sığır gübresi ve mısır silajından mezofilik fermantasyonla üretilebilecek biyogaz miktarlarının belirlenmesi üzerine bir araştırma. *Doktora Tezi*, UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.
- Ayman, N. 1997.** Microbial population dynamics in an anarobic completely stirred tank reactor treating a pharmaceutical wastewater. *Yüksek Lisans Tezi*, BÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Başçetinçelik, A., Öztürk, A., Karaca, C. 2007.** Türkiye’de Tarımsal Biyokütleden Enerji Üretimi Olanakları. Kayseri IV. Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Sempozyumu,

http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/32590c74a229a9f_ek.pdf?dergi=563-
(Erişim Tarihi: 05.05.2018).

Berglund, M., Börjesson, P. 2006. Assessment of energy performance in the life-cycle of biogas production. *Biomass & Bioenergy*, 30(3) : 254–266.

Buswell, A.M., Hatfield, W.D. 1936. Anaerobic Fermentations. *State of Illinois, Dept. of Registration and Education, Div. of the State Water Survey*, 23: 1-193.

Camcı Ö., Sarıca M., Şekeroğlu A. 2013, Kafes sisteminde gübrenin uzaklaştırılması ve yönetimi, *Tavukçuluk Araştırma Dergisi*, 10: 35-39.

Çallı, B. 2012. Atıklardan biyogaz üretimi, Türkiye Kimya Derneği. <http://mebig.marmara.edu.tr/Presentations/BiyogazUretimi.pdf>(Erişim tarihi:05.05.2018).

Demir, İ. 1993. Hayvan atıklarından biyogaz eldesi. Türk Devletleri Arasında 2. İlimi İşbirliği Konferansı, 2-3 Kasım 1993, Kazakistan

Demirer, G.N., Demirer, T., Duran, M., Ertan, B., Özdemir, F., Tümay, İ., Torunoğlu, E. 1997. Ve kirlendi dünya...Öteki Yayınevi, Ankara, 520 s.

Deniz, Y. 1987. Türkiye’de biyogaz potansiyeli ve biyogazın sağlayacağı yararlar, Tarım Orman ve Köy İşleri Bakanlığı Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Ankara Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları No:48, Ankara.

Deublein, D., Steinhauser, A. 2008. Biogas from waste and renewable resources. Wiley-VCH Verlag GmbH,Almanya, 450 s.

Erickson, L.E., Fung, D.Y.C. 1988. Handbook on anaerobic fermentations. *Ann NY Acad. Sci.* 369: 81-89.

Gerrardi, M.H. 2003. Wastewater microbiology series: microbiology of anaerobic digester. Wiley Interscience, Amerika, 182 s.

Gerrardi, M.H. 2006. Wastewater microbiology series: wastewater Bacteria. Wiley Interscience, Amerika, 256 s.

Köse, F. 1998. Güneş Isıtmalı Biyogaz Üretimi, Enerji Workshop Bildirileri Cilt 1, Konya , s. 94-101 .

Halil, Ş., Elibol E. A., Açıkel Ü., Şenol, M. 2017. Türkiye’de biyogaz üretimi için başlıca biyokütle kaynakları, *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6(2): 81-92.

Hohlfeld, J. 1985. Production and Utilization of Biogas in Rural Areas of Industrialized and Developing Countries. *Mikrobielle Methangewinnung; in: Fortschritte der Verfahrenstechnik.*

Karakuz, S. 2015. Biyogaz Üretimi. Schmack Biyogaz, http://www.emo.org.tr/ekler/0d936dc2a4718f8_ek.pdf-(Erişim tarihi:05.05.2018).

Kaya, D., Öztürk, H. 2012. Biyogaz Teknolojisi. Umuttepe Yayınları, Kocaeli, 300 s.

Kılıç, F.Ç. 2011. Biyogaz, önemi, genel durumu ve Türkiye’deki yeri. *Mühendis ve Makina Dergisi*, 52(617): 94-106 .

Koca, A. 2007. Yenilenebilir bir enerji kaynağı: biyogaz. *Doğu Ana.Böl. Arş. Dergisi*, 3: 129-137.

Koçar, G., Eryaşar, A., Atayol, A.A. 2003. Güneş enerjisi destekli biyogaz reaktörlerinin oluşturulmasında karşılaşılan sorunlar ve çözüm önerileri. *Bilim ve Teknik Dergisi*, 210: 52-59.

Koçar, G. 2006. Atıktan mutfağa biyogaz. *Bilim ve Teknik Dergisi*, 467: 42-47.

Koçar G., Eryaşar A., Ersöz Ö., Arıcı Ş., Durmuş A. 2010. Biyogaz teknolojileri, Ege Üniversitesi Basımevi, İzmir, 270 s.

- Koçer, Ç. 2014.** Muş İlinde Hayvan Potansiyelinin Değerlendirilerek Biyogaz Üretiminin Araştırılması. *Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2(1): 215-220.
- Korres, N. E., Kiely, P. O., Jonathan, S. W., and Benzie, J. A. H. 2013.** Bioenergy anaerobic by digestion and wastes: using agricultural biomass and organic wastes. Routledge Press, İngiltere, 442 s.
- Kossmann, W. 1999.** Basics volume 1, information and advisory service on appropriate technology (ISAT), GATE in DeutscheGesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), GmbH, Eschborn, Almanya, 368 s.
- Murphy, J.D. 2004.** Technical/economic/environmental analysis of biogas utilisation. *Applied Energy*, 77: 407-427.
- Öncel, S., İkizoğlu, E., Öngen, G., Vardar, F., 2003.** Tarımsal atıkların değerlendirilmesinde kullanılan biyogaz üreteç tipleri. *II. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*. İzmir.
- Öztürk, M. 2005.** Hayvan gübresinden biogaz üretimi. Çevre ve Orman Bakanlığı, 5: 8-21.
- Sabuncu, Ö.C. 2010.** Biyogaz üretiminin teknik,ekonomik ve çevresel analizi. *Yüksek Lisans Tezi*, HÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı,Ankara.
- Safley, L.M., Casada, M. E., Woodbury, J. W., and Roos. 1992.** Global methane emissions from livestock and poultry manure. *Enviromental Protection Agency Office of Policy, Planning and Evulation Congress*, Amerika.
- Seadi T.A., Rutz D., Prassl H., Köttner M., Finsterwalder T., Volk S., Janssen R.,2008.** Biogas handbook, University of Southern Esbjerg, Danimarka, 130 s.
- Tolay, M. 2012.** Hayvansal atıklardan biyogaz üretimi, <http://www.yesilekonomi.com/yayinlar/makale/pdf/Hayvansal-Atıklardan-Biyogaz-Uretimi.pdf>-(Erişim tarihi: 08.06.2018)
- Ward, A.J., Hobbs, P.J., Holliman, P.J., Jones, D.L. 2008.** Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources. *Bioresource Technology*, 99(17): 7928-7940.
- Yakut, H.U. 2012 .** Karıştırıcı Hızının Biyogaz Üretimi Üzerine Etkisinin İncelenmesi. Kocaeli Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli.
- Yaldız, O. 2001.** Biyogaz üretiminde kofermentasyon çalışmaları: Yenilenebilir enerji kaynakları sempozyumu ve sergisi bildiriler kitabı, Editör: Su, Ş., Tmmob Makine Mühendisleri Odası, Kayseri, s 229-238.
- Yaldız, O. 2004.** Biyogaz teknolojisi. Akdeniz Üniversitesi Basımevi, Antalya, 168 s.
- Yokuş, İ. 2011.** Sivas ilindeki hayvansal atıkların biyogaz potansiyeli. *Yüksek Lisans Tezi*, AÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- Yokuş, İ., Avcıoğlu A. 2012.** Sivas ilindeki hayvansal atıklardan biyogaz potansiyelinin belirlenmesi, Tarımsal Mekanizasyon Ulusal Kongresi, 5-7 Eylül 2012, Samsun.
- Yürük, F. 2015.** Kanatlı hayvan atıklarının biyogaz potansiyelinin belirlenmesi ve tesis yerleşim optimizasyonu: düzce ili örneği. *Yüksek Lisans Tezi*, SÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya.

EKLER

EK 1 Türkiye’de Biyokütle Lisansı Alan Şirketler



EK 1: Türkiye’de Biyokütle Lisansı Alan Şirketler

Sıra No	Firma Adı	Tesis Adı	Tesis Yeri	Lisans Kurulu Gücü (MWm)	Lisans Ortalama Üretim (kWh/yıl)
1	AFYON ENERJİ VE GÜBRE ÜRETİM TİCARET VE SANAYİ ANONİM ŞİRKETİ	Afyon Biyogaz Santrali	AFYONKARAHİSAR	4,254	29.750.000
2	ALBE DOĞALGAZ DAĞITIM VE ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİM LİMİTED ŞİRKETİ	Albe- I Biyogaz Santrali	ANKARA	1,87	12.691.000
3	AREL ÇEVRE YATIRIMLARI VE ENERJİ ÜRETİM TİCARET LİMİTED ŞİRKETİ	Arel Enerji Manavgat Biyokütle Tesisi	ANTALYA	3,72	25.200.000
4	BOĞAZKÖY ENERJİ ELEKTRİK ÜRETİM TİCARET LİMİTED ŞİRKETİ	Amasya Çöp Gaz Elektrik Üretim Tesisi	AMASYA	2,464	16.800.000
5	CARGİLL TARIM VE GIDA SANAYİ TİCARET ANONİM ŞİRKETİ	Cargill Bioenerji Tesisi	BURSA	1,4	946.080
6	DERİN ENERJİ ÜRETİM SANAYİ VE TİCARET LİMİTED ŞİRKETİ	Beypazarı Biyogaz Tesisi	ANKARA	2,481	16.665.600
7	EKOLOJİK ENERJİ LİMİTED ŞİRKETİ	Katı Atık Bertaraf Tesisi	TEKİRDAĞ	0,8	4.233.000
8	GASKİ ENERJİ YATIRIM HİZMETLERİ İNŞAAT SANAYİ VE TİCARET ANONİM ŞİRKETİ	GASKİ Enerji Yatırım Hizmetleri İnşaat San. ve Tic.A.Ş. Üretim Santrali	GAZİANTEP	35,75	122.640
9	HAYAT ENERJİ ELEKTRİK ÜRETİM SANAYİ VE TİCARET ANONİM ŞİRKETİ	Hayat Biyokütle Üretim Santrali	KOCAELİ	0,995	6.685.000
10	ITC-KA ENERJİ ÜRETİM SANAYİ VE TİCARET ANONİM ŞİRKETİ	Sincan Çadırtepe Biyokütle Enerji Santrali	ANKARA	23,2	138.768.000
11	KADIRLI BES ELEKTRİK ÜRETİM İNŞAAT MAD. SANAYİ VE TİCARET ANONİM ŞİRKETİ	Kadirli BES	OSMANİYE	9,297	65.079.000
12	KARAMAN YENİLENEBİLİR ENERJİ ÜRETİM ANONİM ŞİRKETİ	Karaman Biyogaz Tesisi	KARAMAN	1,5	9.898.000
13	KORFEZ ENERJİ SANAYİ VE TİCARET ANONİM ŞİRKETİ	Kocaeli Çöp Biyogaz Projesi	KOCAELİ	5,232	35.651.000
14	MERSİN BÜYÜKŞEHİR İMAR İNŞAAT TURİZM OTOYOL ELEKTRİK ÜRETİM REKLAM VE ORGANİZASYON SANAYİ VE TİCARET ANONİM ŞİRKETİ	Karaduvar Atıksu Arıtma Tesisi Biyogaz Santrali	MERSİN	1,9	13.300.000
15	ORTADOĞU ENERJİ SANAYİ VE TİCARET ANONİM ŞİRKETİ	Odayeri Çöp Gazı Santrali	İSTANBUL	34,671	236.649.000
16	POLRES ELEKTRİK ÜRETİM ANONİM ŞİRKETİ	Polatlı Biyogaz Tesisi	ANKARA	1,551	10.297.000
17	SİGMA ELEKTRİK ÜRETİM MÜHENDİSLİK VE PAZARLAMA LİMİTED ŞİRKETİ	Sigma Suluova Biyogaz Tesisi	AMASYA	2,04	14.000.000
18	SİMGE ENERJİ ELEKTRİK ÜRETİM VE GIDA İMALAT SANAYİ TİCARET ANONİM ŞİRKETİ	İpsala 2 MW Biyokütle Elektrik Üretim Projesi	EDİRNE	2	14.000.000
19	SÜREKO ATIK YÖNETİMİ NAKLİYE LOJİSTİK ANONİM ŞİRKETİ	Ege bölgesi Endüstriyel Atık Bertaraf ve Geri Kazanımı ile Enerji Üretimi Santrali Projesi	MANİSA	0,952	6.384.000
20	ZGC BES ENERJİ ANONİM ŞİRKETİ	Zgc Bes Enerji Anonim Şirketi Bolu Üretim Santrali	BOLU	7	49.000.000

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ayşe Özge SAVAŞ
Doğum Yeri ve Tarihi : Çorlu, 20.05.1992
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise Pendik Fatih Anadolu Lisesi, 2010, İstanbul
Lisans Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi
Biyosistem Mühendisliği Bölümü, 2014, Bursa

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

01.2017 - 10.2017 Isun Enerji A.Ş, İstanbul
Proje Geliştirme Müdürü
03.2015 - 08.2016 Integreen Yenilenebilir Enerji Sistemleri, İstanbul
Proje Geliştirme Mühendisi
06.2013 - 09.2013 Aarhus Üniversitesi, Danimarka
Biyogaz Tesisi, Stajyer

İletişim (e-posta) : ayseozgesavas@gmail.com