



**FARKLI ÖZELLİKTEKİ ORGANİK ATIKLARIN BİYOGAZ ÜRETİM
POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ**

Gül EROĞLU BULUT

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE BİLİMLERİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ARALIK 2017

Gül EROĞLU BULUT tarafından hazırlanan “FARKLI ÖZELLİKTEKİ ORGANİK ATIKLARIN BİYOGAZ ÜRETİM POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Çevre Bilimleri Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Beril SALMAN AKIN

Biyoloji Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan: Prof. Dr. Levent TURAN

Biyoloji Eğitimi Anabilim Dalı, Hacettepe Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Prof. Dr. Aysel Çağlan GÜNAL

Çevre Bilimleri Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 06/12/2017

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Gül EROĞLU BULUT

06/12/2017

FARKLI ÖZELLİKTE ORGANİK ATIKLARIN BİYOGAZ ÜRETİM POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Gül EROĞLU BULUT

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Aralık 2017

ÖZET

Bu araştırmada, sığır gübresi, yemek atıkları ve tofu atık suyunun anaerobik arıtma yöntemiyle biyogaz kapasitesi belirlenmeye çalışılmıştır. Aynı zamanda düşük miktarlarda eklenen biyokömürün biyogaz üretimine olan etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, 150 mL hacimli 15 adet cam serum şişesi kullanılmıştır. Anaerobik arıtım süresince oluşan gazlar toplanmış ve analizleri yapılmıştır. Şişelerin içerisinde aşı olarak yemek atıkları ve sığır gübresi karışımı, substrat olarak da tofu atık suyu kullanılmıştır. Çalışma boyunca sıcaklık 37°C’de sabit tutulmaya çalışılmıştır. Hidrolik bekleme süresi 32 gün olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada, en fazla kümülatif biyogaz üretimi %0,5 karışimli biyokömür ile elde edilmiştir. Standard metan verimi en yüksek 434,85 mLCH₄/gVs olarak aşı ve tofu atıksuyu karışımından elde edilmiştir. Deneysel çalışmalarda gaz ölçümlerine ilaveten sudaki KOI ve pH miktarları da ölçülmüştür. Hazırlanan her deney setinde KOI gideriminin farklı oranlarda gerçekleştiği belirlenmiştir. Deneysel çalışmalarda pH değeri 6,24 ile 7,67 aralığında değişim göstermiştir. Diğer taraftan, en fazla kümülatif metan üretimi tofu atık suyu karışımı ile elde edilmiştir. Bütün numunelerde KOI (kimyasal oksijen ihtiyacı) değerlerinde azalma olduğu ve pH değerleri standartlar içinde kaldığı görülmüştür.

Bilim Kodu : 90322
Anahtar Kelimeler : Anaerobik arıtım, biyogaz üretimi, sığır gübresi, yemek atıkları, tofu atık suyu, biyokömür
Sayfa Adedi : 72
Danışman : Doç. Dr. Beril SALMAN AKIN

DETERMINATION OF BIOGAS PRODUCTION POTENTIAL OF DIFFERENT
ORGANIC WASTES

(M. Sc. Thesis)

Gül EROĞLU BULUT

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

December 2017

ABSTRACT

In this study, biogas capacity was tried to be determined by anaerobic digestion of dairy manure, food waste and tofu whey wastewater. In addition, the effect of adding low amount of biochar on biogas production was examined. For this purpose, 15 glass bottles with a volume of 150 mL were used. Gases formed during anaerobic digestion were collected and analyzed. In the bottles, food wastes and dairy manure were used as an inoculum and tofu whey wastewater was as a substrate. The temperature was tried to be held at 37°C. Hydraulic retention time was defined as 32 days. In this study, the highest biogas production was obtained with only %0,5 biochar. The highest standard methane yield was observed with the mixtures of inoculum and tofu whey wastewater as 434,85 mLCh₄/gVs. In experimental studies, in addition to gas measurements, COD and pH values in water were also measured. COD removal occurs at different ratios in each experimental set. Experimental studies showed a change in pH range between 6,24 and 7,67. On the other hand, the highest methane production was obtained with tofu whey wastewater. At all samples, COD (Chemical Oxygen Demand) decreased and pH values remained within the standards.

Science Code : 90322

Key Words : Anaerobic digestion, biogas production, dairy manure, food wastes, tofu whey wastewater, biochar

Page Number : 72

Supervisor : Assoc. Prof. Beril SALMAN AKIN

TEŞEKKÜR

Çalışma boyunca değerli yardım ve katkılarından dolayı sayın hocam Doç.Dr. Beril SALMAN AKIN'a, Rochester Yüksek Teknoloji Üniversitesi Golisano Sürdürülebilirlik Enstitüsü Direktörü Doç.Dr. Nabil Nasr'a, Rochester Yüksek Teknoloji Üniversitesi Kate Gleason Mühendislik Fakültesi Makine mühendisliği bölümünde Prof. Dr. Hany Ghoneim'e, tez çalışmam sırasında laboratuvar olanakları konusunda yardımlardan dolayı Rochester Yüksek Teknoloji Üniversitesi Golisano Sürdürülebilirlik Enstitüsü'nde sayın hocam Doç.Dr. Thomas TRABOLD'a teşekkür ederim. Deneysel çalışmalarında bana yardımcı olan arkadaşlarım doktora öğrencileri Shwe Sin Win ve Swati Hedge'ye ayrıca teşekkür ederim. Manevi destekleriyle hiçbir zaman beni yalnız bırakmayan eşim Murat'a, annem Nebahat'a, babam Ünal'a ve erkek kardeşim Ahmet Can'a teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
RESİMLERİN LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER VE KURUMSAL TEMELLER.....	3
2.1. Anaerobik Arıtma.....	3
2.2. Anaerobik Arıtmada Biyolojik Süreçler	3
2.2.1. Hidroliz.....	5
2.2.2. Asit oluşumu	5
2.2.3. Asetik asit oluşumu	5
2.2.4. Metan oluşumu.....	5
2.3. Anaerobik Çürümeye Etki Eden Koşullar ve Değişkenler.....	5
2.3.1. Toplam katı içeriği	6
2.3.2. Sıcaklık.....	6
2.3.3. Alıkoyulma süresi	7
2.3.4. Hidrojen iyonu derişimi (pH).....	7
2.3.5. Karbon/azot (C/N) oranı.....	7
2.3.6. Karıştırma.....	8
2.3.7. Parçacık boyutu	9

	Sayfa
2.3.8. Aşılama.....	9
2.3.9. Toksisite	9
2.4. Biyogaz.....	10
2.4.1. Biyogaz üretiminde kullanılacak olan hammaddeler	13
2.5. Amerika Birleşik Devletlerinde Biyogaz Potansiyeli	14
2.6. New York Eyaleti Biyogaz Potansiyeli.....	15
2.7. Biyogaz Kullanım Alanları	16
2.8. Biyogaz Üretiminde Kullanılan Anaerobik Reaktör Çeşitleri	17
2.9. Yemek Atıkları.....	21
2.10. Hayvansal Atıklar.....	22
2.11. Tofu ve Tofu Atık Suyu	22
2.12. Biyokömür (Biochar)	24
2.12.1. Piroliz	25
3. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	27
3.1. Anaerobik Arıtma.....	28
3.2. Yemek Atıkları.....	28
3.3. Sığır Gübresi	29
3.4. Tofu Atık Suyu.....	29
3.5. Biyokömür.....	30
4. MATERYAL VE METOD	31
4.1. Çalışma Ortamı	31
4.2. Kullanılan Materyaller	32
4.2.1. Aşı numunesi.....	32
4.2.2. Tofu atık suyu.....	33
4.2.3. Biyokömür numunesi	34
4.3. Numunelerin Hazırlanması	35

	Sayfa
4.4. Deney Düzenneđi	37
4.5. Yapılan Analizler ve Ölçümler	37
4.5.1. Toplam katı analizi.....	37
4.5.2. Uçucu katı analizi.....	39
4.5.3. Biyogaz ölçümü ve analizi	40
4.5.4. pH ölçümü	41
4.5.5. KOI ölçümü.....	42
5. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA.....	43
5.1. Biyogaz Üretim Potansiyeli	43
5.2. Kümülatif Biyogaz Üretimi.....	44
5.3. Metan Üretimi	46
5.4. Kümülatif Metan Üretimi.....	49
5.5. Standard Metan Verimi	51
5.6. pH Ölçüm Deney Sonuçları	52
5.7. KOI Ölçüm Deney Sonuçları	53
5.8. İstatistiksel Analizler.....	53
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	55
KAYNAKLAR	57
EKLER.....	65
EK-1. Golisano Institute of Sustainability	66
EK-2. Synergy Biyogaz Firması	67
EK-3. Soyboy Firması	68
EK-4. Mektup	69
ÖZGEÇMİŞ	70

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Anaerobik çürütmenin çevresel gereklilikleri	4
Çizelge 2.2. C/N oranı	8
Çizelge 2.3. Anaerobik arıtmada çeşitli engelleyicilerin engelleme seviyesi	10
Çizelge 2.4. Metan üretimine amonyak etkisi	10
Çizelge 2.5. Biyogazın bileşimi	11
Çizelge 2.6. 1 m ³ biyogazın enerji eşdeğerleri	12
Çizelge 2.7. Organik madde içeriğine göre biyogaz miktarı, bileşim ve ısı değeri	12
Çizelge 2.8. Biyogazın diğer gazlar ile karşılaştırılması	12
Çizelge 2.9. Çeşitli kaynaklardan elde edilebilecek biyogaz verimleri ve biyogazdaki metan oranları	14
Çizelge 2.10. Hayvan cinsine göre yıllık yaş gübre miktarı	22
Çizelge 2.11. Gübre cinsine göre 1 ton gübre ile elde edilecek biyogaz miktarı	22
Çizelge 2.12. Piroliz teknolojileri	26
Çizelge 4.1. Tofu atık suyuna ait analiz sonuçları	34
Çizelge 4.2. Akçaağaç biyokömürüne ait besin elementi içerikleri.....	35
Çizelge 4.3. Numune karışım miktarları.....	36
Çizelge 5.1. Biyogaz üretim miktarlarının günlere göre ölçülen değerleri.....	44
Çizelge 5.2. Kümülatif biyogaz üretimi verileri	45
Çizelge 5.3. Biyogaz % potansiyeli	46
Çizelge 5.4. Ölçülen metan (%) bileşeni	48
Çizelge 5.5. Metan üretimi verileri	49
Çizelge 5.6. Kümülatif metan üretimi verileri	50
Çizelge 5.7. Hesaplanan metan % potansiyeli	51
Çizelge 5.8. pH ölçüm değerleri	52
Çizelge 5.9. KOI ölçüm değerleri(mg/L).....	53

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.10. Günlere göre karışımlara ait betimleyici istatistikler (biyogaz)	54
Çizelge 5.11. Günlere göre karışımlara ait betimleyici istatistikler (metan)	54

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Biyogaz temel denklemi	3
Şekil 2.2. Organik maddelerin anaerobik ayrışma aşamaları	4
Şekil 2.3. Bazı organik maddelerin biyogaz potansiyelleri (m ³ biyogaz/ton atık)	13
Şekil 2.4. Tofu üretimi	23
Şekil 2.5. Farklı kaynak ve ürünlerden biyokütlenin dönüşüm teknikleri	25
Şekil 5.1. Ortalama biyogaz üretim potansiyeli	43
Şekil 5.2. Kümülatif biyogaz üretimi grafiği	45
Şekil 5.3. Metan ortalama üretim potansiyeli	47
Şekil 5.4. Kümülatif metan üretimi grafiği	50
Şekil 5.5. Biyokimyasal metan potansiyeli için standard metan verimi	52

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Biyogaz döngüsü ve kullanım alanları	11
Resim 2.2. Amerika Birleşik Devletleri toplam anaerobik arıtma tesisleri (2012, ABD Çevre Koruma Ajansı)	15
Resim 2.3. Amerika Birleşik Devletlerinde anaerobik arıtma tesislerde üretilen toplam elektrik üretimi (2012, ABD Çevre Koruma Ajansı)	16
Resim 2.4. Sabit çatılı Çin tipi reaktör	18
Resim 2.5. Yüzer çatılı tipi reaktör	18
Resim 2.6. Sabit torba tipi reaktör	19
Resim 2.7. Balon tipi reaktör (1. Karıştırma haznesi 2. Reaktör 3. Gaz depolayıcı 4. Çamur depolama 5. Gaz borusu 6. Ağır yük 11. Doldurma borusu 41. Çıkış borusu 51. Su tutucu 61. Destek çerçeve	19
Resim 2.8. Tam karışımli reaktör	20
Resim 2.9. Lagün tipi reaktör	21
Resim 2.10. Piston akımlı reaktör	21
Resim 2.11. Tofu	24
Resim 3.1. John Dalton tarafından İngiltere’de biyogaz toplanması	27
Resim 4.1. Golisano sürdürülebilirlik enstitüsü	31
Resim 4.2. Laboratuvar ortamı	32
Resim 4.3. Synergy firmasına ait sığırlar	33
Resim 4.4. Tofu atık suyu	33
Resim 4.5. Akçaağaç biyokömür materyali	34
Resim 4.6. Bioprocess kontrol analiz programı	35
Resim 4.7. İnkübatör içinde numuneler ve inkübatör	37
Resim 4.8. Hassas terazi	38
Resim 4.9. Etüv	38
Resim 4.10. Desikatör	39

Resim	Sayfa
Resim 4.11. Kül fırın	40
Resim 4.12. GC-2014 biyogaz ölçüm cihazı	41
Resim 4.13. Biyogaz ölçüm analiz sonucu	41
Resim 4.14. pH -Metre	42
Resim 4.15. KOI ölçüm cihazı.....	42

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

%	Yüzde
C/N	Carbon/Nitrogen rate
GW	Gigawatt
Kg	Kilogram
Kwh	Kilowatt hour
L	Litre
mL	Mililitre
°C	Derece santigrat
sn	Saniye

Kısaltmalar

Açıklamalar

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ANL	Argonne National Laboratory
BMP	Biochemical methane potentionel
GIS	Golisano Institute of Sustainability
KM	Kuru madde
KOİ	Kimyasal oksijen ihtiyacı
RIT	Rochester Institute of Technology
TKM	Toplam katı madde
UKM	Uçucu katı madde
USDA	United States Department of Agriculture

1. GİRİŞ

Dünyadaki nüfus artışına paralel olarak insanların enerji gereksinimi de artış göstermektedir. Nüfusun artışı daha fazla tüketime sebep olmakta ve bunun ile birlikte çevre sorunlarının en önemli kaynaklarından biri olan atıklar artış göstermeye başlamıştır ve bu durum büyük bir problem haline gelmiştir. Enerji kaynak gereksimlerinin karşılanması ve çevre sorunlarının çözümü için atıklardan yararlanma çalışmalarına son yıllarda özellikle ekonomisi ve teknolojisi ileri düzeyde olan ülkelerde başlanmıştır. 7,5 milyarı geçen dünya nüfusunun artışı ile birlikte oluşan atıklar ve bu atıkların verimli bir şekilde değerlendirmesi büyük bir sorun teşkil etmektedir. Dünya nüfusunun büyük bir çoğunluğu kırsal alanlara oranla kentsel alanlarda yaşamakta ve bu nüfus artışı yıllar ilerledikçe devam etmektedir. 2017 yılı itibari ile kentsel alanlarda yaşayan nüfus kırsal alanlarda yaşayan nüfusu geçmiş ve şu anda 3,5 milyar olan kentsel nüfusun 2050 yılında 6 milyar olacağı tahmin edilmektedir [1]. 2013 yılında 7,2 milyar olan Dünya nüfusunun 2025 yılında 1 milyar artış göstermesi ile birlikte 2050 yılında 9,6 milyar olacağı öngörülmektedir [2]. Şu anda nüfus artışı 1960 yılına oranla 2 katına çıkmış ve bu oranın 2050 yılında 3 katına çıkması öngörülmektedir [3].

Dünya nüfusunun artması ile paralel olarak organik atıklar da artış göstermektedir. Bu atıkların önemsenmemesi durumunda çevre kirliliği özellikle büyük şehirlerde artış gösterecektir. Yıllarca atık yönetimi çoğunluk ile depolama ile yapılmıştır. Dünyada depolama alanları gün geçtikçe azalmaktadır. New York şehrinde depolama için ayrılan alan 2001 yılında tükenmiş ve günlük 12,500 ton çöp New York eyaleti dışına kamyon ve tren ile taşınmaktadır [4]. Londra yıllık yaklaşık olarak 20 milyon ton atığı 18 değişik depolama alanlarına göndermekte ve bu depolama alanları gün geçtikçe tükenmektedir [5]. 2006 yılında Kanada'nın Toronto şehrinde yıllık yarım milyon ton atık Amerika Birleşik Devletleri Michigan eyaletine gönderilmektedir. 2011 yılında Toronto şehri yetkilileri şehir merkezine 200 km uzakta atık depolama için yer satın almıştır [6]. Bu atıklara çok basit bir çözüm maalesef bulunamamıştır.

Amerika Birleşik Devletlerinde yaygın olarak sığır çiftlikleri bulunmakta ve ciddi oranlarda atık üretilmektedir. Atıkların önemli miktarda kısmı biyogaz potansiyeli oluşturmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri (ABD) Tarım Bakanlığı (USDA- United States Department of Agriculture) 2015 yılı verilerine göre 98,4 milyon sığır mevcuttur [7]. Bu rakamlar

gösteriyor ki sığır gübresi, Amerika Birleşik Devletleri için önemli bir enerji potansiyeli oluşturmaktadır.

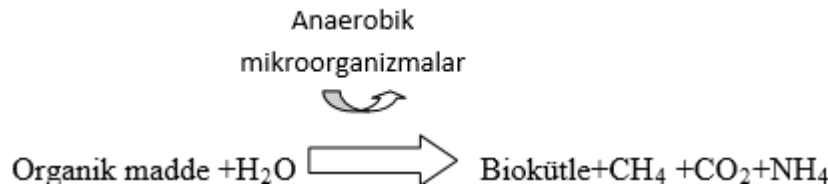
Dünyada enerji gereksinimlerinin büyük bir kısmı fosil yakıtlardan elde edilmek sureti ile karşılanmaktadır. Fosil yakıtlar maalesef yoğun bir çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Dünya kirlilik kriterleri üst limitlere çıkmış ve fosil yakıtların bir gün tükeneceği bilinmektedir. Bu nedenle gelişmiş ülkelerde ucuz, temiz ve sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji konusunda çalışmalar yapılmaktadır. Biyokütle enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer almakta ve önemli bir yere sahiptir. Anaerobik biyoteknoloji, çevre kirliliğine neden olan atıkların arıtımını sağlaması açısından ve yan ürün olarak biyogaz olarak metan üretebilmesi nedeni ile yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer almaktadır [8].

Bu tez çalışmasının amacı, sığır gübresi, yemek atıkları, tofu atık suyu ve biyokömür kullanılarak anaerobik arıtım ile biyogaz üretim potansiyelinin belirlenmesidir. Bu araştırma tofu atık suyu ile birlikte biyokömür kullanımının metan ve biyogaz üretim potansiyeline etkisinin belirlenmesi açısından yapılan bir çalışma niteliğindedir. Literatürde bu konuda daha önce yapılmış bir çalışmaya rastlanmamıştır.

2. GENEL BİLGİLER VE KURUMSAL TEMELLER

2.1. Anaerobik Arıtma

Anaerobik arıtma, mikroorganizmaların organik atıkları moleküler oksijen yokluğunda metan (CH_4), karbondioksit (CO_2), hücresel ve diğer organik maddelere çevirdiği biyolojik bir süreçtir. Biyogaz, anaerobik arıtma sonucunda ortaya çıkmaktadır. Ortaya çıkan gazın içeriğinin büyük oranını metan (CH_4) oluştururken, diğer kısmını karbondioksit (CO_2), hidrojen sülfür (H_2S), azot (N_2) gibi gazlar oluşturmaktadır. Biyogaz ile ilgili en temel denklem Şekil 2.1’de yer almaktadır.

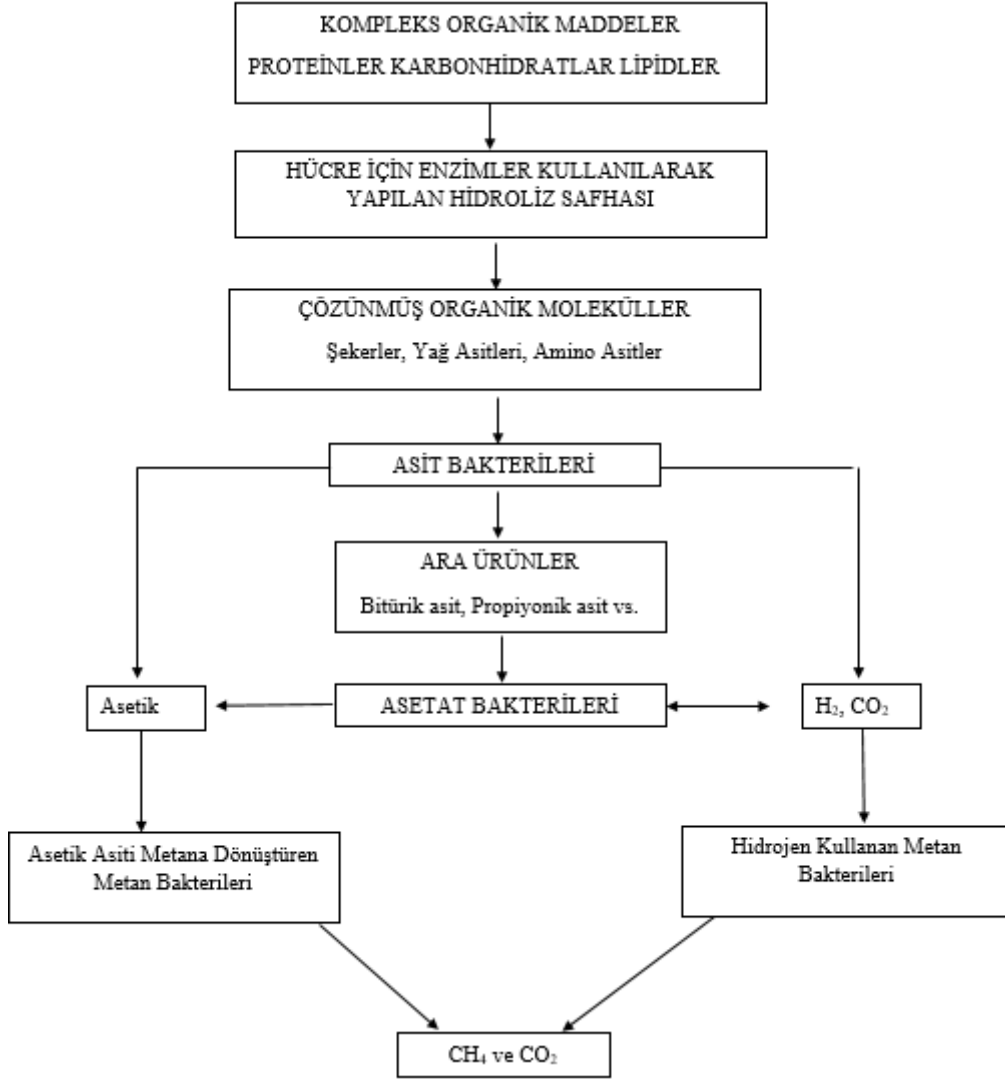


Şekil 2.1. Biyogaz temel denklemi

Atıklar organik kökenli olmak ile birlikte karbonhidrat (selüloz), protein ve ham yağlar içermekte olup biyogaz üretimi için gerekli maddeleri oluşturmaktadır. Hayvansal, bitkisel ve insan kökenli atıklar başlıca atıklardır. Atık türlerine göre karbonhidrat, protein ve yağ içerikleri değişim göstermektedir. Sığır gübresini oluşturan organik maddelerin çoğunluğunu selüloz oluştururken, tavuk gübresinde organik maddelerin çoğunluğunu proteinler oluşturmaktadır [9].

2.2. Anaerobik Arıtmada Biyolojik Süreçler

Anaerobik arıtmada, birçok mikroorganizma grubunun rol aldığı karmaşık biyolojik süreç bulunmaktadır. Anaerobik fermantasyon işlemi biyokütlelerin oksijensiz ortamda metan ve karbondioksite dönüşümü dört basamakta gerçekleşmektedir [10]. Bu dört basamak sırası ile hidroliz, asit oluşumu, asetik asit oluşumu ve metan oluşumudur [11, 12]. Şekil 2.2’de organik maddelerin anaerobik ayrışma aşamaları görülmektedir.



Şekil 2.2. Organik maddelerin anaerobik ayrışma aşamaları [13]

Anaerobik çürütme için çevresel şartların göz önünde bulundurulması gereklidir. Çizelge 2.2’da anaerobik çürütmenin çevresel gereklilikleri görülmektedir.

Çizelge 2.1. Anaerobik çürütmenin çevresel gereklilikleri [14]

Parametre	Hidroliz/Asit üretimi	Metan Oluşumu
Sıcaklık	25-35 °C	Mezofilik: 32-42 °C Termofilik: 50-58 °C
pH	5,2-6,3	6,7-7,5
C/N	10-45	20-30
Kuru madde oranı	<%40	<%30
Redoks potansiyeli	(+400)-(-300)mV	<-250mV
Gerekli C:N:P:S	500:15:5:3	600:15:5:3
İz elementler	Özel ihtiyaç yoktur	Gerekli: Ni, Co, Mo, Se

2.2.1. Hidroliz

Çözünemeyen kompleks organik moleküllerin organizmalar yardımı ile enzimatik olarak çözülebilen organik moleküllere dönüşümün gerçekleştirildiği ilk aşamadır. Bir diğer ifade ile organik polimerler kendilerini oluşturan monomerlere parçalanır. Bu basamakta proteinler, aminoasitlere; yağlar, yağ asitlerine ve gliserine; nişasta, glikoz ve dekstroza; selüloz, glikoza hidrolize olur. Dönüşümler mikroorganizmaların aktiviteleri ile gerçekleşmektedir. Bu aşamada, enzimatik bir reaksiyon gerçekleştiği için pH ve sıcaklığın etkisi önemlidir. Bunun dışında karışımın yaşıda (mikroorganizma bekletme süresi) proses üzerinde etkili olmaktadır. Yağlar, hidroliz süreç hızına da ayrıca etkili olmaktadır ve hidroliz aşamasında yağlar yavaş hidrolize olduğu için uzun sürmektedir.

2.2.2. Asit oluşumu

Hidrolize uğrayan polimerik bileşiklerden oluşan moleküller (aminoasit, yağ asidi, glikoz, dekstroz, alkol, vb.) asit oluşturan mikroorganizmalar yardımı ile organik asitlere (valerik, bütirik, propiyonik) ve alkollere dönüşür [15].

2.2.3. Asetik asit oluşumu

Anaerobik aşamada biyolojik süreçlerin üçüncü aşaması olup asit aşamasında oluşan organik asitler bir grup anaerobik mikroorganizma aside dönüştürülürler [16].

2.2.4. Metan oluşumu

Metan üretimi oldukça yavaş bir süreç olmak ile birlikte anaerobik arıtmada genel olarak hız sınırlayıcı adım olarak kabul edilmektedir [8]. Asetik asit aşamasında oluşan asetik asit, CO₂, H₂, metan oluşturan mikroorganizmalar yardımıyla metane dönüşmektedir [8].

2.3. Anaerobik Çürümeye Etki Eden Koşullar ve Değişkenler

Organik atıklar temel olarak karbonhidratlar, lipidler, proteinler ve lingoselülozdan oluşmaktadır. Atıkları oluşturan bileşimler biyogazın miktarını ve metan içeriğini etkilemektedir. Karbonhidratlar; protein, lipid ve selüloz ile mukayese edildiğinde daha

kolay ve hızlı bir şekilde fermente olmaktadır. Ancak lipidlerin biyogaz potansiyeli protein ve karbonhidrata göre daha yüksektir.

Organik bileşenlerin düzgün dağılımını sağlamak için uygulanması gereken çeşitli koşullar ve değişkenler bulunmaktadır. Anaerobik arıtma işletme parametreleri, mikrobik aktiviteyi arttırmak ve anaerobik arıtma verimliliğini artıracak şekilde kontrol edilmelidir [17]. Bu parametrelerden bazıları aşağıda kısa açıklanmaktadır .

2.3.1. Toplam katı içeriği

Anaerobik çürüme sisteminde üç farklı aralıkta katı içerik olarak sınıflandırılmaktadır [18]. Düşük katı içerikli anaerobik çürüme sisteminde toplam katı içeriği %10 dan az, orta katı içerikli anaerobik çürüme sisteminde toplam katı içeriği %15-20 arasında, yüksek katı içerikli anaerobik çürüme sisteminde toplam katı içeriği % 22-40 'dır [18].

2.3.2. Sıcaklık

Metan üreten bakterilerin, büyümeleri ve faaliyetlerini gerçekleştirebilmeleri sıcaklığa doğrudan bağlantılıdır. Mikroorganizmaların metabolizma ile ilgili faaliyetlerin tümü kimyasal reaksiyonlara dayanmaktadır. Kimyasal tepkimeler gibi, mikroorganizmaların meydana getirdiği tepkimeler de sıcaklığa bağlıdır. Anaerobik çürüme üç ana sıcaklık aralığında gerçekleşebilir.

Sıcaklık aralıklarına göre organizmalar üç gruba ayrılırlar: Sakrofilik (Psychrophilic) şartlar 20°C altında, Mezofilik şartlar 20-45°C arasında olup genellikle optimum etkinlik sıcaklığı 35°C, termofilik (Thermophilic) şartlar 50-65°C arasında olup genellikle optimum etkinlik sıcaklığı 55°C'dir.

Sıcaklığın artması ile birlikte alıkoyulma süresi azalmaktadır [11, 12]. Bu özellik üç grup için aynıdır. Örnek olarak mezofilik şartlarında üst limit olan 35-37°C sıcaklıkta yapılan anaerobik arıtma ile elde edilen metan miktarı mezofolik şartlarında alt limit olan 20-30°C sıcaklıkta anaerobik arıtma ile elde edilen metandan daha fazladır [12].

2.3.3. Alıkoyulma süresi

Alıkoyulma süresi, organik maddenin tamamen parçalanması için gereken zamandır. Alıkoyulma süresi işlem sıcaklığı ve atık kompozisyonu gibi proses parametrelerine göre değişmektedir. Bir anaerobik arıtmada işlenen atıkların alıkoyulma süresi sakrofilik şartlarda 40-100 gün, mezofilik şartlarda 25-40 gün aralığında, termofilik şartlarda 15-25 gün arasında değişmektedir [12].

2.3.4. Hidrojen iyonu derişimi (pH)

pH bir çözeltinin asit veya baz olma özelliğinin şiddetini gösteren bir terim olup çözelti içerisinde bulunan H^+ iyonu konsantrasyonunu ve hidrojen iyonunun aktivitesini göstermektedir. Anaerobik bakterilerin gelişimi reaktör içerisindeki pH değişimlerine göre hassasiyet göstermektedir. Hidrojen iyonu konsantrasyonu (pH), organizmaların aktivitelerini ve büyümelerini önemli ölçüde etkiler. Her organizmanın maksimum aktivite gösterdiği bir optimum pH aralığı vardır. Genellikle bakteriler pH=3-8, mantarlar pH=3-6, küfler pH=3-7, bitki hücreleri pH=6,5-7,5 arasında optimum aktivite gösterirler. Yapılan çalışmalarda anaerobik fermentasyon için gerekli pH aralığının 5,5-8,5 olduğu ortaya konulmuştur [18]. Biyogaz üretiminde pH derecesinin, özellikle reaksiyon hızına ve diğer parametrelere önemli bir etkisi bulunmaktadır. Asit üreten bakteriler metan üreten bakterilerden daha hızlı çoğaldıklarından asit üretimi sistemde artarak metan üreten bakterilerin aktivitesini düşürmektedir [19]. Bu nedenle sistemin pH değeri sürekli kontrol altında tutulmalıdır [19].

2.3.5. Karbon/azot (C/N) oranı

Bütün organik atıklar belirli oranlarda karbon, azot, fosfor, oksijen ve diğer elementleri içerisinde bulundurmaktadır. Anaerobik bakterilerin en önemli besin maddeleri karbon ve azottur. Mikroorganizma karbonu enerji kaynağı olarak kullanırken azotu yeni hücrelerin oluşturulmasında büyümesinde ve çoğalmasında yapı malzemesi olarak kullanmaktadır. Azotun azlığı hücresel gelişimi engellediğinden dolayı verimi düşürmekte, çok olması durumunda ise amonyak birikimi söz konusu olmakta ve pH değeri 8,5'e değerlerine ulaşmaktadır. Bu durum sistemin inhibe olmasına neden olmaktadır. Sonuçta yanmayan bir gaz ve kötü bir koku ortaya çıkmaktadır. C/N oranının 8'den daha düşük durumlarda bu etki

görülmektedir [20]. Çizelge 2.2’de C/N oranları yer almaktadır. Buğday samanı için C/N oranı 90/1, mısır samanı için C/N oranı 60/1, inek gübresi için C/N oranı 24/1’dir.

Çizelge 2.2. C/N oranı [21]

Ham madde	C/N oranı
Ördek gübresi	8
İnsan dışkısı	8
Tavuk gübresi	10
Keçi gübresi	12
Domuz gübresi	18
Koyun gübresi	19
İnek gübresi	24
Su sümbülü	25
Belediye katı atığı	40
Fil gübresi	43
Mısır samanı	60
Pirinç samanı	70
Buğday samanı	90

Biyogaz üretilecek atıklarda C/N oranı 16-25 olmalıdır. Atıkta bu oran sağlanmıyorsa farklı organik maddelerin karıştırılması ile istenilen optimum oran elde edilebilir.

C/N<16 :Amonyak miktarının fazla olması nedeni ile biyogaz üretimi olumsuz yönde etkilenmektedir.

C/N=16-25 :Birden fazla atığın karıştırılması ile sağlanabilir [22].

C/N>25 : Azotun yeterli miktarda olmadığı durumdur. Bu nedenle anaerobik bakterilerin metabolik faaliyetlerini olumsuz yönde etkilemekte ve yeterli pH tamponu sağlanamaz.

2.3.6. Karıştırma

Karıştırma ile sistemde üretilmiş olan gazın sistemden uzaklaştırılması, sisteme dahil olan yeni malzemenin bakteri içeren malzeme ile karışması, sistem içerisinde yüzeyde oluşan gazın çıkışını engelleyen tabakanın dağılmasını ve çökelpmenin önlenmesini amaçlanmaktadır. Karıştırma ile sistemde sıcaklığın ve bakterinin dağılımı homojen olması sağlanmaktadır.

2.3.7. Parçacık boyutu

Biyogazın üretimini etkileyen faktörlerden bir tanesinde karışım içerisindeki parçacıkların boyutlarıdır. Çok büyük parçacıklar mikroorganizmaların sindiriminde sorun teşkil eder ve sindiricide tıkanıklığa neden olmaktadır. Küçük parçacık boyutu, karışım adsorpsiyonu için büyük bir yüzey alanı vermekte ve mikrobik aktivetelerin artması ile gaz üretiminin artışına izin vermektedir [23].

2.3.8. Aşılama

Havasız ortamlarda organik atıklar biyogaz üretimini kendileri başlatmaktadır. Yeni bir anaerobik süreci başlatmak için, fermantasyon sürecinin başlatılması için mikroorganizmalı aşılama işleminin yapılması çok önemlidir. İşletmekte olan bir tesisten alınacak olan çamur yüksek oranda mikroorganizma içerdiği için yeni çalışacak tesise aşılama işleminin alınma süresini kısıltacaktır [24].

2.3.9. Toksisite

Ham madde içerisinde yer alan mineral iyonlar, deterjanlar ve ağır metaller anaerobik arıtma ortamında toksik etki yaparak mikroorganizmaların büyümelerini engellerler. Bu maddelerden mineral iyonların (sodyum, potasyum, kalsiyum, magnezyum, amonyum ve kükürt) belirli miktarın üzerinde bulunması bakterilerin büyümesini engellemektedir. Ayrıca kurşun, nikel, bakır, çinko, krom gibi ağır metallerin yüksek konsantrasyonlarda bulunması toksik etki yapmaktadır. Deterjanlar, dezenfektanlar, antibiyotikler ve organik solventler bakterilerin metan üretim kapasitelerini düşürmektedirler. Anaerobik süreçlerde bazı maddelerin toksik etki yapan konsantrasyonları Çizelge 2.3'te verilmiştir.

Çizelge 2.3. Anaerobik arıtmada çeşitli engelleyicilerin engelleme seviyesi [25]

Engelleyiciler	Engelleme Seviyesi (mg/L)
Sülfat (SO_4^{-2})	5 000
Sodyum klorür ve genel tuzlar (NaCl)	40 000
Nitrat (N olarak hesaplanmış)	0,05
Bakır (Cu^{+2})	100
Krom (Cr^{+3})	200
Nikel (Ni^{+2})	200-500
Sodyum (Na^{+1})	3 500-5 500
Potasyum (K^{+1})	2 500-4 500
Kalsiyum (Ca^{+2})	2 500-4 500
Magnezyum (Mg^{+2})	1000-1 500
Mangan (Mn^{+2})	1 500 üzeri

Anaerobik arıtmada amonyak konsantrasyonunun metan üretimine etkisi Çizelge 2.4'te verilmiştir. 5-200 mg/l amonyak bakterilerin büyümesini ilerletirken 1500 mg/l amonyak bakterilerin üzerinde toksit etki eder.

Çizelge 2.4. Metan üretimine amonyak etkisi [25]

Konsantrasyon (mg NH_3/l)	Etkisi
5-200	Faydalı
200-1 000	Ters etkisi yok
1 500-3 000	Yüksek pH değerlerinde muhtemelen engelleyici
>3 000	Toksik

2.4. Biyogaz

Biyogaz, organik atıklardan gaz üretimini ifade eder. Başka bir ifade ile oksijensiz ortamda mikrobiyolojik floranın etkisi altında organik maddenin karbondioksit (CO_2) ve metan (CH_4) gazına dönüştürülmesidir. Biyogaz, temiz, çevre dostu ve yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Biyogaz doğal bir ortamda oluşabilir ya da kontrollü bir ortamda biogaz üretim tesislerinde ya da anaerobik çürütme ile oluşturulabilir. Biyogaz oluşumu için organik madde, bakteri, anaerobik ortam ve ısı gerekmektedir. Biyogaz renksiz, kokusuz havadan daha hafif, havaya göre yoğunluğu 0,83, oktan sayısı yaklaşık 110, yanma sıcaklığı 700 °C, alev sıcaklığı 870 °C olan bir gaz karışımıdır [1]. Gaz bileşimi sabit olmayıp ortam

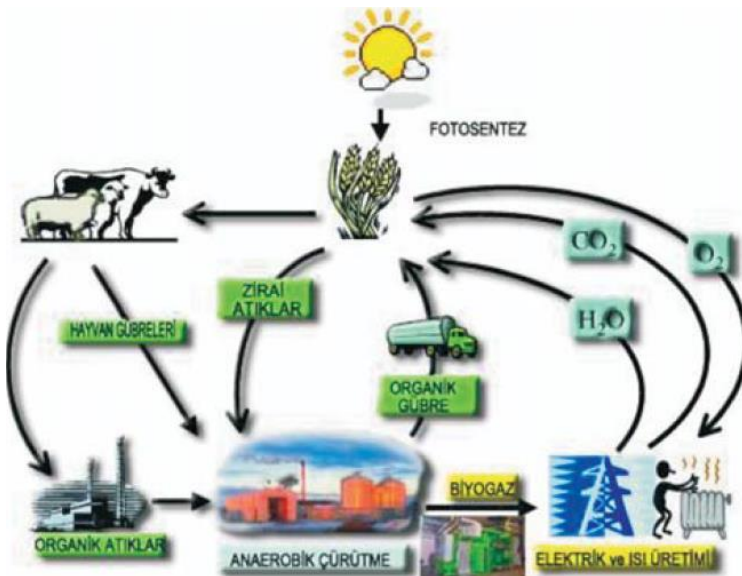
sıcaklığına, su miktarına, asiditesine (pH) ve kullanılan gübrenin bileşimine göre değişim göstermektedir. Buna göre tipik bir biyogazı bileşimi Çizelge 2.5’de yer almaktadır [3].

Çizelge 2.5. Biyogazın bileşimi

Gaz cinsi	Bileşim
	(%)
Metan (CH ₄)	54-80
Karbondiyoksit (CO ₂)	20-45
Azot (N ₂)	0-1
Karbonmonoksit (CO)	0,1
Oksijen (O ₂)	0,1
Hidrojen Sülfür (H ₂ S)	Az Miktarda

Biyogaz içerisinde yer alan metan (CH₄) yanıcı özellikte olup normal şartlarda gaz halinde olup kokusuzdur. Karbondiyoksit (CO₂) zararsız bir gazdır ve solunum ile de ortaya çıkmakta olup doğada yer alan bitkilerin fotosentezi ile denge sağlanmaktadır. Biyogaz içerisinde çok az miktarda bulunan ve önem arzeden gaz hidrojen sülfür gazıdır. Havasız bir ortamda 50 ppm’lik H₂S gazı öldürücü etkiye sahiptir. Bu nedenle çok dikkat edilmelidir. Ayrıca biyogaz entegre tesislerinde 5000 ppm’e kadar yükselen H₂S’in ortamda yer alan nem ile birleşmesi neticesinde kuvvetli bir asit olan sülfürik aside dönüşmesi ile borulama hatlarında korozyon etkilere sebep olmaktadır.

Resim 2.1’de fotosentez-biyogaz üretimi-kullanımı döngüsü şematik gösterilmektedir.



Resim 2.1. Biyogaz döngüsü ve kullanım alanları [26]

1 m³ biyogazın sağladığı ısı miktarı yaklaşık 4700-5700 kcal/m³ olup Çizelge 2.6’da enerji eşdeğerleri görülmektedir.

Çizelge 2.6. 1 m³ biyogazın enerji eşdeğerleri [27]

1 m ³ Biyogaz	Motorin	0,66 litre
	Benzin	0,75 litre
	Elektrik	4,70 kWh
	Gaz yağı	0,62 litre
	Kömür	1,46 kg
	Odun kömürü	3,47 kg
	Bütan gazı	0,43 kg

Biyogazın yakıt değeri biyogaz içerisinde yer alan karışımındaki metan gazının % bileşeninden ileri gelmektedir. Biyogazın ısı değeri biyogaz içerisinde karışımı oluşturan metanın % değerine bağlı olarak 17 000 – 25 000 kJ/Nm³ arasında değişim göstermektedir. Çizelge 2.7’de organik madde içeriğine göre biyogaz miktarı, bileşim ve ısı değerler görülmektedir.

Çizelge 2.7. Organik madde içeriğine göre biyogaz miktarı, bileşim ve ısı değeri [28]

Elde edilen biyogaz	Bileşim	Isıl değeri
cm ³ /g	%	KJ/Nm ³
800	50 CH ₄ - 50 CO ₂	17 782
700	70 CH ₄ - 30 CO ₂	24 894
1200	67 CH ₄ - 30 CO ₂	23 639

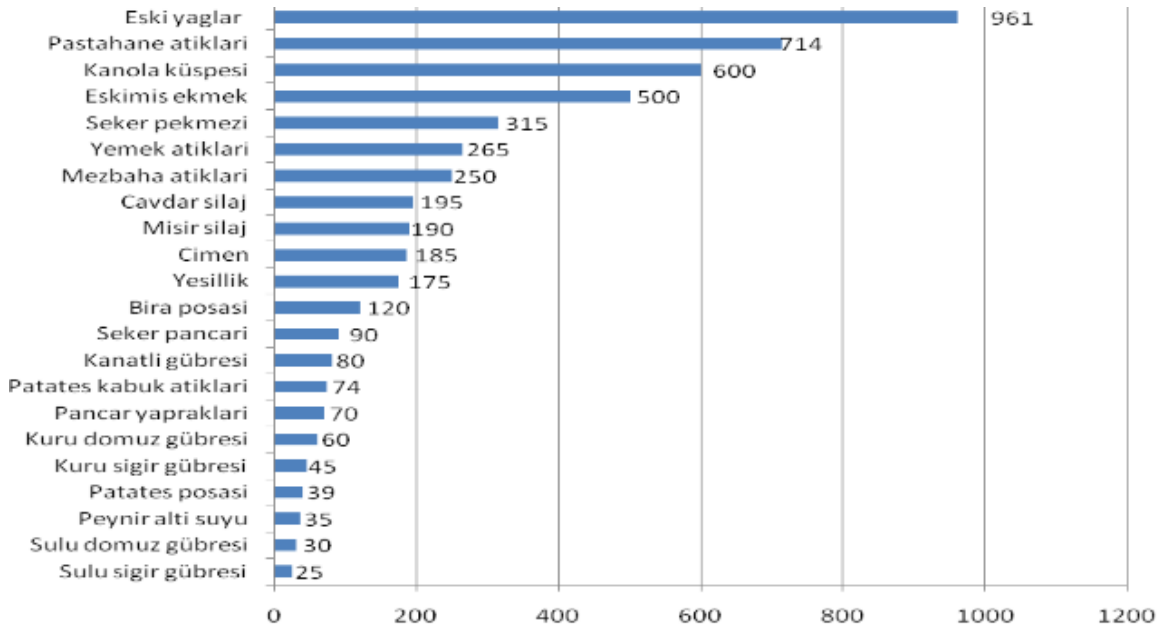
Biyogazın diğer gazlar ile karşılaştırılması Çizelge 2.8’da verilmiştir.

Çizelge 2.8. Biyogazın diğer gazlar ile karşılaştırılması [29]

Gazlar	Semboller	Bileşim	Isıl değeri	Yoğunluğu	Yanma hızı	Hava ihtiyacı
		%	Kw-h/m ³	D=1,2 kg/m ³	cm/s	m ³
Metan	CH ₄	100	9,94	0,554	43	9,5
Propan	C ₃ H ₈	100	29,96	1,560	57	23,8
Butan	C ₄ H ₁₀	100	34,02	2,077	45	30,9
Doğalgaz	CH ₄ -H ₂	65-35	7,52	0,384	60	7,0
Sıvı gazlar	CH ₄ -H ₂ -N ₂	26-50-24	4,07	0,411	82	3,7
Biyogaz	CH ₄ -CO ₂	60-40	5,96	0,940	40	5,7

2.4.1. Biyogaz üretiminde kullanılacak olan hammaddeler

Biyogaz üretiminde kullanılacak olan organik maddelerin biyogaz potansiyelleri Şekil 2.3'te verilmiştir. Kullanıma uygun organik atık maddeler, hayvansal, bitkisel, evsel ve endüstriyel atıklar olarak gruplara ayrılmaktadır.



Şekil 2.3. Bazı organik maddelerin biyogaz potansiyelleri (m³ biyogaz/ton atık) [30]

Sığır, koyun, tavuk, at gibi hayvanların atıkları, mezbaha atıkları, kemiksiz mezbaha atıkları, kan, mide içerikleri, balık atıkları, et atığı gibi hayvansal ürünlerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan atıklar hayvansal atıklardır [31].

İnce kıyılmış sap, saman, mısır atıkları, şeker pancarı yaprakları, gibi bitkilerin işlenmeyen kısımları ile bitkisel ürünlerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan atıklar bitkisel atıklardır [31].

Yemek atıkları, kanalizasyon ve dip çamurları, kâğıt ve gıda sanayi atıkları, atık su arıtma tesis çamurları, içki endüstrisinden çıkan atıklar, süt ve süt ürünleri endüstrisi atıkları, meyve ve sebze endüstrisi atıkları evsel ve endüstriyel atıklardır [32].

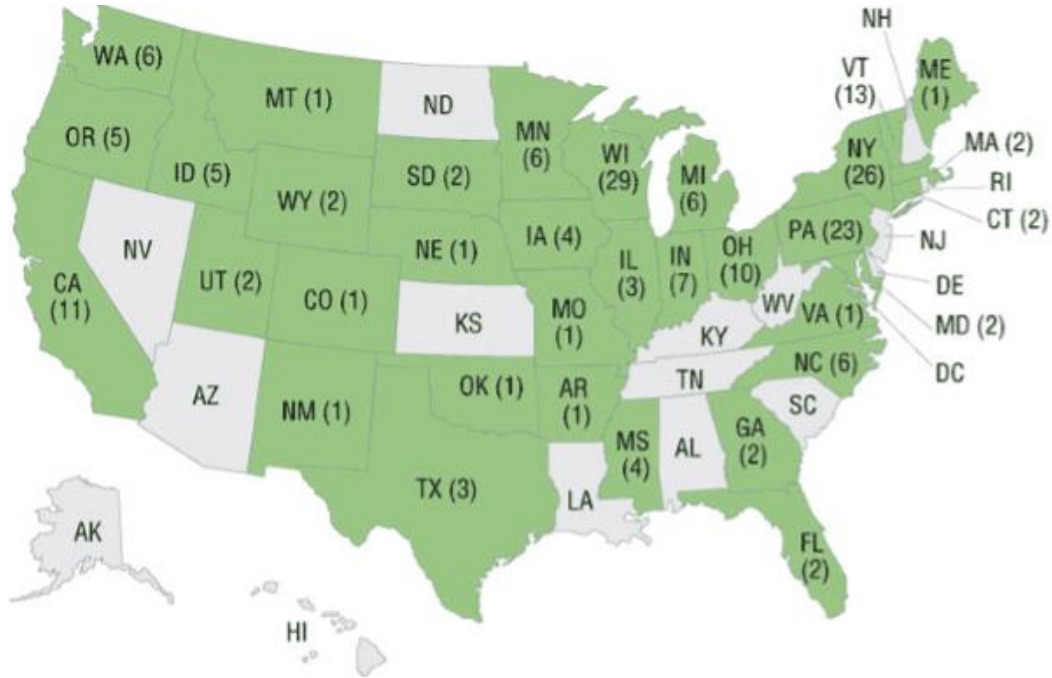
Çeşitli kaynaklardan elde edilebilecek biyogaz verimleri ve biyogazdaki metan oranları atık hacminin %'si cinsinden Çizelge 2.11'de verilmiştir.

Çizelge 2.9. Çeşitli kaynaklardan elde edilebilecek biyogaz verimleri ve biyogazdaki metan oranları [33]

KAYNAK	BİYOGAZ VERİMİ	METAN ORANI
	(Litre/kg)	(Hacmin %'si)
Sığır gübresi	90-310	65
Kanatlı gübresi	310-620	60
Domuz gübresi	340-550	65-70
Buğday samanı	200-300	50-60
Çavdar samanı	200-300	59
Arpa samanı	290-310	59
Mısır sapları ve artıkları	380-460	59
Keten & Kenevir	360	59
Çimen	280-550	70
Sebze artıkları	330-360	Değişken
Ziraat atıkları	310-430	60-70
Yerfıstığı kabuğu	365	-
Dökülmüş ağaç yaprakları	210-290	58
Algler	420-500	63
Atık su çamuru	310-800	65-80

2.5. Amerika Birleşik Devletlerinde Biyogaz Potansiyeli

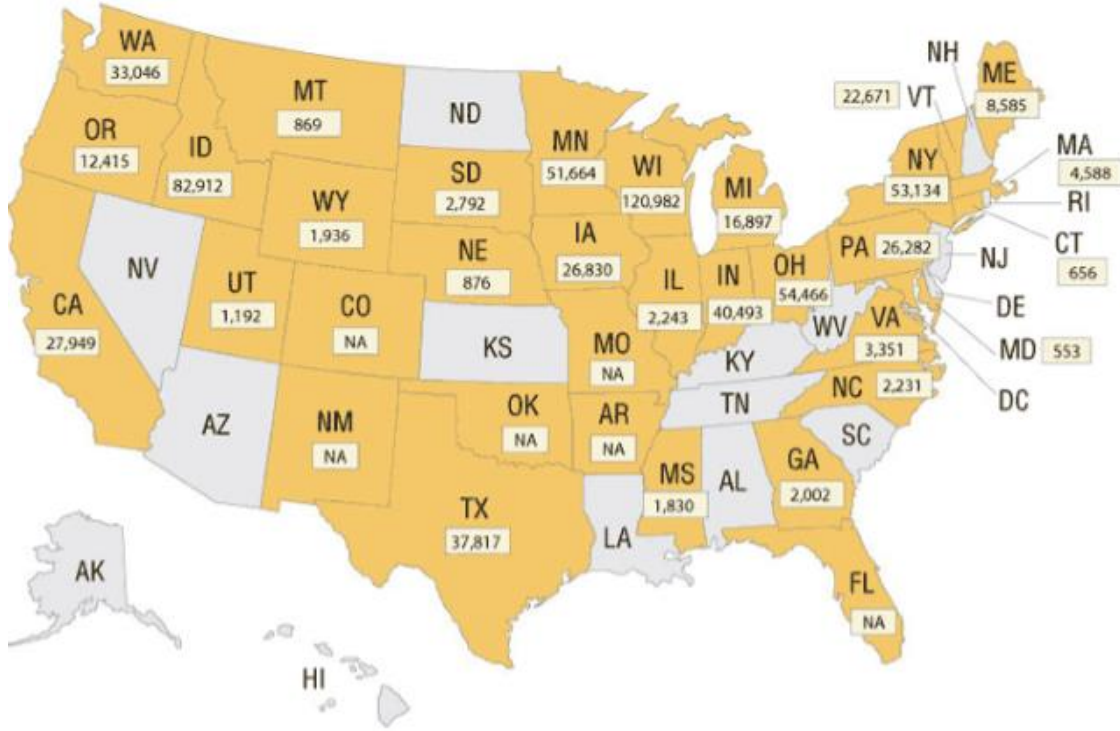
Amerika Birleşik Devletleri'nde Çevre Koruma Ajansı AgStar programı çiftlik temelli anaerobik çürütme tesislerinin kurulmasına izin vermek ile birlikte bu tesislerin denetlenmesi konusunda da sorumluluğa sahiptir. ABD'de 2000 yıllarında özellikle başlayan ve 2012 yılında ülke genelinde 192 adet aktif tesis bulunmaktadır [34]. Resim 2.2'de 192 tesisin eyaletin bazında sayıları görülmektedir. Tesislerin çoğunluğunda hayvansal gübre kullanılmak ile birlikte 65 adet tesiste hayvansal gübre ile birlikte farklı organik atıklarda (peynir altı suyu, kağıt çamuru, işlenmiş gıda atıkları, vb) kullanılmaktadır. 192 tesisten 178 adeti biyogaz üretimi sonucunda termal ve elektrik enerjisi elde edilmektedir [34]. Toplam elektrik üretimi 2012 verileri ile yaklaşık 586 GWh'dir [35]. 192 biyogaz üretim tesisi sayesinde yıllık yaklaşık olarak metandan dolayı 62,000 metrik ton doğrudan emisyon önlenmektedir. Bu emisyonun CO₂ olarak değeri 1.2 milyon metrik ton'dur [35].



Resim 2.2. Amerika Birleşik Devletleri toplam anaerobik arıtma tesisleri (2012, ABD Çevre Koruma Ajansı) [34]

2.6. New York Eyaleti Biyogaz Potansiyeli

Amerika Birleşik Devletleri'nde New York Eyaleti yaklaşık 20 milyon nüfusu ile California ve Texas eyaletlerinden sonra 3. sırada nüfus yoğunluğu sahip olan eyalettir. New York eyaletinde 2000 yıllarında başlayan ve 2012 yılı itibari ile 26 adet aktif anaerobik çürütme tesisi bulunmaktadır [34]. 26 tesisin 25 adeti mandıra çiftliklerinde 1 adet ördek çiftliğinde yer almaktadır. 25 mandıra çiftliğinde bulunan anaerobik çürütme tesislerine yaklaşık olarak 33,000 inekten (New York Eyaletinde bulunan toplam mandıra ineklerin % 5) sağlanan gübre kullanılmaktadır [35, 36]. 2012 yılı itibari ile toplam 53, 134 MWh elektrik üretimi ile Amerika Birleşik Devletlerinde biyogaz üretiminden elde edilen elektrik üretim miktarı olarak New York Eyaleti 4. Sırada yerini almıştır [35]. Resim 2.3'de biyogaz üretimi ile elde edilen elektrik üretimi görülmektedir.



Resim 2.3. Amerika Birleşik Devletlerinde anaerobik arıtma tesislerde üretilen toplam elektrik üretimi (2012, ABD Çevre Koruma Ajansı) [34]

2.7. Biyogaz Kullanım Alanları

Biyogaz çok yönlü bir enerji kaynağı olup günlük hayatın birçok yerinde kullanılmaktadır. İçerisinde yer alan yanıcı özellikteki metan (CH_4) gazı sayesinde elektrik üretiminde, ısıtmada, aydınlatma ve mekanik enerjiye çevrilmede kullanılması mümkündür. Ayrıca biyogaz üretimi sonucu ortaya çıkan yan ürünler de farklı amaçlar için kullanılmaktadır.

Isıtma amacı ile kullanımı gaz yakıt ile çalışan fırın ve ocaklarda gerçekleştirilmektedir. Ayrıca şofben ve termosifonlarda da kullanılabilir. Biyogazdaki yanma özelliği içeriğinde yer alan metan (CH_4) dolayısıdır. Biyogaz, hava ile yaklaşık 1/7 oranında karıştığında tam yanma gerçekleşmektedir.

Biyogaz doğrudan yanma veya elektrik enerjisine çevrilerek de aydınlatma amaçlı kullanılabilir. 1m^3 biyogaz ile 60 W'a eşdeğer fitilli bir lambayı 7 saat süre ile çalıştırmak mümkün olup ayrıca 1 kWh elektrik enerji dönüşümünde yapılabilir [37].

Biyogaz, benzin ile çalışan motorlarda herhangi bir katkı maddesi kullanmadan kullanıldığı halde dizel ile çalışan motorlarda % 18-20 aralığında motorin ile karıştırılarak kullanılmaktadır.

Yan ürün olarak biyogaz üretimi sonucunda çıkan sıvı şeklindeki fermente organik gübre olarak kullanılmaktadır. Fermente olmuş gübre fermente olmamış gübreye oranla % 20-25 oranla daha verimlidir [38]. Ayrıca yan ürün olarak biyogaz sonucunda çıkan katı gübreye benzer katı maddeler ineklerin yatacakları yerde yatak olarak kullanılarak süt verimi artırılmaktadır.

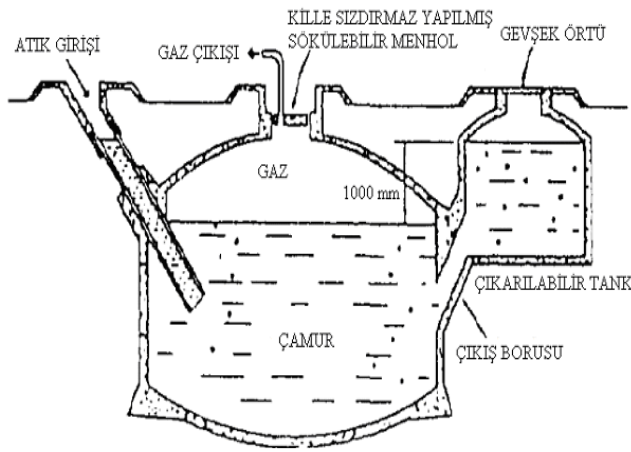
2.8. Biyogaz Üretiminde Kullanılan Anaerobik Reaktör Çeşitleri

Biyogaz üretimi yapan ülkelerde biyogaz üretim kullanılan anaerobik reaktörler için hazırlanan biyogaz tesisleri planlanan amaca uygun olarak farklı teknolojiler kullanılarak inşaa edilmektedir. Biyogaz üretiminde kullanılan anaerobik reaktör çeşitleri aşağıda verilmiştir.

- 1) Sabit çatılı Çin tipi reaktörler
- 2) Yüzer (hareketli) çatılı Hint tipi reaktörler
- 3) Torba tipi reaktörler
- 4) Balon tipi reaktörler
- 5) Tam karışımli reaktörler
- 6) Lagün tipi reaktörler
- 7) Piston akımlı reaktörler

Sabit çatılı Çin tipi reaktörler

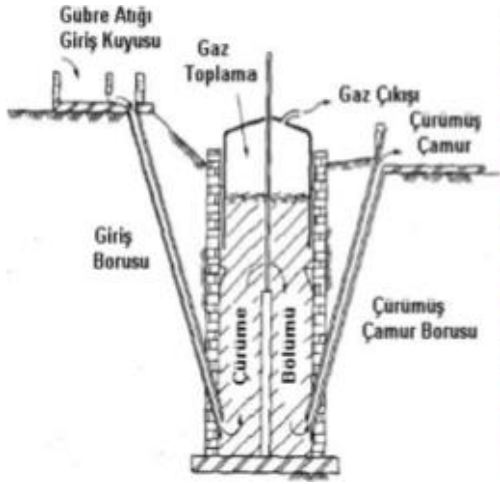
1930’larda Çin’de kullanılmaya başlanan bu reaktörler toprağa gömülü olarak betonarme ve tuğla kapalı haznelerden inşa edilmektedir. Çin tipi reaktörler dikdörtgen, silindirik, küresel ve elips şeklinde inşa edilmektedir. Reaktörlerin tepesi kubbe şeklinde tasarlanmaktadır. Besleme ve atık çıkarma kapakları bulunmakta ve biyogaz sabit kubbede birikmektedir. Özellikle kırsal kesimlerde kullanılmaktadır [19]. Bu tür reaktör tipi Resim 2.4’de gösterilmektedir.



Resim 2.4. Sabit çatılı Çin tipi reaktör [39]

Yüzer çatılı Hint tipi reaktörler

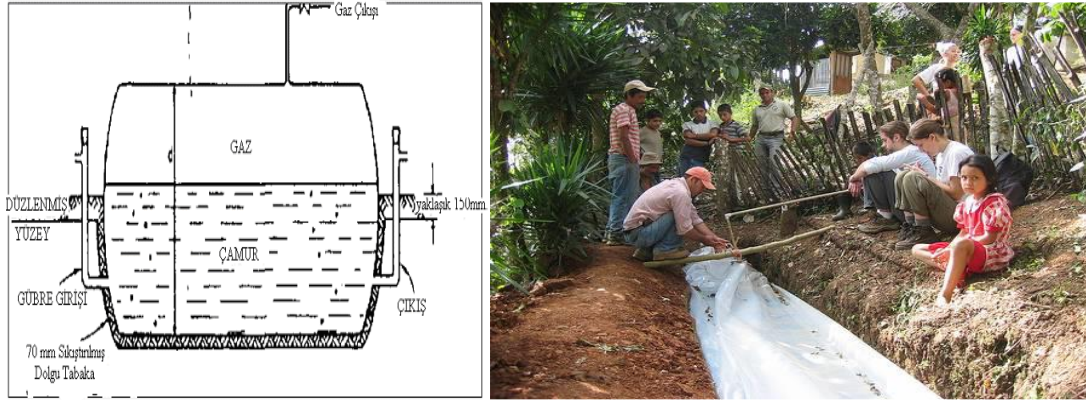
1950'li yıllarda Hindistan'da kullanılmaya başlanmıştır. Bu tip reaktörde gazın birikmiş olduğu kubbe hareketli olduğundan dolayı basıncın kontrolü sağlanmakta ve sabit kubbelere göre verimi daha yüksektir. Bu tür reaktör tipi Resim 2.5'de gösterilmektedir.



Resim 2.5. Yüzer çatılı tipi reaktör [39]

Torba tipi reaktörler

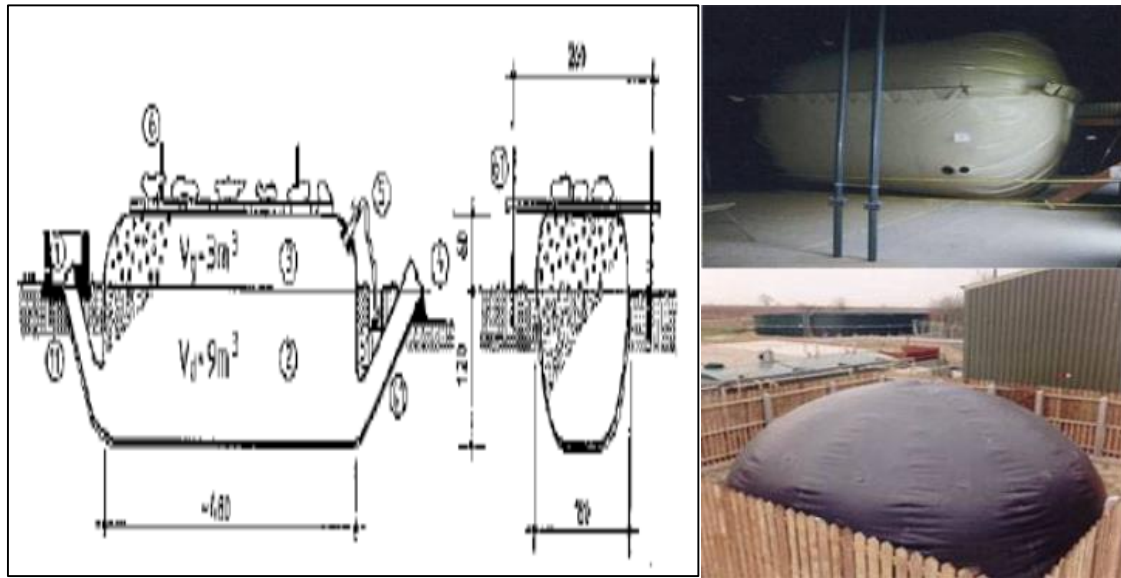
1960'lı yıllarda Tayvan'da geliştirilen bu reaktörler içlerine atıkların doldurulduğu kapalı sistemlerdir. Elde edilen biyogaz kırsal kesimlerde evlerin ihtiyaçlarını karşılamak için kullanılmaktadır [19]. Bu reaktör tipi Resim 2.6'da gösterilmektedir.



Resim 2.6. Sabit torba tipi reaktör [39]

Balon tipi reaktörler

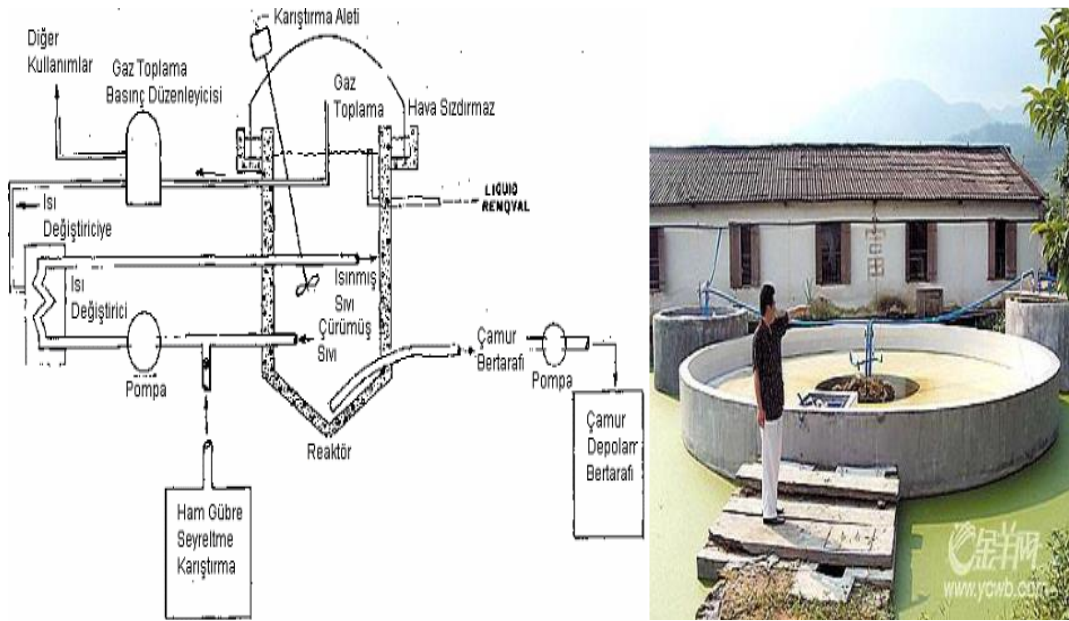
Plastik veya lastik karışımı malzemelerden yapılan balon tipi reaktörlerde gaz reaktörün üst kısmında depolanır. Giriş ve çıkış balonun yüzeyine bağlanır. Gaz balon yüzeyinde biriktiği zaman yerleşmeye başlar ve gaz basıncı artar. Reaktörde gaz dolduğunda tesis sabit çatılı reaktör gibi çalışır. Balon malzemesi güneş ışığına karşı dayanıklı olmalıdır. Kullanım ömrü 2-5 yıldır. Balon tipi reaktör Resim 2.7’de gösterilmektedir.



Resim 2.7. Balon tipi reaktör (1. Karıştırma haznesi 2. Reaktör 3. Gaz depolayıcı 4. Çamur depolama 5. Gaz borusu 6. Ağır yük 11. Doldurma borusu 41. Çıkış borusu 51. Su tutucu 61. Destek çerçeve [39])

Tam karışımli reaktörler

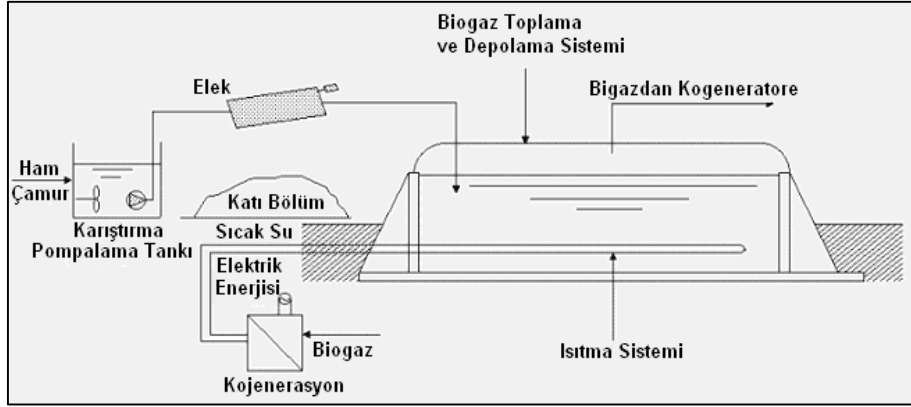
Tam karışımli reaktörlerde çamur ısıtılarak reaktöre verilmektedir. Reaktörler geniş, dikey çelik veya betonarme silindirden yapılmış konteynerlerdir. Çamur karıştırma havuzunda toplanarak içindeki yabancı ve istenmeyen maddelerin çökmesi sağlanır ve ısıtılır. Çamur reaktöre bir pompa veya cazibe ile akacak şekilde verilir. Reaktöre verilen çamur reaktörde karıştırılır. Karıştırma ile homojen bir ortam oluşturulur. Karıştırma ve ısıtma verimliliği artırır. Tam karışımli reaktörler ya mezofilik veya termofilik şartlarda çalıştırılır. Hidrolik bekleme süresi 10 ile 20 gün arasında değişir. Tam karışımli reaktör Resim 2.8’de gösterilmektedir.



Resim 2.8. Tam karışımli reaktör [39]

Lagün tipi reaktörler

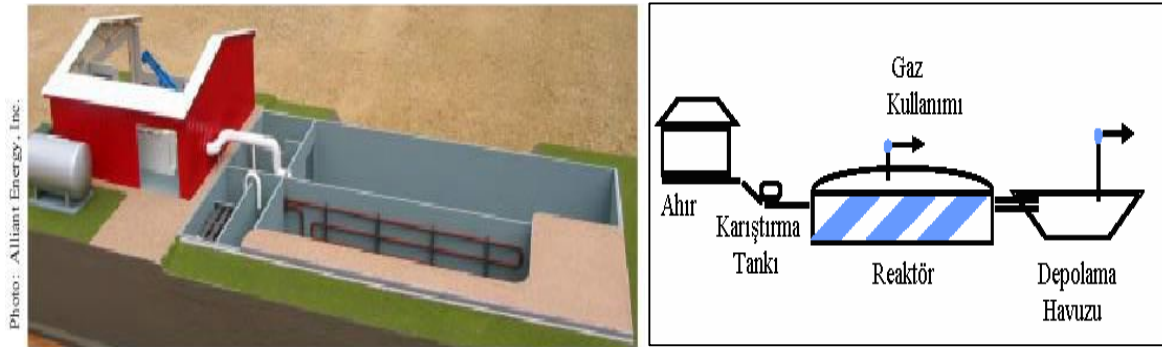
Lagün tipi reaktörler genellikle sakrofilik veya toprak sıcaklığına yakın sıcaklık şartlarında çalıştırılır. Dolayısıyla reaksiyon hızı, mevsimsel sıcaklık değişiminden etkilenir. Yazın kış aylarına göre %35 daha fazla biyogaz elde edilmektedir. Anaerobik lagünlerin en büyük avantajı düşük maliyeti olmasıdır [25]. Lagün tipi reaktör Resim 2.9’da gösterilmektedir.



Resim 2.9. Lagün tipi reaktör [39]

Piston akımlı reaktörler

Anaerobik çürümenin en basit şekli ve en ucuz olanı piston akımlı reaktörlerdir. Yatay ve dikey şekilde olabilirler. Çoğunlukla yatay dikdörtgen modeller kullanılmaktadır. Piston akımlı reaktörler genellikle mesofilik şartlarda çalıştırılır. Hidrolik bekleme süresi genellikle 20 gündür ve katı madde bekleme süresi ise 25-30 gündür. Bu tür reaktörler, reaktör içinden geçen sıcak su boruları siyah demir, çelik, bakır veya alüminyumdan yapılmış ısı değiştiricilerle ısıtılır [25]. Piston akımlı reaktör Resim 2.10’da gösterilmektedir.



Resim 2.10. Piston akımlı reaktör [25, 39]

2.9. Yemek Atıkları

Yemek atıkları yemekler yapılmadan önceki atıklar ve yemekler yapıldıktan sonra atıklar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Yemek öncesi atıklar sebze ve meyvelerin soyulması ve varsa çekirdeklerinin oluşturduğu atık türüdür. Yemek sonrası atıklar tabaklarda kalan yenilmeyen atık türüdür. Ayrıca yemek sonrası atıkların içinde peçeteler plastik tabak çatal kaşık bıçak vb atıklarda yer almaktadır. 2011 yılında Birleşmiş Milletler yemek ve ziraat

organizyonu tarafından yapılan çalışmada her yıl insan tarafından tüketilen yiyeceklerin 3'te 1'i olan 1.3 milyar tonun çöp olduğu tespit edilmiştir [40]. Çöpe atılan bu yemek atıklarına anaerobik çürüme uygulanarak her 1 ton kuru çöp ile %65 metan'lık 367 m³ biyogaz potansiyeli olduğu tespit edilmiştir [41]. Yıllık 894 TWh lık elektriğin 6.25 kWh/m³ biyogaz ile enerji üretimi sağlayacağı belirtilmiştir [42].

2.10. Hayvansal Atıklar

Hayvansal katı atıklar biyolojik arıtım sonrası biyogaz üretimi için ideal kaynak olarak tarih boyunca kullanılmıştır. Hayvan atıkları arıtılmadan doğaya bırakılması durumunda metan gazı oluşturduğu için küresel ısınma ve yer üstü sularının kirlenmesine neden olduğu için önemli çevre sağlığı sorunları oluşturacaktır. İnek, at, koyun, tavuk gibi hayvanların dışkıları, mezbahane atıkları ve hayvansal ürünlerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan atıklar biyogaz tesislerinde kullanılmaktadır. Çizelge 2.10'da hayvan cinsine göre yıllık yaş gübre miktarını, Çizelge 2.11'de gübre cinsine göre 1 ton ile elde edilecek biyogaz miktarını göstermektedir. Atıklar çok daha değerli bir organik gübre haline dönüşmek ile birlikte gübrenin kokusu neredeyse yok olmaktadır.

Çizelge 2.10. Hayvan cinsine göre yıllık yaş gübre miktarı [43]

Hayvan adedi	Hayvan cinsi	Yaş gübre miktarı (ton/yıl)
1	Büyük baş	3,6
1	Küçük baş	0,7
1	Kümes	0,022

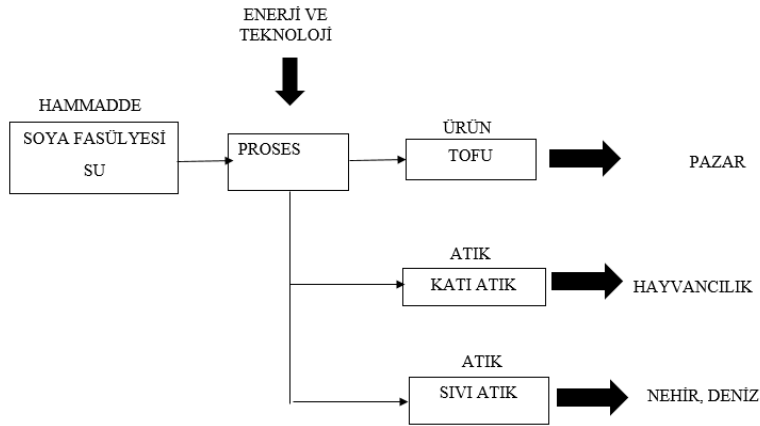
Çizelge 2.11. Gübre cinsine göre 1 ton gübre ile elde edilecek biyogaz miktarı [43]

Gübre cinsi	Gübre miktarı (ton)	Elde edilecek biyogaz miktarı
Sığır	1	33
Koyun	1	58
Kümes hayvanı	1	78

2.11. Tofu ve Tofu Atık Suyu

Soya sütünden üretilen mamullerden biri olan soya peyniri veya yaygın adı ile tofu; soya fasulyesinden su ekstraksiyonu ile hazırlanan soya sütünün kalsiyum sülfat, magnezyum

sülfat ve glukano delta lakton gibi koagulantlarla çöktürülmesi ve bu çökeltinin torbalarda süzülmesi ile elde edilen beyaz kremimsi renkte, yumuşak ve düzgün yapıda peynirdir. Tofu özellikle Hindistan, Çin, Japonya gibi Uzakdoğu ülkelerinde ve Amerika Birleşik Devletlerinde vejeteryanların kullandığı popüler bir yiyecek maddesidir. Tofu soyadan üretilen vejeteryan peyniri olarak da adlandırılmaktadır [44]. Şekil 2.4'te tofu üretimi şematik olarak görülmektedir.



Şekil 2.4. Tofu üretimi

Endüstriyel atık suların arıtımında kullanılan anaerobik arıtma teknolojisi yıllar önce kullanılmaya başlanmış ve günümüzde de devam etmektedir. Tofu atık suyuda endüstriyel atık sularındandır. Tofu üretimini yapan firmalar 540 kg'lık tofuyu üretmek için 500 kg soyaya ve 11,000 L temiz suya ihtiyacı vardır. 540 kg'lık tofu üretimi için yaklaşık olarak 9,000 L atık su ortaya çıkmaktadır. Bu da yaklaşık olarak %90'lık orandır. Bu nedenle çevre için atık su ciddi problemlere sebep olmaktadır. Tofu üretiminden dolayı ortaya çıkan atık suyun sebep olduğu çevre problemleri ekosisteme zarar vermekte ile birlikte belli organizmaların ortaya çıkmasına ve su kalitesinin düşmesine sebep olmaktadır. Resim 2.11'de soyboy firmasına ait tofu görülmektedir.



Resim 2.11. Tofu

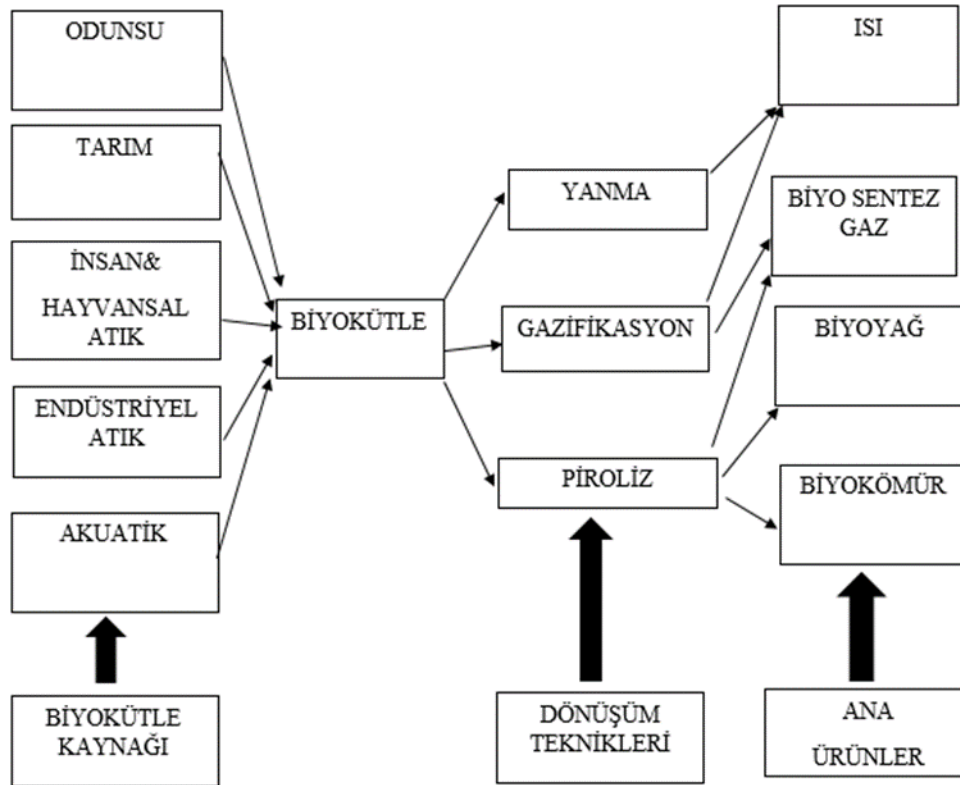
2.12. Biyokömür (Biochar)

Biochar sözcüğü, *bios* (canlı) ve *char* (odun kömürü) sözcüklerinin birleşiminden meydana gelmiştir. Biyokömür temel olarak nem, kül, kararlı karbon ve kararsız karbondan oluşmaktadır [45]. Bu temel unsurların biyokömür içindeki oranı, pirolizin sıcaklığına ve süresine bağlı olup ayrıca biyokömür üretmede kullanılan organik maddenin ne olduğuna doğrudan ilgilidir [46]. Bu nedenle üretilecek olan biyokömür içerik ve fiziksel kompozisyonu bakımından bir diğerinin aynısı olmayacaktır.

Biyokömür, organik maddenin çok az oksijenle veya hiç oksijen olmadan yanması sonucu oluşan, aktifleştirilmiş karbon içeren bir toprak düzenleyicidir. Yüksek ısı ve basınç altında organik madde içerisindeki maddelerin bir kısmı su buharı ve gaz halinde ortamdan uzaklaştırılır ve sonuçta mikro gözenekli yapıda yoğun içerikli biochar veya siyah karbon denilen madde kalmaktadır. Biyokömür, yüksek organik karbon içerikli, çok uzun sürede çözünen, çok ince yapılı, organik kaynaklı kömürdür. Günümüz dünyasının başlıca sorunları olan toprak kaybı, toprağın verimsizleşmesi ve aşırı karbon salınımı kaynaklı küresel ısınma karşısında, son yıllarda en sık konuşulan çözümlerden biri de biyokömürdür. Biyokömür piroliz (pyrolysis) yöntemi ile elde edilmektedir. Var olan biyokütlenin (bitkisel veya hayvansal atıkların) moleküllerin çok yüksek sıcaklıkta (400-1200°C) çok az oksijenli ya da oksijensiz olarak termokimyasal şekilde ayrıştırılması ve çözülmesi ile elde edilmektedir.

2.12.1. Piroliz

Yanma olayı genel olarak kimyasal anlamda, organik maddenin oksijen olan ortamda yüksek sıcaklığa maruz bırakılması ile gerçekleşmektedir. Piroliz ise organik maddenin oksijenin olmadığı ortamda yüksek sıcaklığa uğratılmasıyla gerçekleşmektedir. Yanmanın sonucu olarak katı kalıntılar kül olarak elde edilirken, piroliz işlemi sonucunda elde edilen ürün odun kömürü şeklindedir [47]. Piroliz, biyokütleden gelen odun kömürü cinsinden ürün elde etmek için en etkili ve etkin süreçten biridir. Şekil 2.5 biyokütle kaynaklarının resimsel temsili, termal dönüşüm teknikleri ve bu dönüşümlerle elde edilen nihai ürünleri özetlemektedir. Biyokütlenin beş grupta sınıflandırılması Vassilev ve arkadaşlarından alınmıştır [48, 49].



Şekil 2.5. Farklı kaynak ve ürünlerden biyokütlenin dönüşüm teknikleri [50]

Piroliz, sıvı (biyo-yağ), katı (biyokömür) ve gaz (biyo sentez gaz) gibi önemli miktarda ürün sağlayan geniş bir yelpazede ürün tekniğidir. Hiçbir dönüştürme yöntemi Piroliz yöntemi gibi çok çeşitli ürün yelpazesine sahip değildir. Yavaş piroliz yöntemi ile organik maddenin %35 biyokömür, %30 biyoyakıt (biyoyağ) ve %35 sentez gaz (syn-gas) elde edilmektedir [51]. Hızlı piroliz yöntemi ile çok kısa zaman aralığında (0.5-5 sn) biyokütlenin çok yüksek

sıcaklığa maruz kalması (650 °C) neticesinde biyo-yakıt elde edilmektedir [52, 53]. Her biyokömür birbirinin aynısı değildir. Bir dizi kimyasal yapının heterojen bir elementel kompozisyona sahip olan biyokömürün içeriğindeki bu çeşitlilik, piroliz koşullarından kaynaklanmaktadır [46]. Çizelge 2.12’de piroliz teknolojileri gösterilmektedir.

Çizelge 2.12. Piroliz teknolojileri [52, 53]

Piroliz teknolojileri	Tepkime süresi	Isıtma hızı	Sıcaklık °C	Ürünler
Karbonlaştırma	Günlerce	Çok düşük	400	Katı
Yavaş piroliz	5-30 dk	Düşük	600	Sıvı-Katı-Gaz
Hızlı piroliz	0,5-5 sn	Çok yüksek	650	Biyo-yakıt

3. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Biyogaz ile ilgili ilk çalışmalar 17. Yüzyılda Jan Baptida Van Helmont tarafından, organik maddelerin oksijensiz ortamda parçalanmasıyla yanabilen gazın çıktığının belirlenmesiyle başlamıştır [4]. Resim 3.1’de İngiltere’de yaşayan 1766 doğumlu ingiliz bilim adamı John Dalton’un biyogaz toplanmasının Ford Madox Brown tarafından resmedilmesi görülmektedir [54].



Resim 3.1. John Dalton tarafından İngiltere’de biyogaz toplanması [54]

1776 yılında İtalyan fizikçi Alessandro Volta, çürüyen organik madde miktarı ile oluşan yanıcı gaz miktarı arasında doğrusal bir bağ olduğunu belirlemiştir. 1808 yılında İngiliz kimyager Humphry Davy inek gübresinin çürümesiyle oluşan gazda metan olduğunu tespit etmiştir. 1859 yılında Hindistan’da Bombay şehrinde ilk anaerobik çürütücü inşa edilmiştir [55]. Aneerobik çürütme teknolojisi 1895 yılında İngiltere’de ilk defa atıksu arıtılan bir septik tankta oluşan biyogazın toplanıp Exeter şehrindeki sokak lambalarında yakılmasıyla kullanılmıştır. 1970 yıllarında yaşanan petrol ve enerji krizi biyogaz teknolojilerine olan ilgiyi artırmıştır.

Amerika Birleşik Devletlerinde yaklaşık 20,000 firma yiyecek maddesi üretimi yapmakta ve yıllık 1,4 milyar L atık su üretmektedir [56]. Özellikle tofu üretimi sonuncunda çıkan atık su kirlilik yükü bakımından çevreyi en fazla kirleten (kimyasal oksijen ihtiyacı değeri referans alınarak) atık sudur [57].

Atıklardan enerjinin elde edilmesi özellikle anaerobik çürüme ile birçok gelişmiş ülkede uygulanmaktadır [58, 59]. Amerika Birleşik Devletlerinde çiftlik temelli anaerobik çürüme gelişmiş ülkeler oranda daha yavaş ilerlemektedir.

3.1. Anaerobik Arıtma

Anaerobik sindirim mikroorganizmanın biyolojik olarak oksijensiz ortamda parçalanma işlemidir [60]. Bu karmaşık işlem için belirli çevresel koşullar ve farklı türden bakteri türleri gerekmektedir. Sonuçta yüksek enerjili içerisinde CH_4 ve CO_2 ihtiva eden biyogaz elde edilmektedir. Bu gazlar biyolojik doğal ortamda da özellikle depolama alanlarında ve yeraltında mevcuttur. Organik atıkların anaerobik sindirimi tüm Dünya’da kontrollü çevre kirliliğinin ve enerjinin üretimi için kullanılmaktadır [61]. Anaerobik sindirim atıklardan enerjiye dönüşüm olarak düşünülmüş ve farklı organik atıkların (belediye katı atıkların, kanalizasyon çamurunun, gıda atıklarının ve hayvan gübreleri) kullanılması enerjiye dönüşüm sağlanmaktadır [62]. Son yıllarda anaerobik arıtım teknolojisi hızla yükselişe geçmiştir. Her yıl yeni biyogaz tesisleri % 20-30 oranında özellikle biyogaz konusunda tercübeli ve gelişmiş ülkelerde Almanya, Danimarka ve Avusturya da hizmete girmektedir [63]. 2007 yılında Almanya da toplam 3700 biyogaz tesisi aktif olarak hizmet vermektedir [63]. Danimarka da 20 adet biyogaz tesisi merkezi olarak 35 adet çiftliklerde bulunmaktadır [64]. Avusturya da 323 tesis toplamda 81 MW elektrik üretmektedir [65].

3.2. Yemek Atıkları

İnsanların tüketimi için üretilen yemeklerin yaklaşık 3’te 1’i çöp olmakta ve Dünya genelinde 1,3 milyar ton atık oluşmaktadır [66]. Lokantalardan toplanan yemek atıkları anaerobik çürüme için çok değerli karışım maddeleridir. Bu karışım maddeleri teori olarak 10 günlük anaerobik çürümede toplam üretilecek olan metan miktarının % 80’ni oluşmasına sebep olmaktadır [67]. Yemek atıkları, yemek atıklarının türüne bağlı olarak metan üretimi için ideal karışım maddeleridir. Yem stokunun anaerobik çürüme sistemlerinde önemli olmasına rağmen, optimum metan üretimi için anaerobik sistemin tasarımı ve operasyonunda önem arz etmektedir [61]. Ekmek, makarna ve pirinç gibi yüksek kalorili gıda atıkları, büyük miktarda organik asit üreten fermentatif bakteriler tarafından kolaylıkla bozulmaktadır. Asit üretimi, reaktör pH değerini düşürerek metanojenik sistemleri inhibe eder ve önemli miktarlarda metan üretimini sınırlar [68]. El-Mashad ve Zhang [69] sığır gübresi ve yemek atık karışımı kullanarak 35 °C mezofolik sıcaklıkta 30 gün boyunca biyogaz üretimi incelemişlerdir. 20 günün sonunda elde edilen biyogaz üretimi toplam 30 gün sonunda elde edilen biyogaz üretiminin % 90-95 oluşturduğunu gözlemlemişlerdir. Curry ve Pillay [70] Kanada’da Montreal şehir merkezinde binada yıllık 165 tonluk yemek atığından biyogaz

elde edilmesi için gerekli olan tesisi tasarlamışlardır. Çalışma ile binadan yemek atıkların uzaklaştırılması için harcanan masraf \$21, 615 (\$131/ton) ve ısıtmadan dolayı harcanan \$8553 (50 cents/m³ doğal gaz) olmak üzere yıllık \$30,168 tasarruf sağlandığı hesaplanmıştır. Ebner ve arkadaşları [71] Amerika Birleşik Devletinde farklı eyaletlerinde yer alan üniversitelerde yemekhanelerden atılan yemek atıklarının biyogaz potansiyeli üzerine çalışmalar yapmıştır. Çalışmada yıllık öğrenci başı yaklaşık 26 kg'lık yemek atığı kabul edilmiştir. Toplamda sadece New York eyaletinde yer alan üniversitelerde öğrenim gören toplamda 748,817 öğrencinin yıllık olarak yemek atıklarından 116, 759 GJ enerji elde edildiği hesaplanmıştır. Bu enerjinin %35 lik kısmı elektrik enerjisine %65 oranında ısı enerjisine potansiyel olarak dönüştürüleceği hesaplanmıştır.

3.3. Sığır Gübresi

Sığır gübresi anaerobik arıtma ile biyogaz üretimi için mükemmel bir maddedir. Sığır gübresi ile birlikte herhangi bir atık maddenin karışımı biyogaz üretiminde etkili olmuştur. Atatürk Üniversitesinde yüksek lisans çalışmasında farklı sıcaklıklar (25, 30, 35°C) biyogaz üretimi incelenmiş ve çalışma sonucunda 35 °C'de 80 g kuru sığır gübresinden 8,63 L, 80 g yaş gübreden 9,67 L biyogaz elde edilmiştir [72]. Tolay ve arkadaşları [73] hayvansal atıklardan biyogaz üretimi konusunda çalışmalar yapmışlardır. Çalışmada, 1500 büyükbaş hayvandan elde edilen günde 10 ton hayvansal atıktan elde edilen örnek bir biyogaz tesisi kullanılarak üretilecek biyogaz miktarı ve enerji değerleri hesaplanmıştır.

3.4. Tofu Atık Suyu

Tofu özellikle Asya ülkelerinde ve Amerika Birleşik Devletlerinde tüketilen bir gıda maddesi olup üretimi sonucunda büyük oranda atık su atılmaktadır. Tofu atık suyu yüksek organik içerikli olduğu için şeker, süktroz, nişasta ve uçucu yağ asitlerini indirgediği için çevreyi kirletme potansiyeline sahiptir. Yüksek karbonhidratlı ve protein ile birlikte selülozik olmayan özelliği nedeni ile tofu atıksuyu biyolojik hidrojen ve etanol üretimi potansiyeline sahiptir [74]. Levina [75] tofu atık suyu ile gübre karışımını 5 farklı karışım oranında (gübre/atıksuyu: 0; 0,1; 0,25; 0,43; 0,67; 1) sağlayarak biyogaz elde etmişlerdir. Toplam biyogaz ölçümü 5 gün yapılmış ve 5 günün sonunda en fazla biyogaz üretimin karışım oranı 1 olan karışımda 90 mL biyogaz olarak ölçülmüştür. Faisal ve arkadaşları [76] çalışmalarında organik atıklardan tofu atık suyunun belirli oranlarda kullanılması

sonuncunda üretilen metan gazının değişimi ve bazı atık su parametrelerine (pH, KOI) olan etkisini incelemişlerdir. Organik atıklarının farklı oranda yüklenmesi sonucunda biyogaz üretiminde değişimi gözlemlemişlerdir. Faisal [77] farklı hacimde tofu atık suyu (500-2000 mL), sabit küttele pirinç kabukları (2 kg) ve sabit küttele inek gübre (1 kg) karışımı ile karışım 60 gün boyunca test ortamında tutulup pH, carbon %, azot % ve C/N oranını incelemiştir. Tofu atık suyunun hacimsel olarak karışımda fazla olmasının mikroorganizmaların artışına sebep olduğu görülmüştür.

3.5. Biyokömür

Toprakların organik madde miktarlarını arttırmak amacı ile hayvan gübresi, kompost ve organik yapıda diğer malzemeler toprağa ilave edilmektedir. Ancak bu organik malzemeler kurak ve yarı-kurak iklim şartlarında kısa sürede ayrışmakta ve CO₂ salınımı artış göstermektedir [78]. Küresel ısınmayı artıran CO₂ salınımının en az seviyelere indirgenmesi için organik karbon içeriği yüksek kararlı kömürleştirilmiş biyokütlenin kullanımı önem kazanmıştır.

Son yıllarda biyokömür üretimi artmış ve biyokömürün farklı alanlarda kullanımı ile ilgili bilimsel çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Biyokömürün farklı alanlarda kullanımının araştırılması son zamanlar bilim dünyasındaki araştırmaların ilgisini çekmiş olsa da, Trimble 1851'de yaşadığı birçok çiftlikte mangal kömürü tozlarının vejetasyonu artırdığını ve gelişimini hızlandığını gözlemlediğinden bahsetmiştir [79]. Biyokömür ile ilgili ilk araştırmalar, fide yetiştiriciliği [80] ve toprak kimyası [81] konularında yapılmıştır. Japonya'da ise biyokömür konusunda araştırmaların yoğunluk kazandığı yıllar 1980'li yıllarda olmuştur [82, 83]. Biyokömürün biyogaz üretimi sırasında kullanımı da araştırmalar arasında yer almıştır. Bu araştırmalardan bir tanesinde sığır gübresine % 1 ve % 3 oranında biyokömür eklenmiş ve % 1 oranda eklenen biyokömür ile biyogazın artışı gözlemlenmiştir [84]. Son yıllarda Amerika Birleşik Devlet'inde Argonne Ulusal Laboratuvarı (Argonne National Laboratory-ANL)'nda araştırma projesi olarak biyokömür kullanılarak anaerobik arıtmada üretilen biyogazda metan bileşenin artırılması konusunda çalışmalar yapılmaktadır [85].

4. MATERYAL VE METOD

4.1. Çalışma Ortamı

Tez çalışması 2 basamakta gerçekleşmiştir. 1. basamak olan çalışmanın kavramsal çerçevesi Rochester Yüksek Teknoloji (Rochester Institute of Technology-RIT) Üniversitesi ve Gazi Üniversitesi işbirliği ile oluşturulmuştur. 2. basamak olan deneysel çalışmalar ise RIT Üniversitesi Golisano Sürdürülebilirlik Enstitüsü (Golisano Institute for Sustainability-GIS) bağlı laboratuvarda yapılmıştır. Resim 4.1’ de Golisano Sürdürülebilirlik Enstitüsü ve Resim 4.2’de laboratuvar ortamı görülmektedir.



Resim 4.1. Golisano sürdürülebilirlik enstitüsü



Resim 4.2. Laboratuvar ortamı

4.2. Kullanılan Materyaller

Araştırma kapsamında deney setlerinde kullanılmak üzere aşı (inokulum), tofu atık suyu ve biyokömür temin edilmiştir. Aşı ve tofu atık suyu uçucu katı madde (UKM) 2:1 oranında karıştırılmıştır [71].

4.2.1. Aşı numunesi

Aşı, yemek atıkları ve sığır gübresinden oluşmaktadır. Aşı, New York Eyaleti'ne bağlı Wyoming kasabasında yer alan Synergy Biogas firmasından tedarik edilmiştir. Synergy Biogas firması RIT'ye yaklaşık olarak 82 km mesafededir. Synergy Biogas firması New York Eyaletinin en büyük yemek atıklarından biyogaz üreten firma olup biyogaz üretim tesisi 2012 yılında açılmıştır. Tesiste 2000 süt veren inek olup yaklaşık 1.4 mWh elektrik üretimi yapmaktadır. Elektrik enerjisi üretimine ilaveten yıllık 10,000 ton CO₂ sera gazı azaltılmış ve 12,230 m³'lük ineklerin yatması için hayvan yatağı sağlamıştır [86]. Resim 4.3'de tesisde yer alan sığırlar görülmektedir. Aşı için temin edilen sığır gübreleri Resim 4.3'de yer alan sığırlardan alınmıştır. Yemek atıkları Synergy Biogas firması tarafından çevre lokantalardan tedarik edilmiştir. Aşığı oluşturan yemek atıklarının % 20'lik kısmını yemek öncesi atıklar, % 80'lik kısmını yemek sonrası atıklar oluşturmaktadır [71]. Aşı içeriği olarak %70 sığır gübresi ve %30 yemek atıklarından oluşmaktadır. Yemek atıklarına ait karbon/azot (C/N) oranı 15,3'tür.



Resim 4.3. Synergy firmasına ait sığırlar

4.2.2. Tofu atık suyu

Çalışma kapsamında biyogaz üretiminde kullanılan tofu atık suyu New York Eyaleti'ne bağlı Rochester şehrinde yer alan soyboy firmasından temin edilmiştir (Resim 4.4). Soyboy firması RIT'ye yaklaşık olarak 6 km mesafededir. Firma 1976 yılında kurulmuş ve organik tofu, pişmiş tofu, tofu ravioli ürünlerini üretmektedir [87]. Alınan atıksu örnekleri PVC kaplarda ağzı kapalı olarak +5°C saklanmıştır.



Resim 4.4. Tofu atık suyu

Tofu atık suyu analizleri New York eyaleti Ithaca şehrinde Dairy One firmasına ait Forage Testing Laboratory’de yapılmıştır [88]. Analiz sonuçları Çizelge 4.1’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.1. Tofu atık suyuna ait analiz sonuçları

Bileşenler	Birim	Orijinal madde	Kuru madde
Nem	%	98,0	
Kuru madde	%	2,0	
Ham protein	%		20,9
Ham yağ	%		3,9
Kül	%		15,60
Toplam sindirilebilir besin maddeleri	%		78,0
Kalsiyum	%		1,27
Fosfor	%		0,18
Magnezyum	%		0,52
Potasyum	%		5,76
Sodyum	%		0,07
Sülfür	%		0,81

4.2.3. Biyokömür numunesi

Biyokömür olarak Kuzey Amerika’da ve özellikle New York eyaletinde yetişen akçaağaç (*Acer saccharum*) kullanılmıştır. Akçaağaçtan üretilen biyokömür Finger Lakes Biochar firmasında alınmıştır. Firma New York Eyaletinde biyokömür üretmektedir [89]. Resim 4.5’de akçaağaç biyokömür materyali görülmektedir.



Resim 4.5. Akçaağaç biyokömür materyali

Akçaağaç biyokömür için besin elementi içerikleri Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Akçaağaç biyokömürüne ait besin elementi içerikleri

Elementler	% Ağırlık
C	51,636
O	41,463
Mg	1,172
P	0,399
K	1,681
Ca	1,945
Co	1,702

4.3. Numunelerin Hazırlanması

Yemek atığı ile beraber sığır gübresi ve tofu fabrikası atıksuyu, 105°C 20 saat etüvde bekletilmiş ve KM (katı madde) analizi yapılmış. Sonrasında 550°C 3 saat kül fırınında bekletilerek UKM (uçucu katı madde) analizleri yapılmıştır. KM ve UKM analizleri yapılan yemek atığı ile gübre karışımı ve tofu fabrikası atıksuyu belli oranlarda tartılmıştır. Resim 4.6’ de yer alan bioprocess kontrol programı kullanılarak numunelerde aşı ve substrat ve karışım oranları kullanılmıştır.

The screenshot displays the Bioprocess Control software interface. At the top, there is a navigation bar with buttons for Home, Experiment, Control, Graphs, Download report, and System. Below this, the 'Experiment settings' section is active, showing a list of experiment bottles (1 to 15) with bottle 15 selected. The 'Bottle #15' settings are displayed in a table:

Name	
Total sample amount [g]	75
Inoculum concentration [% w/w]	1.57
Substrate concentration [% w/w]	1.46
I/S ratio	2
Total volume of reactor [ml]	600
Assumed CH4 content [%]	60
Type of unit [VS/COD]	VS

To the right, the 'Experiment guidelines' section provides calculated values for setting up the experiment bottle:

Inoculum amount [g]	48.78
Substrate amount [g]	26.22
Inoculum VS or COD amount [g]	0.77
Substrate VS or COD amount [g]	0.38
Headspace volume [ml]	525

At the bottom left, there is a link to the 'Guideline matrix (Show)'.

Resim 4.6. Bioprocess kontrol analiz programı

Resim 4.6’da yer alan ve uçucu katı analiz ile elde edilen aşıya ait %1,57 UKM değeri ve tofu atık suyuna ait %1,46 UKM değeri kullanılarak karışımı oluşturan aşı ve tofu atık suyu miktarları bioprocess kontrol analiz programı kullanılarak hesaplanmıştır.

Tartılan atık su ve aşı 150 mL’lik serum şişelerinin içerisine konulmuştur. Çizelge 4.3’de yer alan biyokömür oranları (%0,05, %0,1 ve %0,5) inthapanya ve arkadaşları [84] tarafından yapılmış olan çalışmalar göz önünde bulundurularak deney setine eklenmesi gereken biyokömür miktarları hesaplanmıştır. Çizelge 4.3’de numunelerin karışım miktarları görülmektedir. Deneysel çalışmalar kesikli (batch) analizler şeklinde yapılmıştır. 5 farklı sette deney düzeneği oluşturulmuştur. Her bir sette organik madde miktarı ve biyokömür miktarları farklı tutulmuştur. Her set için 3 şişe hazırlanmıştır. I.SET’te 3 şişede sadece yemek atıkları ve sığır gübresi karışımı aşı olarak kullanılmıştır. II. SET’te 3 şişede yemek atıklarına ve sığır gübresi karışımına tofu atık suyu ilave edilerek denemeler yapılmıştır. III. SET’te 3 şişede yemek atıklarına ve sığır gübresine tofu atık suyu ile %0,05 oranında biyokömür ilave edilereke denemeler yapılmıştır. IV. SET’te 3 şişede yemek atıklarına ve sığır gübresine tofu atık suyu ile %0,1 oranında biyokömür ilave edilerek denemeler yapılmıştır. V.SET’te 3 şişede yemek atıklarına ve sığır gübresine tofu atık suyu ile %0,5 oranında biyokömür ilave edilerek denemeler yapılmıştır.

Çizelge 4.3. Numune karışım miktarları

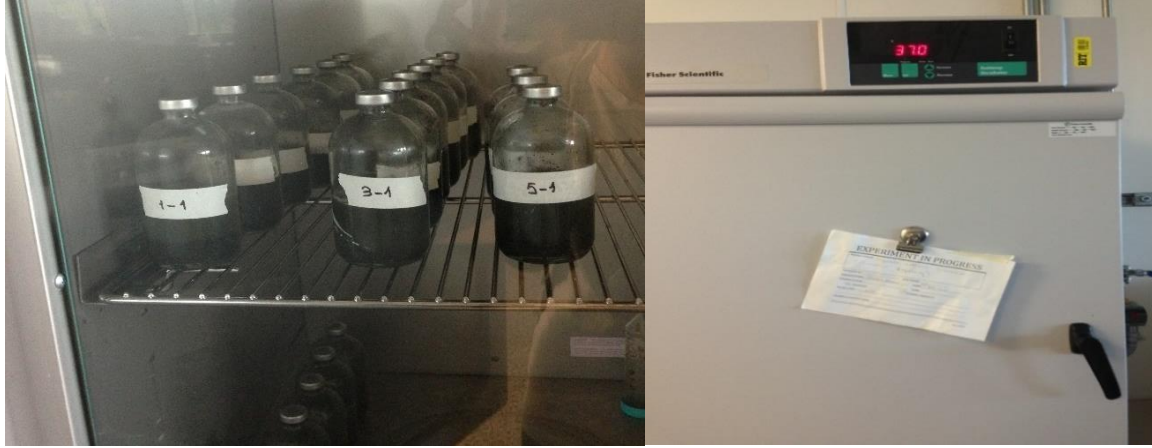
Deney Setleri	Biyokömür (%)	Numune sayısı	Yemek atıkları+ Sığır gübresi (gr)	Tofu atık suyu (gr)	Biyokömür (gr)
I.SET		3	75	-	-
II.SET		3	48,78	26,22	-
III.SET	0,05	3	48,78	26,22	0,0375
IV.SET	0,1	3	48,78	26,22	0,075
V.SET	0,5	3	48,78	26,22	0,375

Başlangıç KOI ve pH değerleri ölçülmüştür. Daha sonra serum şişeler kauçuk tapalar ve alüminyum kapaklar ile kapatılmıştır.

Anaerobik koşulların sağlanması için karışım serum şişelerine konulduktan sonra içine N₂ gazı uygulanarak şişelerin içerisinde kalmış olabilecek O₂ gazı tasfiye edilmiştir.

4.4. Deney Düzenegi

Yapılan bu çalışma mezofilik ortamda 150 mL hacminde 15 adet şişe kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma koşullarını en uygun düzeyde tutabilmek için şişeler, bir inkübatörün içine yerleştirilmiştir ve 37 °C’de 32 gün boyunca sabit tutulmuştur. Şişelerin yer aldığı deney düzenegi Resim 4.7’de gösterilmiştir.



Resim 4.7. İnkübatör içinde numuneler ve inkübatör

4.5. Yapılan Analizler ve Ölçümler

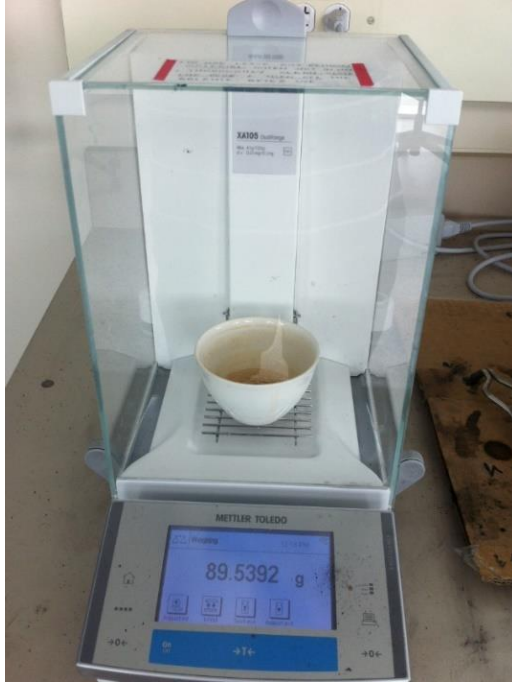
4.5.1. Toplam katı analizi

Kullanılan aletler;

- Porselen kroze
- Hassas terazi
- Etüv
- Desikatör

Deneyin yapılışı

Karışım porselen kroze içine konulup Resim 4.8’de hassas terazide tartılır. Karışım pota ile birlikte Resim 4.9’da görülen Etüv (TestEquity FH5 Forced Air Oven)’de 105 °C ‘de 24 saat tutulur.



Resim 4.8. Hassas terazi



Resim 4.9. Etüv

Etüv içerisinde çıkarılan karışım Resim 4.10’da görülen desikatörün içine konularak oda sıcaklığına kendiliğinden inmesi beklenir ve tekrar tartılır. Fırın içerisinde çıkarıldıktan sonra kalan karışımın ağırlığı toplam katı miktarı, buharlaşarak kaybedilen ağırlık da karışımın nem miktarıdır.



Resim 4.10. Desikatör

Hesaplama

Toplam katı miktarı aşağıda yer alan denklem ile hesaplanır (APHA 2540 B, 1999).

$$\%TS = \frac{(C-A)}{(B-A)} \times 100 \quad (4.1)$$

A: Potanın ağırlığı

B: Taze karışım ağırlığı+ potanın ağırlığı

C: Kuru karışım ağırlığı+potanın ağırlığı

4.5.2. Uçucu katı analizi

Kullanılan aletler;

- Porselen kroze
- Hassas terazi
- Kül fırın
- Desikatör

Deneyin yapılışı

Toplam katı sonrası analizin yapıldığı kuru karışım Resim 4.11’de görülen 550 °C’lik kül fırın içine konulur ve 3 saat bekletilir. Fırın içerisinden çıkarılan karışım desikatörün içine konularak oda sıcaklığına doğal olarak inmesi bekletilir ve tekrar tartılır.



Resim 4.11. Kül fırın

Hesaplama

Toplam uçucu katı miktarı aşağıda yer alan denklem ile hesaplanır (APHA 2540 B, 1999).

$$\%VS = \frac{(D-A)}{(C-A)} \times 100 \quad (4.2)$$

A: Potanın ağırlığı

C: Kuru karışım ağırlığı fırından çıktıktan sonra+ potanın ağırlığı

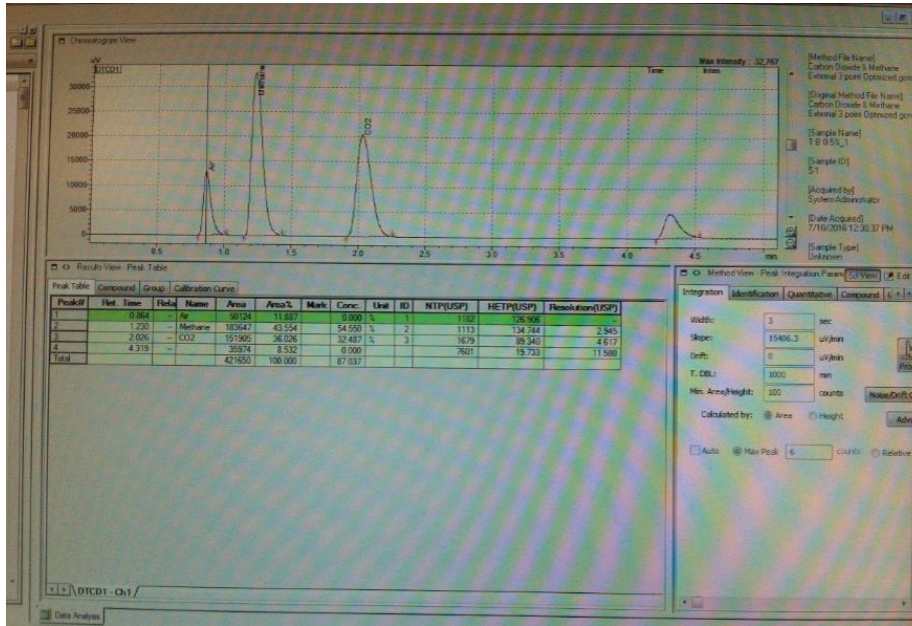
D: Kuru karışım ağırlığı fırına konulmadan önce +potanın ağırlığı

4.5.3. Biyogaz ölçümü ve analizi

Üretilen gazın kompozisyonunu belirlemek amacıyla biyogaz ölçümleri yapılmıştır. Numunelerden 32 gün boyunca 2 günde 1 ve 3 günde 1 olmak üzere şırınga yardımıyla içlerindeki gaz alınarak Resim 4.12’de yer alan Gaz Kromatografi (GC-2014-Shimadzu) cihazı kullanılarak biyogaz ölçümü yapılmıştır. İlk ölçüm inkübatöre konulduktan bir gün sonra yapılmıştır. Gaz kromatografi cihazında taşıyıcı gaz olarak helyum kullanılmıştır. Gaz kromatografi cihazı her numune için 1,25 mL gaz enjekte etmekte ve otomatik valfler yardımıyla analizler yapılmaktadır. 5 dakikalık analiz süresi sonunda gaz numunesinin bileşenleri (CO₂, CH₄) % cinsinden ölçülmektedir. Resim 4.13’de gaz kromatografi cihazı tarafından hazırlanan ölçümün analiz sonucu görülmektedir.



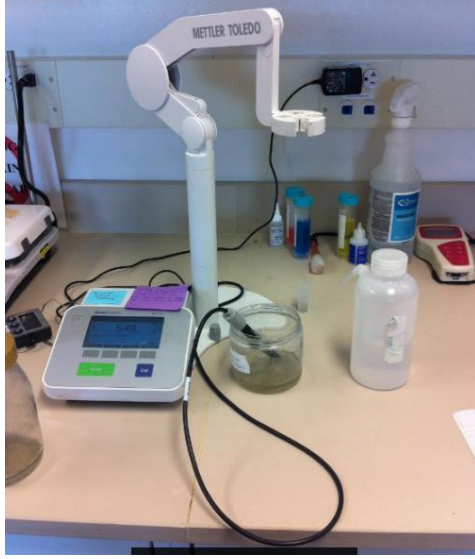
Resim 4.12. GC-2014 biyogaz ölçüm cihazı



Resim 4.13. Biyogaz ölçüm analiz sonucu

4.5.4. pH ölçümü

Numunelerin pH ölçümleri test öncesi ve sonrası olmak üzere toplam iki kez yapılmıştır. pH ölçümlerinde Resim 4.14'de yer alan pH -Metre (Dijital Mettler Toledo) kullanılmış ve pH değerleri kayıt altına alınmıştır. Dijital Mettler Toledo cihazının kalibrasyonu pH değeri 4,0 ve 7,0 olan tampon çözelti kullanılarak yapılmıştır.



Resim 4.14. pH -Metre

4.5.5. KOI ölçümü

Numunelerin KOI ölçümleri test öncesi ve sonrası olmak üzere toplamda iki defa yapılmıştır. KOI ölçümlerinde Resim 4.15’de yer alan KOI ölçüm cihazı (HACH DRB 200) kullanılmıştır. KOI ölçümlerinde Standard Method 5220D standardı kullanılmıştır.



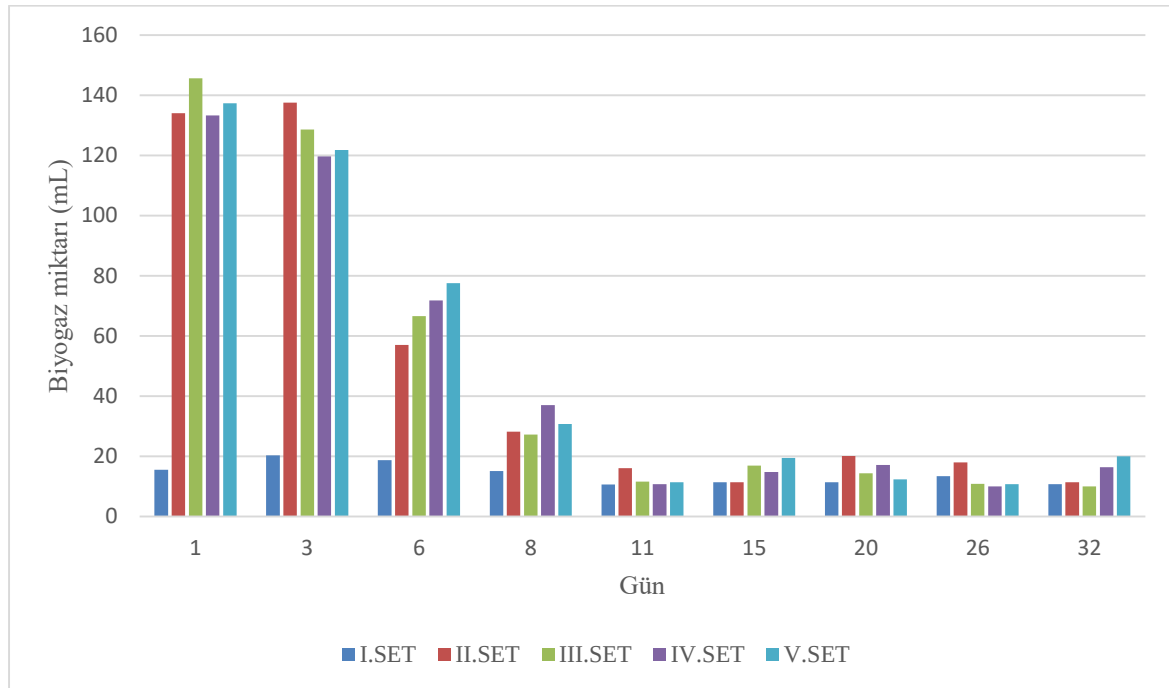
Resim 4.15. KOI ölçüm cihazı

5. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

Yemek atıkları, sığır gübresi, tofu atık suyu ve biyokömür ilavesi ile mezofilik şartlar altında sistemde anaerobik çürüme incelenmiştir.

5.1. Biyogaz Üretim Potansiyeli

Şekilde 5.1’de ortalama biyogaz üretimi verileri yer almaktadır. En yüksek ortalama biyogaz üretimi 1.gün’de aşı tofu atık suyu ve biyokömür %0,05 karışımı III.SET ile 145,66 mL elde edilmiştir. Ortalama en düşük biyogaz üretimi 26.gün’de IV.SET’te ve 32.günde III.SET’te 10 mL olarak elde edilmiştir.



Şekil 5.1. Ortalama biyogaz üretim potansiyeli

Çizelge 5.1’de biyogaz üretim miktarlarının günlere göre ölçülen değerleri yer almaktadır.

En fazla biyogaz üretimi 1.gün’de aşı ve tofu atık suyu II.SET’te yer alan numunede 160,6 mL olarak ölçülmüştür. Biyokömür karışımlarından en fazla biyogaz üretimi 1.gün’de biyokömür %0,05 III.SET’te yer alan numunede 154 mL olarak ölçülmüştür. Toplam 5 farklı set karışımında en düşük biyogaz üretimi 32. gün’de ölçümde III.SET’te yer alan numunede 8 mL olarak ölçülmüştür.

Çizelge 5.1. Biyogaz üretim miktarlarının günlere göre ölçülen değerleri

Deney Setleri	Karışımlar	Gün								
		1	3	6	8	11	15	20	26	32
		(mL)								
I.SET	Aşı	20,4	18	19,2	10	10	11,4	11,4	10	10
		11,4	23,8	27,4	10	10,4	11,4	11,4	10	11
		14,6	19,2	9,6	25,2	11,4	11,4	11,4	20	11
II.SET	Aşı+Tofu atık suyu	136,4	137,5	50	30	14	11,4	22,4	17	11
		105	137,5	63,2	22,5	18	11,4	11,4	20	11
		160,6	137,5	57,8	32	16	11,4	26,4	17	12
III.SET	Aşı+Tofu atık suyu +Biyokömür (%0,05)	140	132,5	60,2	22	13,4	11,4	21,6	10	11
		154	131	70,2	23	10,6	22,8	10	11	8
		143	122,5	69,4	36,5	10,6	16,4	11,4	11,4	11
IV.SET	Aşı+Tofu atık suyu +Biyokömür (%0,1)	141	122	75,4	31	11	11,4	21,2	10	11
		130	126	70	35	10	21,4	10,2	10	17
		129	111	70	45	11	11,4	20	10	21
V.SET	Aşı+Tofu atık suyu +Biyokömür (%0,5)	140	125	67	37,5	11,4	20	11	11	10
		130	123,5	84,6	29	11,4	18,4	16	10	21,4
		142	117	81	25,5	11,4	20	10	11	28,4

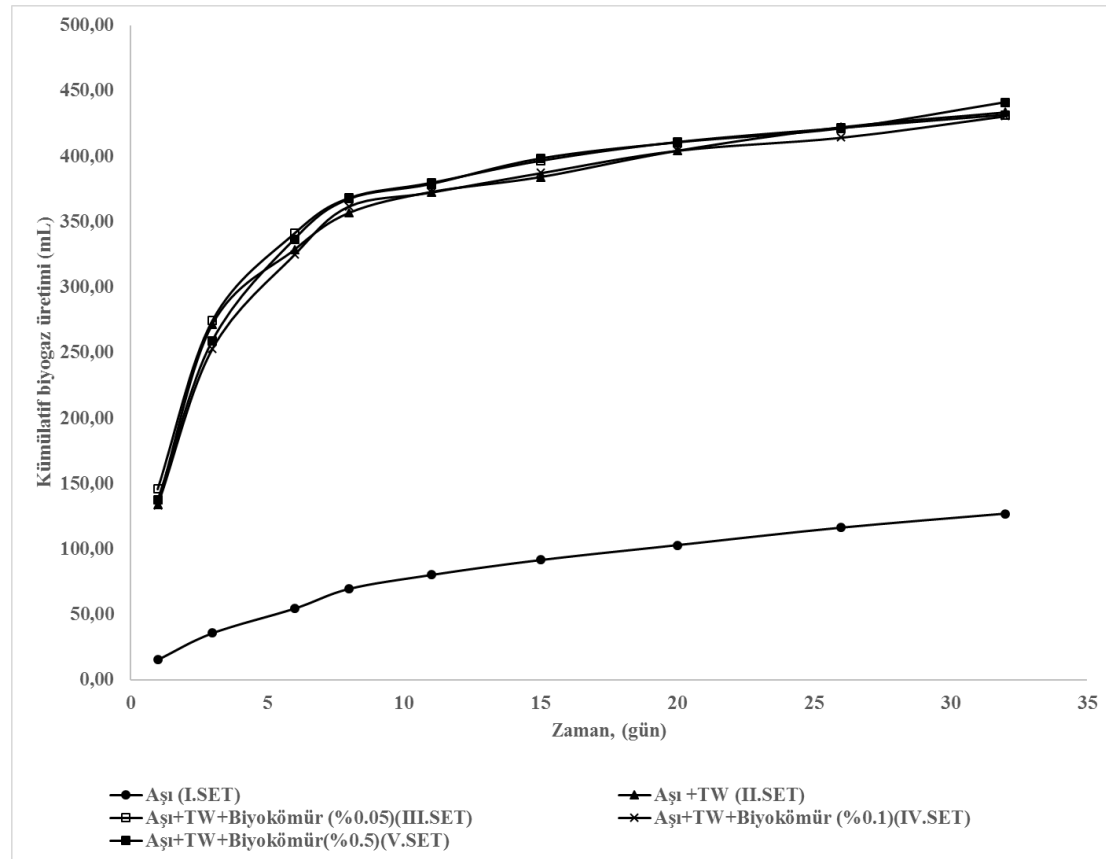
5.2. Kümülatif Biyogaz Üretimi

Çizelge 5.2’de kümülatif biyogaz üretimi verileri yer almaktadır. En fazla kümülatif biyogaz üretimi aşı, tofu atık suyu ve biyokömür %0,5 V.SET karışımı ile toplamda 32.günün sonunda 441,17 mL olarak elde edilmiştir. En düşük kümülatif biyogaz üretimi sadece aşıda I.SET 32.gün sonunda 127 mL olarak elde edilmiştir.

Çizelge 5.2. Kümülatif biyogaz üretimi verileri

	I.SET	II.SET	III.SET	IV.SET	V.SET
	Aşı	Aşı+Tofu atık suyu	Aşı+Tofu atık suyu +Biyokömür (%0,05)	Aşı+Tofu atık suyu +Biyokömür (%0,1)	Aşı+Tofu atık suyu +Biyokömür (%0,5)
	(mL)				
Gün	Ortalama Kümülatif	Ortalama Kümülatif	Ortalama Kümülatif	Ortalama Kümülatif	Ortalama Kümülatif
1	15,47	134,00	145,67	133,33	137,33
3	35,80	271,50	274,33	253,00	259,17
6	54,53	328,50	340,93	324,80	336,70
8	69,60	356,67	368,10	361,80	367,37
11	80,20	372,67	379,63	372,47	378,77
15	91,60	384,07	396,50	387,20	398,23
20	103,00	404,13	410,83	404,33	410,57
26	116,33	411,13	421,63	414,33	421,23
32	127,00	433,47	431,63	430,67	441,17

Şekil 5.2’de kümülatif biyogaz üretimi grafiği yer almaktadır.



Şekil 5.2. Kümülatif biyogaz üretimi grafiği

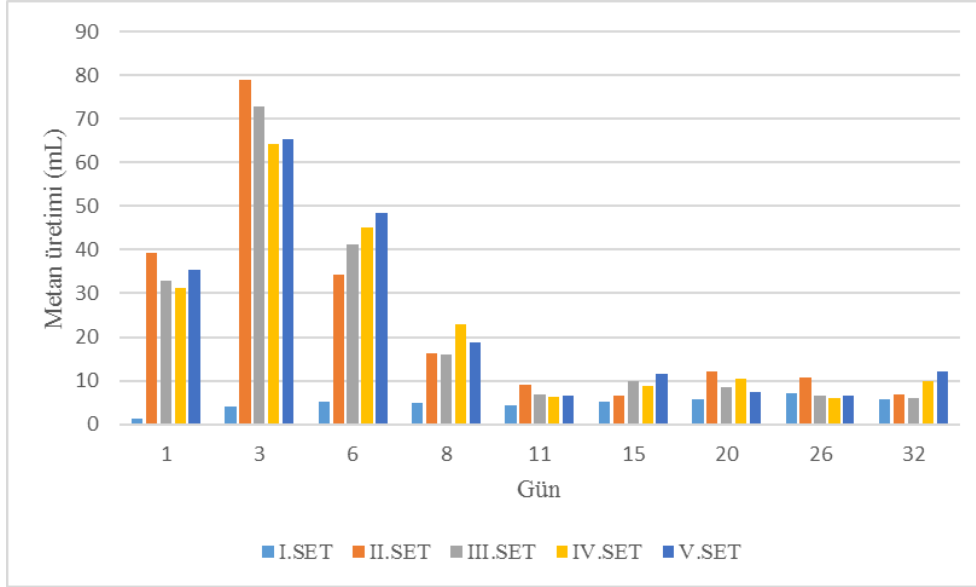
Çizelge 5.3’de biyogaz % potansiyel tablosu yer almaktadır. Aşı I.SET hariç diğer 4 adet karışımda yani II,III,IV ve V.SETlerde biyogaz % potansiyelinin % 90’lık kısmının ilk 15 günde elde edildiği görülmektedir. Aşıda biyogaz % potansiyelinin % 90’lık kısmının 26. gün sonunda elde edildiği görülmüştür. Literatürde yapılan çalışmalarda %90’lık biyogaz üretim potansiyelinin ilk 15 günde elde edildiği görülmüştür [90].

Çizelge 5.3. Biyogaz % potansiyeli

	I.SET	II.SET	III.SET	IV.SET	V.SET
	Aşı	Aşı+Tofu atık suyu	Aşı+Tofu atık suyu +Biyokömür (%0,05)	Aşı+Tofu atık suyu +Biyokömür (%0,1)	Aşı+Tofu atık suyu +Biyokömür (%0,5)
Gün	(%)				
1	12	31	34	31	31
3	28	63	64	59	59
6	43	76	79	75	76
8	55	82	85	84	83
11	63	86	88	86	86
15	72	89	92	90	90
20	81	93	95	94	93
26	92	97	98	96	95
32	100	100	100	100	100

5.3. Metan Üretimi

Şekilde 5.3’de ortalama metan üretimi verileri yer almaktadır. En yüksek ortalama metan üretimi 3.gün’de aşı ve tofu atık suyu karışımı II.SET ile 79 mL elde edilmiştir. Ortalama en düşük metan üretimi 1.günde aşı yani I.SET’te 1,2 mL olarak elde edilmiştir.



Şekil 5.3. Metan ortalama üretim potansiyeli

Çizelge 5.4’de % metan bileşeni yer almaktadır. En fazla % metan bileşeni aşı, tofu atık suyu ve biyokömür % 0,05 III.SET karışımında yer alan numunede % 63,58 olarak olarak ölçülmüştür. Ortalama en yüksek metan % bileşeni üretimi aşı, tofu atık suyu ve biyokömür (%0,1) (IV.SET) karışımı ile 6.günde % 62,74 olarak elde edilmiştir. Toplam 5 farklı set karışımında en düşük metan % bileşimi üretimi aşı’da (I.SET) yer alan numunede 1.gün’de %7,89 olarak ölçülmüştür. Toplam en düşük ortalama metan % bileşimi aşı’da 1.gün’de %8,04 olarak elde edilmiştir.

Çizelge 5.4. Ölçülen metan (%) bileşeni

Deney Setleri	Karışımlar	Gün								
		1	3	6	8	11	15	20	26	32
		(%)								
I.SET	Aşı	7,9	19,1	28,1	33	39,5	45,2	49,3	52	53
		8	19,4	27,7	32,7	40	45,7	50,5	52,6	53,8
		8,2	20,3	28,1	32,9	39,3	44,4	49,5	52,5	52,2
II.SET	Aşı+Tofu atık suyu	29	57,7	59,9	57,5	56,8	58	59,2	59,5	58,7
		29	58,2	60,3	56,6	57,8	58,3	59,7	61	59,2
		30	56,6	60,4	57,7	56,8	59,1	60,3	59,7	59,9
III.SET	Aşı+Tofu atık suyu +Biyokömür (%0,05)	14	58,6	60,5	57,5	57,4	59,1	60,6	59,7	59,6
		27	55,9	61,2	59,3	58,5	59,9	59,3	60,7	61
		26	55	63,6	60,2	58,7	58,8	59,2	60,9	61,2
IV.SET	Aşı+Tofu atık suyu +Biyokömür (%0,1)	20	54,1	62,1	60,8	59,2	60,4	60,8	60,4	60,9
		26	54,3	62,9	60,8	58,2	59,5	60	60,4	60,7
		25	53	63,2	62,9	59,2	60,6	61,5	60,5	61,5
V.SET	Aşı+Tofu atık suyu +Biyokömür (%0,5)	27	54,6	62,9	61,3	58,2	59,1	59,3	60	61,9
		26	52,9	62,1	60,8	58,5	60,3	59,6	59,7	60,5
		25	53,9	62,6	61	58,8	59,7	60,4	60,8	61,6

Çizelge 5.5’de metan üretim verileri yer almaktadır. Metan üretim verileri, ölçülen biyogaz miktarı ve ölçülen % metan oranının çarpımı ile elde edilmiştir. En fazla metan üretimi 3.gün’de aşı ve tofu atık suyu II.SET’te yer alan numunede 80 mL olarak elde edilmiştir. Biyokömür karışımlarından en fazla metan üretimi 3.gün’de biyokömür %0,05 III.SET’te yer alan numunede 77,6 mL olarak elde edilmiştir. Toplam 5 farklı set karışımında en düşük metan üretimi 1. gün’de ölçümde aşı I.SET’te yer alan numunede 0,9 mL olarak elde edilmiştir.

Çizelge 5.5. Metan üretimi verileri

Deney Setleri	Karışımlar	Gün								
		1	3	6	8	11	15	20	26	32
		(mL)								
I.SET	Aşı	1,6	3,43	5,4	3,3	3,95	5,15	5,61	5,2	5,3
		0,9	4,61	7,59	3,27	4,16	5,2	5,76	5,26	5,92
		1,2	3,91	2,69	8,28	4,48	5,06	5,65	10,5	5,74
II.SET	Aşı+Tofu atık suyu	40	79,3	30	17,3	7,95	6,61	13,3	10,1	6,45
		31	80	38,1	12,7	10,4	6,65	6,81	12,2	6,52
		47	77,9	34,9	18,5	9,09	6,73	15,9	10,1	7,18
III.SET	Aşı+Tofu atık suyu +Biyokömür (%0,05)	19	77,6	36,4	12,6	7,69	6,74	13,1	5,97	6,55
		42	73,3	43	13,6	6,2	13,7	5,93	6,68	4,88
		38	67,4	44,1	22	6,22	9,64	6,74	6,94	6,73
IV.SET	Aşı+Tofu atık suyu +Biyokömür (%0,1)	28	65,9	46,8	18,8	6,51	6,89	12,9	6,04	6,7
		34	68,4	44,1	21,3	5,82	12,7	6,12	6,04	10,3
		32	58,8	44,2	28,3	6,52	6,9	12,3	6,04	12,9
V.SET	Aşı+Tofu atık suyu +Biyokömür (%0,5)	37	68,2	42,2	23	6,64	11,8	6,53	6,59	6,19
		33	65,3	52,6	17,6	6,67	11,1	9,53	5,97	12,9
		35	63	50,7	15,6	6,71	11,9	6,04	6,69	17,5

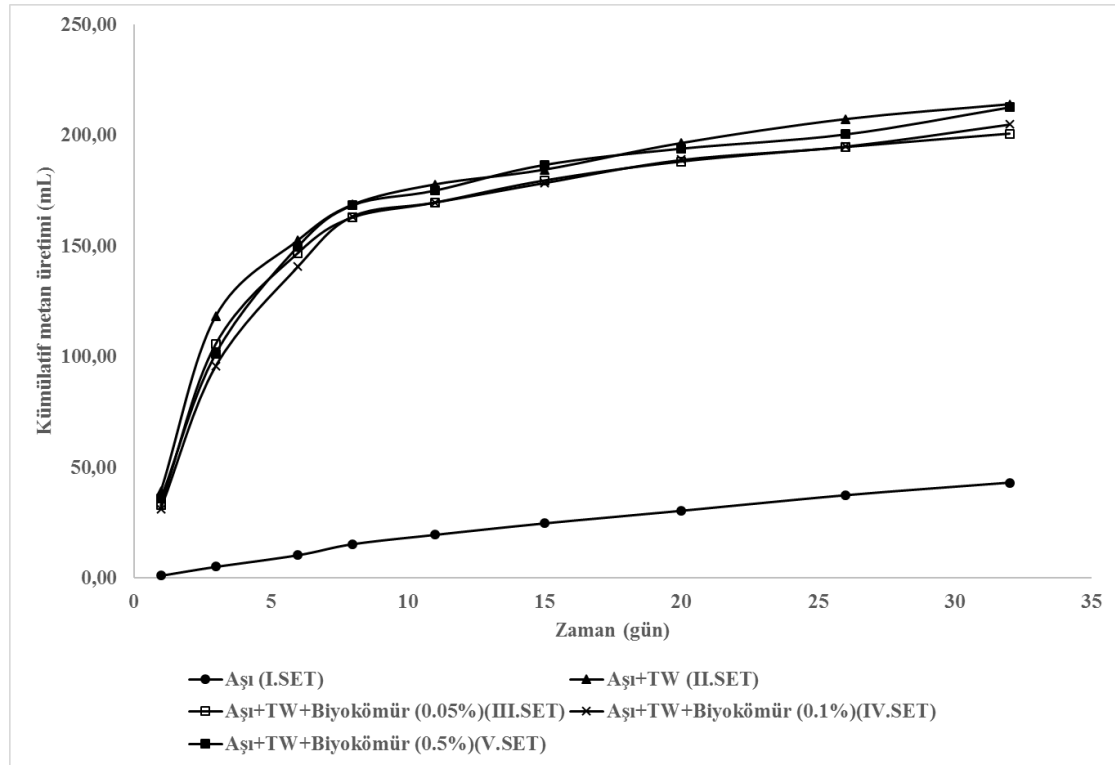
5.4. Kümülatif Metan Üretimi

Çizelge 5.6’da kümülatif metan üretim verileri yer almaktadır. En yüksek kümülatif metan üretimi aşı ve tofu atık suyu karışımı ile toplamda 32. gün sonucunda 214,11 mL olarak elde edilmiştir. En düşük kümülatif metan üretimi sadece aşı’da 32.gün sonunda 43,04 mL olarak elde edilmiştir. Biyokömürün yer aldığı karışımlardan en yüksek kümülatif metan üretimi biyokömürün %0,5’lik karışımı olan V.SET ile 212,79 mL olarak elde edilmiştir.

Çizelge 5.6. Kümülatif metan üretimi verileri

	I.SET	II.SET	III.SET	IV.SET	V.SET
	Aşı	Aşı+Tofu atık suyu	Aşı+Tofu atık suyu +Biyokömür (%0,05)	Aşı+Tofu atık suyu +Biyokömür (%0,1)	Aşı+Tofu atık suyu +Biyokömür (%0,5)
	(mL)				
Gün	Ortalama Kümülatif	Ortalama Kümülatif	Ortalama Kümülatif	Ortalama Kümülatif	Ortalama Kümülatif
1	1,24	39,24	32,87	31,26	35,81
3	5,22	118,28	105,62	95,64	101,32
6	10,45	152,61	146,79	140,67	149,79
8	15,4	168,76	162,87	163,48	168,51
11	19,59	177,91	169,58	169,76	175,18
15	24,73	184,57	179,59	178,61	186,8
20	30,4	196,57	188,17	189,05	194,16
26	37,39	207,4	194,7	195,09	200,58
32	43,04	214,11	200,75	205,07	212,79

Şekil 5.4’de mezofilik şartlarda kümülatif metan üretimi grafiği yer almaktadır.



Şekil 5.4. Kümülatif metan üretimi grafiği

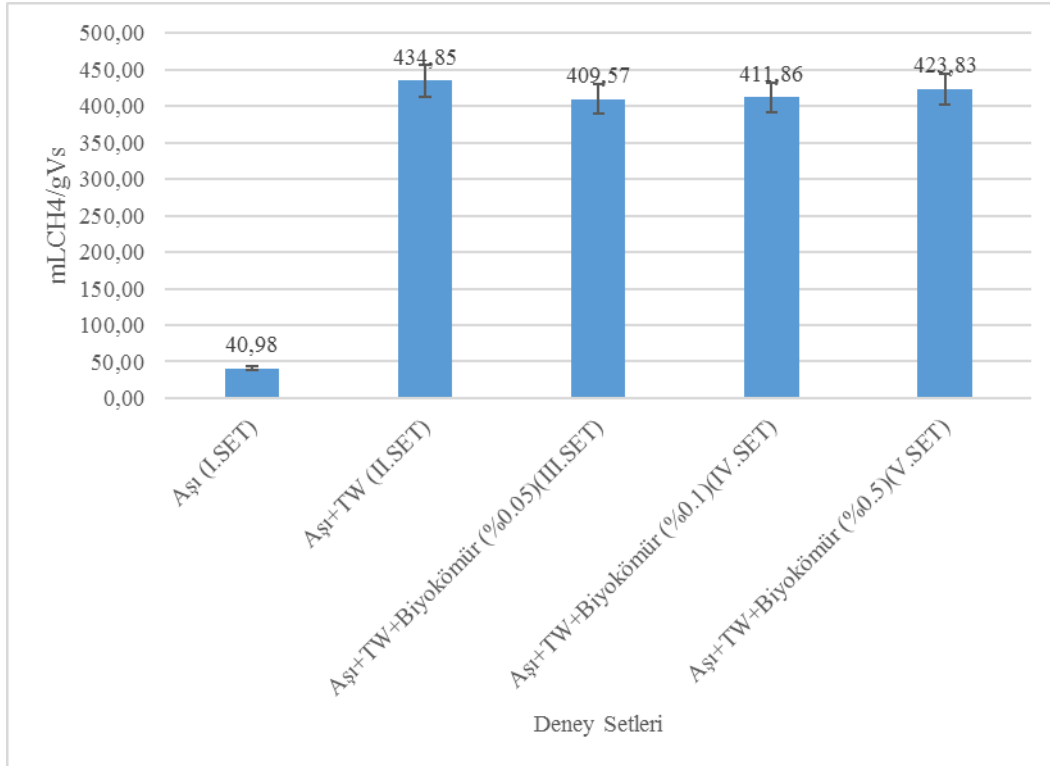
Çizelge 5.7’de metan % potansiyel tablosu yer almaktadır. Aşı I.SET hariç diğer 4 adet sette (II, III, IV ve V.SET) metan % potansiyelinin % 90’lık kısmının ilk 15 günde elde edildiği görülmektedir. Aşı’da metan % potansiyelinin % 90’lık kısmının 26. gün sonunda elde edildiği görülmüştür.

Çizelge 5.7. Hesaplanan metan % potansiyeli

	I.SET	II.SET	III.SET	IV.SET	V.SET
	Aşı	Aşı+Tofu atık suyu	Aşı+Tofu atık suyu +Biyokömür (%0,05)	Aşı+Tofu atık suyu +Biyokömür (%0,1)	Aşı+Tofu atık suyu +Biyokömür (%0,5)
Gün	(%)				
1	3	18	16	15	17
3	12	55	53	47	48
6	24	71	73	69	70
8	36	79	81	80	79
11	46	83	84	83	82
15	57	86	89	87	88
20	71	92	94	92	91
26	87	97	97	95	94
32	100	100	100	100	100

5.5. Standard Metan Verimi

5 farklı karışım ile birlikte 15 numuneye ait biyokimyasal metan potansiyeli (Biochemical methane Potentionel-BMP) için standard metan verimi Şekil 5.5’de verilmiştir. Standard metan verimi (mlCH_4/gVs), gram uçucu maddeden elde edilen metan miktarı olarak hesaplanmıştır. En yüksek standard metan verimi aşı ile birlikte tofu atık suyu karışımında görülmüştür. Biyokömür karışımlarının yer aldığı numunelerden en yüksek standard metan verimi % 0,5 biyokömür olan karışımından elde edilmiştir. Amerika Birleşik Devletleri’nde Rochester Yüksek Teknoloji Üniversitesi Golisano Sürdürülebilir Enstitüsü tarafından yapılan çalışmada, üniversitelerin yemek atıkları ve sığır gübresi karışımından biyogaz üretim potansiyeli incelendiğinde yemek atıkları ile elde edilen standard metan veriminin iyi düzeyde olduğu görülmüştür [71]. Danimarka Teknik Üniversitesi tarafından yapılan çalışmada, şeker, patates nişastası ve palmye yağı üreten firmaların atıkları sığır gübresine ayrı ayrı eklenip standard metan verimi karşılaştırıldığında sığır gübresi standard verimine oranla daha yüksek olduğu görülmüştür [91].



Şekil 5.5. Biyokimyasal metan potansiyeli için standard metan verimi

5.6. pH Ölçüm Deney Sonuçları

Anaerobik çürümelerde, mikroorganizmanların davranışları ve substratın çözünabilirliğine etki eden önemli parametrelerden biri pH değerleridir. Anaerobik sistemde birçok farklı mikroorganizmalar bulunmakta ve bu mikroorganizmaların gelişmesini sağlayacak pH aralığı sağlanmalıdır. Bu nedenle, pH değerleri ölçülmüştür. Çizelge 5.8’de ölçüm değerleri görülmektedir. En düşük pH değeri tofu atık suyunda 6,24 olarak ölçülmüştür. En yüksek pH değeri 7,67 olarak V.SET’te ölçülmüştür.

Çizelge 5.8. pH ölçüm değerleri

Deney setleri		II.SET		III.SET		IV.SET		V.SET	
	Tofu atık suyu	Aşı+ Tofu atık suyu		Aşı +Tofu atık suyu + Biyokömür (% 0,05)		Aşı + Tofu atık suyu + Biyokömür (% 0,1)		Aşı +Tofu atık suyu + Biyokömür (% 0,5)	
	T=0	T=0	T=32	T=0	T=32	T=0	T=32	T=0	T=32
Ortalama pH	6,24	7,58	7,39	7,65	7,43	7,65	7,43	7,67	7,41

5.7. KOI Ölçüm Deney Sonuçları

Çizelge 5.9’de KOI ölçüm değerleri test öncesi (T0=0) ve test sonrası (T=32) olarak ölçülmüştür. Test öncesi bütün karışımlar için KOI değerlerinin yüksek olduğu görülmüş ve test sonrası ölçüldüğünde bu değerlerin ciddi oranda düştüğü görülmüştür. Test öncesi en yüksek KOI değerlerinin aşı, tofu atık suyu ve biyokömür %0,5 karışımında ölçülmüştür. Test sonrası en düşük KOI değerleri aşı, tofu atık suyu ve biyokömür %0,1 karışımında ölçülmüştür. Aşı ve tofu atık suyu karışımının II. SET %75’lik KOI giderimi sağlanmıştır. Ayrıca, aşı, tofu atık suyu ve biyokömür karışımının IV.SET %75’lik KOI giderimi sağlanmıştır.

Çizelge 5.9. KOI ölçüm değerleri(mg/L)

Deney setleri		II.SET		III.SET		IV.SET		V.SET	
	Tofu atık suyu	Aşı+ Tofu atık suyu		Aşı +Tofu atık suyu + Biyokömür (% 0,05)		Aşı + Tofu atık suyu + Biyokömür (% 0,1)		Aşı +Tofu atık suyu + Biyokömür (% 0,5)	
	T=0	T=0	T=32	T=0	T=32	T=0	T=32	T=0	T=32
KOI (örnek 1)	21380	21110	5508	21700	5707	22150	5358	22430	5955
KOI (örnek 2)	21085	21070	5427	22050	6917	22090	5344	22185	5597
KOI (örnek 3)	21400	21090	5357	21950	6035	22060	5379	21940	6715
Ortalama KOI	21288	21090	5431	22000	6220	21980	5360	22185	6089

5.8. İstatistiksel Analizler

Deneyisel sonuçların yorumlanmasında istatistiksel analizlerde kullanılmaktadır. Günlere göre karışımların betimleyici istatistiksel değerler biyogaz üretimi olarak Çizelge 5.10’da verilmiştir. Çizelgeden de görüldüğü gibi, ortalama biyogaz üretimi en yüksek aşı, tofu atık suyu ve biyokömür %0,05 karışımında 1. gün de 145,6667 mL olarak ölçülmüştür. En yüksek standard sapma değeri olarak aşı ve tofu atık suyu karışımında 1. gün de 27,87759 hesaplanmıştır. Biyokömür eklenmiş olan karışımlar karşılaştırıldığında en yüksek ortalama biyogaz üretimi aşı, tofu atık suyu ve biyokömür %0,05 karışımında 1. gün de 145,6667 mL olarak ölçülmüştür. Standard sapma değeri olarak en düşük 0 olarak hesaplanmıştır. Standard sapmanın değeri olarak 0 olduğu karışımlar ve günler sırası ile; aşı (15. gün ve 20. gün), aşı, tofu atık suyu (3. gün ve 15.gün), aşı, tofu atık suyu ve biyokömür %0,1 (26.gün), aşı, tofu atık suyu ve biyokömür %0,5 (11.gün).

Çizelge 5.10. Günlere göre karışımlara ait betimleyici istatistikler (biyogaz)

Deney Setleri	Karışımlar	Gün	1	3	6	8	11	15	20	26	32
		Betimleyici İstatistikler									
I.SET	Aşı	N	3	3	3	3	3	3	3	3	3
		Minimum (mL)	11,4	18	9,6	10	10	11,4	11,4	10	10
		Maximum (mL)	20,4	23,8	27,4	25,2	11,4	11,4	11,4	20	11
		Ortalama (mL)	15,4667	20,3333	18,7333	15,0667	10,6000	11,4000	11,4000	13,3333	10,6667
		Standard Sapma	4,56216	3,06159	8,90917	8,77572	0,72111	0,00000	0,00000	5,77350	0,57735
II.SET	Aşı+ Tofu atık suyu	Minimum (mL)	105	137,5	50	22,5	14	11,4	11,4	17	11
		Maximum (mL)	160,6	137,5	63,2	32	18	11,4	26,4	20	12
		Ortalama (mL)	134,0000	137,5000	57,0000	28,1667	16,0000	11,4000	20,0667	18,0000	11,3333
		Standard Sapma	27,87759	0,00000	6,63626	5,00833	2,00000	0,00000	7,76745	1,73205	0,57735
III.SET	Aşı+Tofu atık suyu+ Biyokömür (%0,05)	Minimum (mL)	140	122,5	60,2	22	10,6	11,4	10	10	8
		Maximum (mL)	154	132,5	70,2	36,5	13,4	22,8	21,6	11,4	11
		Ortalama (mL)	145,6667	128,6667	66,6000	27,1667	11,5333	16,8667	14,3333	10,8000	10,0000
		Standard Sapma	7,37111	5,39290	5,55698	8,09835	1,61658	5,71431	6,33193	0,72111	1,73205
IV.SET	Aşı+Tofu atık suyu+ Biyokömür (%0,1)	Minimum (mL)	129	111	70	31	10	11,4	10,2	10	11
		Maximum (mL)	141	126	75,4	45	11	21,4	21,2	10	21
		Ortalama (mL)	133,3333	119,6667	71,8000	37,0000	10,6667	14,7333	17,1333	10,0000	16,3333
		Standard Sapma	6,65833	7,76745	3,11769	7,21110	0,57735	5,77350	6,03435	0,00000	5,03322
V.SET	Aşı+Tofu atık suyu+ Biyokömür (%0,5)	Minimum (mL)	130	117	67	25,5	11,4	18,4	10	10	10
		Maximum (mL)	142	125	84,6	37,5	11,4	20	16	11	28,4
		Ortalama (mL)	137,3333	121,8333	77,5333	30,6667	11,4000	19,4667	12,3333	10,6667	19,9333
		Standard Sapma	6,42910	4,25245	9,29803	6,17117	0,00000	0,92376	3,21455	0,57735	9,28727

Günlere göre karışımların betimleyici istatistiksel değerler metan üretimi olarak Çizelge 5.11’de verilmiştir. Çizelgeden de görüldüğü gibi, ortalama metan üretimi en yüksek aşı ve tofu atık suyu 3. gün de 79,0067 mL olarak ölçülmüştür. En yüksek standard sapma değeri olarak aşı, tofu atık suyu ve biyokömür %0,05 karışımında 1. gün de 12,28821 hesaplanmıştır. Biyokömür eklenmiş olan karışımlar karşılaştırıldığında en yüksek ortalama metan üretimi aşı, tofu atık suyu ve biyokömür %0,05 karışımında 3. gün de 72,7667 mL olarak ölçülmüştür. Standard sapma değeri olarak en düşük 0 olarak aşı, tofu atık suyu ve biyokömür %0,1 karışımında hesaplanmıştır.

Çizelge 5.11. Günlere göre karışımlara ait betimleyici istatistikler (metan)

Deney Setleri	Karışımlar	Gün	1	3	6	8	11	15	20	26	32
		Betimleyici İstatistikler									
I.SET	Aşı	N	3	3	3	3	3	3	3	3	3
		Minimum (mL)	0.9	3.43	2.69	3.27	3.95	5.06	5.61	5.2	5.3
		Maximum (mL)	1.6	4.61	7.59	8.28	4.48	5.2	5.76	10.5	5.92
		Ortalama (mL)	1.2333	3.9833	5.2267	4.9500	4.1967	5.1367	5.6733	6.9867	5.6533
		Standard Sapma	0.35119	0.59341	2.45459	2.88390	0.26690	0.07095	0.07767	3.04278	0.31896
II.SET	Aşı+ Tofu atık suyu	Minimum (mL)	31	77.9	30	12.7	7.95	6.61	6.81	10.1	6.45
		Maximum (mL)	47	80	38.1	18.5	10.4	6.73	15.9	12.2	7.18
		Ortalama (mL)	39.3333	79.0667	34.3333	16.1667	9.1467	6.6633	12.0033	10.8000	6.7167
		Standard Sapma	8.02081	1.06927	4.07962	3.06159	1.22598	0.06110	4.68167	1.21244	0.40278
III.SET	Aşı+Tofu atık suyu+ Biyokömür (%0,05)	Minimum (mL)	19	67.4	36.4	12.6	6.2	6.74	5.93	5.97	4.88
		Maximum (mL)	42	77.6	44.1	22	7.69	13.7	13.1	6.94	6.73
		Ortalama (mL)	33.0000	72.7667	41.1667	16.0667	6.7033	10.0267	8.5900	6.5300	6.0533
		Standard Sapma	12.28821	5.12087	4.16453	5.16269	0.85454	3.49607	3.92672	0.50210	1.02011
IV.SET	Aşı+Tofu atık suyu+ Biyokömür (%0,1)	Minimum (mL)	28	58.8	44.1	18.8	5.82	6.89	6.12	6.04	6.7
		Maximum (mL)	34	68.4	46.8	28.3	6.52	12.7	12.9	6.04	12.9
		Ortalama (mL)	31.3333	64.3667	45.0333	22.8000	6.2833	8.8300	10.4400	6.0400	9.9667
		Standard Sapma	3.05505	4.98029	1.53080	4.92443	0.40129	3.35152	3.75324	0.00000	3.11341
V.SET	Aşı+Tofu atık suyu+ Biyokömür (%0,5)	Minimum (mL)	33	63	42.2	15.6	6.64	11.1	6.04	5.97	6.19
		Maximum (mL)	37	68.2	52.6	23	6.71	11.9	9.53	6.69	17.5
		Ortalama (mL)	35.0000	65.5000	48.5000	18.7333	6.6733	11.6000	7.3667	6.4167	12.1967
		Standard Sapma	2.00000	2.60576	5.53805	3.82797	0.03512	0.43589	1.88945	0.39004	5.68771

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışma, Amerika Birleşik Devletleri'nde New York Eyaletinde Synergy Biogas firması tarafından biyogaz eldesinin veriminin artırılması ve Soyboy tofu üretim firmasına ait tofu atık suyunun probleminin çözümüne yönelik ortaya çıkmıştır.

Bu çalışmada sığır gübresi, yemek atıkları, tofu atık suyu ve biyokömür karışımı ile anaerobik çürüme neticesinde biyogaz elde edilmesi incelenmiştir. Ayrıca mezofilik şartlarda (37°C) biyogaz üretimi ile birlikte pH ve KOI değerlerindeki değişim incelenmiş ve biyokömürün biyogaz üretimine etkisi incelenmiştir.

Çalışma kapsamında elde edilen pH ve KOI ölçüm sonuçlarına ait değerlendirmeler aşağıda yer almaktadır.

1. Anaerobik çürütmeden önce pH değerleri 6,24 -7,67.
2. Anaerobik çürütmeden sonra pH değerleri 7,39 -7,43.
3. Test öncesi aşı ve tofu atık suyu karışımının ortalama KOI değeri 21090 mg/L.
4. Test sonrası aşı ve tofu atık suyu karışımının ortalama KOI değeri 5431 mg/L.
5. Aşı ve tofu atık suyu karışımının %75'lik KOI giderimi sağlanmıştır.
6. Test öncesi aşı, tofu atık suyu ve biyokömür karışımının ortalama KOI değerleri 21980 ile 22185 mg/L arasında ölçülmüştür.
7. Test sonrası aşı, tofu atık suyu ve biyokömür karışımının ortalama KOI değerleri 5360 ile 6220 mg/L arasında ölçülmüştür.
8. Aşı, tofu atık suyu ve biyokömür karışımının %75'lik KOI giderimi sağlanmıştır.

Çalışma kapsamında elde edilen veriler sonucunda biyogaz ve metan üretimine ait sonuçlara ait değerlendirmeler aşağıda yer almaktadır.

9. Yemek atıkları ve sığır gübresine eklenen tofu atık suyunun biyogaz üretimini artırdığı yapılan analiz sonuçlarında gözlemlenmiştir.
10. 32 gün boyunca yapılan ölçümlerde ortalama en yüksek biyogaz üretimi 1.günde aşı, tofu atık suyu ve biyokömür %0,05 karışımı olan III.SET ile 145,66 mL elde edilmiştir.
11. En yüksek kümülatif biyogaz üretimi aşı, tofu atık suyu ve biyokömür %0,5 karışımı olan V.SET ile 32.günün sonunda toplamda 441,17 mL olarak elde edilmiştir.

12. 32 gün boyunca yapılan ölçümlerde ortalama en yüksek metan üretimi 3.günde aşı ve tofu atık suyu karışımı olan II.SET ile 79 mL olarak elde edilmiştir.
13. 32 gün boyunca yapılan ölçümlerde biyokömür karışımlar arasında ortalama en yüksek metan üretimi 3.günde biyokömür %0,05 karışımı olan III.SET ile 72,76 mL olarak elde edilmiştir.
14. En yüksek kümülatif metan üretimi aşı ve tofu atık suyu karışımı ile toplamda 32.gün sonucunda 214,11 mL olarak elde edilmiştir.
15. En yüksek kümülatif metan üretimi biyokömür karışımları içerisinde en yüksek %0,5 karışımlı V.SET ile 212,79 mL olarak elde edilmiştir.
16. Biyokömür olana karışımlar kendi aralarında karşılaştırıldığında biyokömür miktarının %0,05'ten %0,5 oranına çıkarıldığında kümülatif olarak metan üretiminde artış olduğu gözlemlenmiştir.
17. Karışıma eklenen biyokömür miktarının metan % bileşeninde artış gösterdiği analiz sonuçlarında görülmüştür.

Biyogaz üretiminde biyokömürün etkilerinin olumlu yönde olduğuna dair araştırmalar Amerika Birleşik Devletleri'nde yer alan saygın laboratuvarlardan Argonne Ulusal Laboratuvarlarında yapılmaya başlanmıştır.

Yapılan çalışmalar sonucunda yüksek organik yüke sahip olmasından dolayı çevreye oldukça zararlı olan tofu atık suyunun hayvan atıkları ile biyogaz üretilen bir sistemde kullanılmasının uygun olduğu saptanmıştır. Ayrıca biyokömür eklenmesi ile katalizör görevi yaparak metan % bileşeninin artışına daha çabuk ulaşılması sağlanmıştır.

Öneriler

Daha sonra yapılacak çalışmalarda biyokömürün biyogaz ve metan üretimine etkilerinin araştırılması için aşağıdaki çalışmalar yapılabilir.

1. Farklı türden biyokömür kullanılabilir.
2. Biyokömür farklı oranlarda karışıma eklenebilir.
3. Farklı türden atık su kullanılabilir.

KAYNAKLAR

1. İnternet: United Nations Population Urbanization: a majority in cities. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.unfpa.org%2Fpds%2Furbanization.htm&date=2017-10-11>, Son Erişim Tarihi: 11.10.2017.
2. Tripathi, M., Sahu, J.N. and Ganesan, P. (2016). Effect of process parameters on production of biochar from biomass waste through pyrolysis: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 467-481.
3. İnternet: United Nations Population Division, Worls population to 2300. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.un.org%2Fesa%2Fpopulation%2Fpublications%2Flongrange%2F2004worldpop2300reportfinalc.pdf&date=2017-10-11>, Son Erişim Tarihi: 11.10.2017.
4. İnternet: Department of Sanitation NYC, Annual Report 2010. URL: http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww1.nyc.gov%2Fassets%2Fdsny%2Fdocs%2Fabout_2010_Annual_Report_0915.pdf&date=2017-10-11, Son Erişim Tarihi: 11.10.2017.
5. İnternet: Reducing, Reusing and Recycling London's Waste. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.london.gov.uk%2Fwhat-we-do%2Fenvironment%2Fwaste-and-recycling%2Fwaste-and-performance&date=2017-10-11>, Son Erişim Tarihi: 11.10.2017.
6. İnternet: City of Toronto: Solid Waste Management-Facts about Toronto's Trash. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.toronto.ca%2Fgarbage%2Ffacts.htm.&date=2017-10-11>, Son Erişim Tarihi: 11.10.2017.
7. İnternet: United States Department of Agriculture National Agricultural Statics Service. URL: http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.nass.usda.gov%2FCharts_and_Maps%2FCattle%2Fjul_inv.php&date=2017-10-11, Son Erişim Tarihi: 11.10.2017.
8. Karataş, A. (2006). *Tavuk Gübresinin Anaerobik Parçalanması için Uygun Koşulların Belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
9. Bayrakçeken, H. (1997). *Biyogaz Üretim Sistemi Tasarımı ve Uygulaması*, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
10. Bitton, G. (2005). *Waste water microbiology* (Third edition). New Jersey: John Wiley and Sons.
11. Cheng, J. (2010). *Anaerobic digestion for biogas production*. Abingdon: Taylor & Francis Group.
12. Drapcho, C.M. Nhuan, N.P. and Walker, T.H. (2008). *Biofuels engineering process technology*. New York: McGraw-Hill Companies Inc.

13. Gökçay, C., Demirer, G.N., Ergüder, T.N., Uzal, N.V. ve Tezel, U. (2002). *Anaerobik Arıtım Teorik Altyapı ve Uygulamaları Eğitim Semineri Notları*. Ankara: TMMOB Çevre Mühendisleri Odası, 3-86.
14. Deublein, D. and Steinhauser, A. (2008). *Biogas from waste and renewable resources an introduction*. Weinheim: Wiley-VCH, 1-450.
15. Yazar, E. (2012). *Peynir Altı Suyunun Anaerobik Arıtımında Tek ve Çift Aşamalı Reaktör Sistemlerinin Biyogaz Verimleri Açısından Karşılaştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
16. Kasarcı, A.O. (2012). *Yemekhane ve Hayvan Atıklarından Bioenerji Geri Kazanımı*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
17. Dicle, B. (2012). *Yemakhane ve Hayvansal Kaynaklı Farklı Organik Katı Atıkların Birlikte Termofilik ve Aşırı Termofilik Ortamda Havasız Arıtımın İncelenmesi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
18. Verma, S. (2002). *Anaerobic Digestion of Biodegradable Organics in Municipal Solid Wastes*, Master Thesis, Fu Foundation School of Engineering and Applied Science, Columbia University, Columbia.
19. Gül, A. (2014). *Sebze ve Meyve Atıklarının Biyogaz Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
20. Werner, U., Stöhr, U. and Hees, N. (1989). *Biogas plants in animal husbandry. A Publication of the Deutches Zentrum für Entwicklungstechnologien, GATE*, Eschborn: A Division of the Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH.
21. Abbasi, T. Tauseef, S.M. and Abbasi, S.A. (2012). *Biogas energy* (First edition). Amerika: Springer Yayınevi.
22. Çallı, B. (2012, Şubat). *Atıklardan Biyogaz Üretimi*. İstanbul: Türkiye Kimya Derneği-Genç Kimyacılar Platformu, 1-33.
23. Yadavika., Santosh., Sreekrishnan, T.R., Sangeeta, K. and Rana, V. (2004). Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques-a review. *Bioresource Technology*, 95(1), 1-10.
24. Demirci, G. ve Türkavcı, L. (2001). *Biyogaz atıklardan enerji*. Ankara: TÜBİTAK Basımevi, 9-11.
25. Öztürk, M. (2005). *Hayvan gübresinden biogaz üretimi*. Ankara: Çevre ve Orman Bakanlığı Yayınları.
26. Çanka Kılıç, F. (2011). Biyogaz, önemi, genel durumu ve Türkiye'deki yeri. *Mühendis ve Makina*, 52(617), 94-106.
27. Yılmaz, A.H. ve Atalay, F. (2004). *Çeşitli organik katı atıkların anaerobik fermentasyonu ve modelle çalışmaları*. V. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumunda sunuldu, İstanbul.

28. Bilir, M., Karaby, E., Deniz, Y. ve Katlı, N. (1982). *Biyogazın önemi, yararları, kullanımı, biyogaz tesislerin tasarımı ve Türkiye’de yaygınlaştırma olanakları*. Ankara: T.C. Köy İşleri ve Kooperatifler Bakanlığı Topraksu Genel Müdürlüğü Merkez Topraksu Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları.
29. Tafdrup, S. (1994). Centralized biogas plants combine agricultural and environmental benefits with energy production. *Water Science and Technology*, 30, 133-140.
30. Erdoğan, D., Sayın, U. ve Erdem, A.M. (2011). *Atık yönetimde biyometanizasyon teknolojisi*. 17. Uluslararası Enerji ve Çevre Fuarı ve Konferansı (ICCI), İstanbul.
31. İnternet: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, Biyogaz. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.eie.gov.tr%2Fyenilenebilir%2Fbiyogaz.aspx%2C+&date=2017-10-11>, Son Erişim Tarihi: 11.10.2017
32. Tolay, M., Yamankaradeniz, H., Yardımcı, S. ve Reiter, R. (2008), *Hayvansal Atıklardan Biyogaz Üretimi*. VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, (UTES 2008), İstanbul.
33. İnternet: T.C. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.tarim.gov.tr%2F&date=2017-10-11>, Son Erişim Tarihi: 11.10.2017.
34. İnternet: U.S. Environmental Protection Agency. AgStar Projects List. (2012). URL:<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.epa.gov%2Fagstar&date=2017-10-11>, Son Erişim Tarihi: 11.10.2017.
35. İnternet: U.S. Environmental Protection Agency. Operating Anaerobic Digester Projects: Anaerobic Digester Database, Dairy Projects. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.epa.gov%2Fagstar%2Flivestock-anaerobic-digester-database&date=2017-10-11>, Son Erişim Tarihi: 11.10.2017.
36. U.S. Department of Agriculture, National Agricultural Statistics Service. (2007). *2007 Census Agriculture- State Data Table 17. Milk Cow Herd Size by Inventory and Sales: 2007*. Washington: U.S. Department of Agriculture.
37. Kaya, O. (1999). *Yemek Atıklarından Biyogaz Enerjisi Üreten Sistemin Tasarım ve İmalatı*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
38. Bilir, M., Karabay, E., Deniz., Y. ve Katlı, N. (1982). *Biyogazın önemi, yararları, kullanımı, biyogaz tesislerin tasarımı ve Türkiye’de yaygınlaştırma olanakları*. Ankara: T.C. Köy İşleri ve Kooperatifler Bakanlığı Topraksu Genel Müdürlüğü Merkez Topraksu Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, 1-4.
39. İnternet: Pehlivan, E. (2013). *Biyogaz ve biyogaz uygulamaları*. Konya: Selçuk Üniversitesi. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Ftr.scribd.com%2Fdocument%2F29966278%2FB%25C4%25B0YOGAZ-VE-B%25C4%25B0YOGAZ-UYGULAMALARI&date=2017-12-25>, Son Erişim Tarihi: 11.10.2017.

40. Van Otterdijk, R. and Meybeck, A. (2011). *Global food losses and food waste*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
41. Gray, D.M.D, Suto, P and Peck, C. (2008). Anaerobic digestion of food waste, east bay municipal utility district, *Final Report*, Oakland, 1-63.
42. İnternet: Republic of Slovenia Methodology for Determining Reference Costs of Electricity Generated from Renewable Resources, Ministry of Economy. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fhttp%3A%2F%2Fwww.fee-d-in-cooperation.org%2FwDefault_7%2FwDefault_7%2Fdownload-files%2Fdocuments%2FNational-documents%2FSlovenia%2FMethodology-RES-inofficial.doc&date=2017-10-11, Son Erişim Tarihi: 11.10.2017.
43. İnternet: Biyokütle, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, Biyogaz. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.eie.gov.tr%2Fyenilenebilir%2Fbiyokutle.aspx&date=2017-10-11>, Son Erişim Tarihi: 11.10.2017.
44. Gürsoy, O., Gökçe, R. ve Kınık, Ö. (1999). Beslenmede yeni yaklaşımlar: soya sütü ve ürünleri. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 5(2-3), 1123-1130.
45. McLaughlin, H., Anderson, P.S., Shields, F.E. and Reed, T.B. (2009). *All biochars are not created equal and how to tell them apart*. Paper presented at the North American Biochar Conference, Boulder, Colorado.
46. Spokas, K.A. (2010). Review of the stability of biochar in soils: predictability of O:C molar ratio. *Carbon Management*, 1(2), 289-303.
47. Kwapinski, W., Byrne, C.M., Kryachko, E., Wolfram, P., Adley, C., Leahy, J. and Hayes, M. (2010). Biochar from biomass and waste. *Waste Biomass Valorization*, 1, 177-89.
48. Vassilev, S.V., Baxter, D., Anderson, L.K. and Vassileva, C.G. (2010). An overview of the chemical composition of biomass. *Fuel*, 89(5), 913-933.
49. Vassilev, S.V., Baxter, D., Anderson, L.K., Vassileva, C.G. and Morgan, T.J. (2012). An overview of the organic and inorganic phase composition of biomass. *Fuel*, 94, 1-33.
50. Tripathi, M., Sahu, J.N. and Ganesan, P. (2016). Effect of process on production of biochar from biomass waste through pyrolysis: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 467-481.
51. Goyal, H.B., Seal, D. and Saxena, R.C. (2008). Bio-fuels from thermochemical conversion of renewable resources: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12, 505-517.
52. Bridgewater, A.V., Grassi, G., Gosse, G. and G. Dos Santos. (Editörler). (1990) *Biomass pyrolysis technology, biomass for energy and industry*, Paper presented at the 5th E.C. Conference, London and New York.

53. Ateş, F. (2001). *Euphorbia Rigida'nın Sabit Yatak Reaktörde Katlitik Pirolizi*, Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
54. Pullen, T. (2015). *Anaerobic digestion-Making biogas-Making energy: The earthscan expert guide* (First Edition). Florida: Taylor&Francis Group.
55. Curry N. and Pillay, P. (2012). Biogas prediction and design of a food waste to energy system for the urban environment. *Renewable Energy*, 41, 200-209.
56. Oh, S. and Logan, B. E. (2005). Hydrogen and electricity fermentation and microbial fuel cell technologies. *Water Research*, 39(19), 4673-4682.
57. Satyanarayan, S., Venerkar, A. P. and Ramakant. (2004). Organic removals from highly proteinous wastewater from soya milk and tofu manufacturing plant. *Journal of Environmental Science and Health. Part A, Toxic/hazardous Substances & Environmental Engineering*, 39(3), 759-771.
58. Gautam, R., Baral, S. and Heart, S. (2009). Biogas as a sustainable energy source in nepal: Present status and future challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 248-252.
59. Ferrer, I., Garfi, M., Ugetti, E., Ferrer-Marti, L., Calderon, A. and Velo, E. (2011). Biogas production in low-cost household digesters at the peruvian andes. *Biomass and Bioenergy*, 35(5), 1668-1674.
60. Sandars, D.L., Audsley, E., Canete, C., Cumby, T.R., Scotford, I.M. and Williams, A.G. (2003). Environmental benefits of livestock manure management practice and technology by life cycles assessment. *Biosystems Engineering*, 84(3), 267-281.
61. Fabien, M. (2003). An introduction to anearobic digestion of organic waste, *Final Report*, Remade, 1-48.
62. Li, R., Chen, S. and Li, X. (2009). Anaerobic co-digestion of kitchen waste and cattle manure for methane production. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*, 31(20), 1848-1856.
63. Aragundy, J. and Kottner, M. (2208). *IBBK, Fachgruppe biogas weckelweiler, Biogas reference manual; 2008*. Germany: Weckelweird.
64. Raven RPJM. and Gregersen, KH. (2007). Biogas plants in denmark: Successes and setbacks. *Renewable and sustainable energy reviews*, 11(1), 116-32.
65. Hopfner-Sixt, Katharina. and Amon, T. (2007). Monitoring of agricultural biogas plants in Austria- mixing technology and specific values of essential process parameters. Vienna: University of natural resources and applied life sciences, Department of Sustainable Agricultural Systems, Division of Agricultural Engineering, *Final Report*, Avusturya, 1-8.
66. Gustavsson J., Cederberg, C., Sonesson, U. and Emanuelsson, A. (2011). *Global food loss and food waste: Extent, causes and prevention*. Rome: Food and Agriculture Organization of United Nations.

67. Neves, L., Oliveira, R. and Alves, M.M. (2009). Co-digestion of cow manure, food waste and intermittent input of fat. *Bioresource Technology*, 100(6), 1957-1962.
68. Dearman, B. and Bentham, R.H. (2007). Anaerobic digestion of food waste: Comparing lechate exchange rates in sequential batch systems digesting food waste and biosolids. *Waste Management*, 27, 1792-1799.
69. El-Mashad, M.H. and Zhang, R. (2010). Biogas production from co-digestion of dairy manure and food waste. *Bioresource Technology*, 101, 4021-4028.
70. Curry, N. and Pillay, P. (2012). Biogas prediction and design of a food waste to energy system for the urban environment. *Renewable Energy*, 200-209.
71. Ebner, J., Sin Win, S., Hedge, S., Vadney, S., Williamson, A. and Trabold, T. (2014). *Estimating the biogas potential from colleges and universities*. Paper presented at the Proceedings of the ASME 2014 8th International Conference on Energy Sustainability ES 2014, Boston, Massachusetts, USA.
72. Koby, M. (1992). *Sığır gübresinden biyogaz üretimi ve Erzurum koşulları için bir biyogaz tesis tasarımı*, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
73. Tolay, M., Yamankaradeniz, H., Yardımcı, S. ve Reiter, R. (17-19 Aralık 2008). *Hayvansal atıklardan biyogaz üretimi*. VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumunda sunuldu (UTES) 2008, İstanbul.
74. Wu, T.Y., Hay, J.X.W., Kong, L.B., Juan, J.C. and Jahim, J.M. (2012). Recent advances in reuse of waste material as substrate to produce biohydrogen by purple non-sulfur (PNS) bacteria. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(5), 3117-3122.
75. Levina, E. (2016). Biogas from tofu waste for combating fuel crisis and environmental damage in Indonesia. *APEC Youth Scientist Journal*, 8(1), 16-21.
76. Rahmat, B., Hartoyo, T. and Sunarya, Y. (2014). Biogas production from tofu liquid waste on treated agricultural wastes. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 9(2), 226-231.
77. Faisal, M. (2017). Utilization of tofu liquid waste generated from anaerobic processing in compost preparation. *International Journal of GEOMATE*, 13(35), 34-39.
78. Fearnside, P.M. (2000). Global warming and tropical land-use change: Greenhouse gas emissions from biomass burning, decomposition and soils in forest conversion, shifting cultivation and secondary vegetation. *Climatic Change*, 46(1-2), 115-158.
79. Trimble, W.H. (1851). On charring wood. *Plough, the Loom and the Anvil*, 3, 513-516.
80. Retan, G.A. (1915). Charcoal as a means of solving some nursery problems. *Forestry Quarterly*, 13, 25-30.
81. Tryon, E.H. (1948). Effect of charcoal on certain physical, chemical and biological properties of forest soils. *Ecological Monographs*, 18, 81-115.

82. Kishimoto, S. and Sugiura, G. (1980). *Introduction to charcoal making on Sunday*. Tokyo: Sougou Kagaku Shuppan.
83. Kishimoto, S. and Sugiura, G. (1985). Charcoal as a soil conditioner. *In symposium on Forest Products Research, International Achievements for the Future*, 5, 12-23.
84. Inthapanya, S., Preston, T.R. and Leng, R.A.(2012). Biochar increases biogas production in a batch digester charged with cattle manure. *Livestock Research for Rural Development*, 24, 12.
85. İnternet: Argonne National Laboratory. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.anl.gov%2F&date=2017-10-11>, Son Erişim Tarihi: 11.10.2017.
86. İnternet: Synergy Biogas. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fch4biogas.com%2Fprojects%2Fsynergy-biogas&date=2017-10-11>, Son Erişim Tarihi: 11.10.2017.
87. İnternet: Soy Boy. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.soyboy.com&date=2017-10-11>, Son Erişim Tarihi: 21.07.2017.
88. İnternet: Dairy One. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fdairyone.com%2Fanalytical-services%2Ffeed-and-forage%2Fabout-forage%2F&date=2017-10-11>, Son Erişim Tarihi: 11.10.2017.
89. İnternet: Finger Lakes Biochar. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Ffingerlakesbiochar.com&date=2017-10-11>, Son Erişim Tarihi: 11.10.2017.
90. Yılmazel, Y.D. (2009). *Removal and Recovery of Nutrients as Struvite from Anaerobic Digestion/Co-digestion Residue of Poultry Manure*. Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, Ankara.
91. Fang, C. (2010). *Biogas Production from Food-processing Industrial Wastes by Anaerobic Digestion*. PhD Thesis, Denmark Technical University Department of Environmental Engineering, Lyngby.

EKLER

EK-1. Golisano Institute of Sustainability



EK-2. Synergy Biyogaz Firması



EK-3. Soyboy Firması



EK-4. Mektup

R·I·T

Rochester Institute of Technology

Golisano Institute for Sustainability
190 Lomb Memorial Drive
Rochester, New York 14623-5608
585-475-4696

October 16, 2016

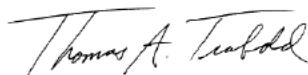
To whom it may concern:

I am currently an Associate Professor and Department Head in the Golisano Institute for Sustainability at Rochester Institute of Technology (RIT), and pleased to provide this letter of recommendation for Gul Eroglu Bulut at her request.

Gul served as a visiting scholar in my Energy Development Laboratory from July to October 2016. During her time working with my Ph.D. students, she learned the operation of various laboratory instruments and methods for measuring parameters relevant to our work in biomass waste-to-energy conversion, including pH, chemical oxygen demand, total and volatile solids, bio-methane potential and biomethane composition (using gas chromatography). She applied this knowledge to assess the biodegradability and energy conversion potential of waste water from local tofu and dairy processing plants, and also explored the effect of adding biochar to the anaerobic digestion process. During her time at RIT, Gul was able to expand her fundamental technical knowledge of waste-to-energy processes, acquire hands-on laboratory skills, and also improve her capabilities in spoken and written English.

I would recommend Gul Eroglu Bulut for her skills as an environmental engineer. She is also hard-working and personable, and had a good relationship with her student co-workers.

Sincerely,



Dr. Thomas A. Trabold
Associate Professor and Department Head
Golisano Institute for Sustainability

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : EROĞLU BULUT, Gül
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 22.02.1984, Malatya
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (543) 315 44 22
 e-mail : gulbulut444@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /Çevre Bilimi	Devam Ediyor
Lisans	Mersin Üniversitesi /Çevre Mühendisliği	2007
Lise	Malatya Turgut Özal Anadolu Lisesi	2003

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2016	Golisano Institute of Sustainability RIT, Rochester, NY, ABD	Ziyaretçi akademisyen
2009-2013	İlpet Ilıcaklar Petrol Otomotiv Tic. ve San. A.Ş., Malatya	LPG Otogaz İstasyonu Sorumlu Müdürü
2009-2013	Öz Fırat Petrol Ürn. Depolama ve ve Dağıtım A.Ş., Malatya	LPG Otogaz İstasyonu Sorumlu Müdürü
2009-2013	Horata Akaryakıt Oto. Gıd.Tur.Tic. ve San. Ltd. Şti., Malatya	LPG Otogaz İstasyonu Sorumlu Müdürü
2006	Maski Atıksu Arıtma Tesisi, Malatya	Stajyer, Çevre Mühendisi
2005	Gaziantep Büyükşehir Belediyesi, Gaziantep	Stajyer, Çevre Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

- Eroğlu Bulut, G. ve Akın Salman, B. (2017). *Sığır Gübresi, Yemek Atıkları, Tofu Atık Suyu Karışımından Biyogaz Üretimi ve Biyokömürün Biyogaz Üretimine Etkisi*. 12. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, Ankara.
- Eroglu Bulut, G., Akın Salman, B. and Bulut, M. (2017). *Biogas Production from the Different Organic Wastes*. International Conference on Civil and Environmental Engineering (ICOCEE Cappadocia2017), Nevşehir.
- Bulut, M., Eroğlu Bulut, G. ve Sözbir, N. (2016). *Estimating of the Effect of Cool Roofs on Energy Savings in Various Climate*. XII. Uluslararası Yapıda Tesisat Teknolojisi Sempozyumu, İstanbul.
- Eroğlu Bulut, G., Bulut, M. ve Sözbir, N. (2015). *Cool Roof Impact on Energy Savings and Global Warming*. 2. Uluslararası Sürdürülebilir Binalar Sempozyumu (ISBS 2015), Ankara.
- Bulut, M., Eroglu Bulut, G. ve Sozbir, N. (2013). *Energy Savings with Cool Roof System and Reducing Global Warming*. 19. National Thermal Science and Technology Congress, Samsun.

Sertifikalar

1. Bilgisayar İşletmenliği Sertifikası
2. AutoCAD Sertifikası
3. OHSAS 18001 İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi İç Denetçisi Sertifikası
4. LPG Dolum Tesisi ve Otogaz İstasyonlarında Sorumlu Müdürlük Sertifikası
5. B Sınıfı Sürücü Belgesi
6. Rush-Henrietta Central School District Diploma
7. Rush-Henrietta Central School District katılım belgesi
8. Gas Lab Safety Training at RIT, Rochester, NY, ABD, 20 Temmuz 2016.
9. Gas Cylinder Training at RIT, Rochester, NY, ABD, 27 Temmuz 2016.
10. International Conference on Civil and Environmental Engineering (ICOCEE Cappadocia2017), Nevşehir, 08-10 Mayıs 2017 (Katılımcı sertifikası).
11. 12.Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, ODTÜ, Ankara, 05-07 Ekim 2017 (Katılımcı sertifikası).

Katıldığı konferanslar ve aktiviteler

1. Çevre Mühendisleri Odası 2. Öğrenci Kurultayı.
2. II. Uluslararası Sürdürülebilir Yapılar Sempozyumu (ISBS 2015), Ankara, 28-30 Mayıs 2015.

3. IMAGINERIT-INNOVATION+CREAVITY FESTIVAL, Rochester, NY, ABD 6 Mayıs 2016.
4. J.P.Morgan Corporate Challenge at RIT, Rochester, NY, ABD 24 Mayıs 2016.
5. Tiger Tales Toastmasters International at RIT, Rochester, NY, ABD (katılımcı).
6. International Conference on Civil and Environmental Engineering (ICOCEE Cappadocia2017), Nevşehir, 08-10 Mayıs 2017 (Oturum Başkanı).
7. 12.Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, ODTÜ, Ankara, 05-07 Ekim 2017.

Hobiler

Seyahat, Basketbol, Yüzme, Dans.



GAZİ GELECEKTİR...