

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**KARIŞTIRICI HIZININ BİYOGAZ ÜRETİMİ ÜZERİNE  
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**HABİL UĞUR YAKUT**

**KOCAELİ 2012**

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

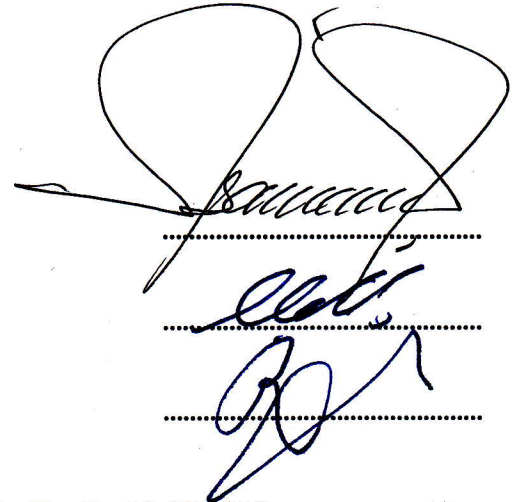
**KARIŞTIRICI HIZININ BİYOGAZ ÜRETİMİ ÜZERİNE**  
**ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**Habil Uğur YAKUT**

**Prof.Dr.H.İbrahim SARAÇ**  
**Danışman, Kocaeli Üniv.**

**Yrd.Doç.Dr.Cenk ÇELİK**  
**Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.**

**Prof.Dr.Hasan Rıza GÜVEN**  
**Jüri Üyesi, İstanbul Üniv.**



**Tezin Savunulduğu Tarih: 12.07.2012**

## **ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR**

Doğal kaynakların günden güne tükeniyor olması ve enerji ihtiyacının sürekli artması yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan biyogazın üretimine olan ilgiyi arttırmaktadır. Türkiye’de 1957 yılında Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü’nde başlayan biyogaz üretim çalışmaları; günümüzde, özellikle gerekli doğalgazın büyük bir kısmını ithal eden ülkemizde, araştırılması ve uygulanması gereken bir konu haline gelmiştir. Atıkların değerlendirilmesi açısından biyogaz üretim teknolojilerinin gelişmesi ülkemizin ve dünyanın geleceği için büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada biyogaz üretimine etki eden faktörlerden biri olan karıştırma ele alınmıştır. Diğer değişkenler sabit tutulmak kaydıyla karıştırıcı hızının biyogaz üretimi üzerine etkisini belirlemek adına deneyler yapılmıştır.

Bu deneysel çalışmalar sırasında bilgisini ve desteğini benden esirgemeyen; değerli hocam Prof. Dr. Halil İbrahim SARAÇ’a, “Bitkisel ve Hayvansal Atıklardan Biyogaz Üretimi ve Entegre Enerji Üretim Sistemlerinde Kullanımı” projesinin araştırmacıları E. Alptekin YAĞMUR’a, Volkan ÇOBAN’a, Selman ÇAĞMAN’a ve proje teknisyeni Bilgin SARAÇ’a, deneysel çalışmalar aşamasında laboratuvarlarından faydalanma imkanı sağlayan TÜBİTAK MAM Enerji Enstitüsü yönetimine teşekkürü bir borç bilirim.

Haziran – 2012

Habil Uğur YAKUT

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	iv
TABLolar DİZİNİ .....	v
SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR .....	vi
ÖZET .....	vii
ABSTRACT .....	viii
GİRİŞ .....	1
1. GENEL BİLGİLER .....	3
1.1. Anaerobik Fermantasyon .....	3
1.2. Biyogazın Tanımı ve Özellikleri .....	4
1.3. Biyogazın Kullanım Alanları .....	5
1.4. Biyogaz Üretimi İçin Kullanılabilecek Hammaddeler .....	7
1.5. Biyogaz Oluşum Aşamaları .....	8
1.5.1. Hidroliz .....	8
1.5.2. Asit oluşumu .....	9
1.5.3. Metan oluşumu .....	9
1.6. Biyogaz Üretimini Etkileyen Faktörler .....	10
1.6.1. C/N oranı .....	10
1.6.2. pH ve alkalinite .....	11
1.6.3. Toksikite .....	12
1.6.4. H <sub>2</sub> S kontrolü .....	13
1.6.5. Sıcaklık .....	14
1.6.6. Hidrolik bekleme süresi .....	14
1.6.7. Organik yükleme hızı .....	15
1.6.8. Basınç .....	15
1.6.9. Aşılama ve köpük etkisi .....	16
1.6.10. Karıştırma .....	16
1.6.10.1. Pasif karıştırma sistemleri .....	17
1.6.10.2. Aktif karıştırma sistemleri .....	17
1.7. Biyogaz Üretiminde Kullanılan Sistemler .....	19
1.7.1. Kesikli (Batch) fermantasyon .....	19
1.7.2. Beslemeli – Kesikli fermantasyon .....	19
1.7.3. Sürekli fermantasyon .....	19
2. LİTERATÜR TARAMASI .....	20
3. MALZEME VE YÖNTEM .....	23
3.1. Deney Düzenegi .....	23
3.2. Ölçüm ve Analizler .....	24
3.2.1. Kullanılan ölçüm cihazları .....	25
3.2.2. Sıcaklık ölçümü .....	26
3.2.3. Günlük biyogaz üretiminin ölçümü .....	26
3.2.4. pH ölçümü .....	26
3.2.5. Kuru madde tayini .....	26

3.2.6. Uçucu organik madde tayini .....	26
3.2.7. Uçucu yağ asitlerinin tayini .....	27
3.2.8. Toplam azot analizleri .....	27
3.2.9. Potasyum analizleri .....	27
3.2.10. Sülfid analizleri .....	28
3.2.11. Bakır analizleri .....	28
3.2.12. Nikel analizleri .....	28
3.2.13. Kükürt elementel analizi .....	28
3.2.14. Karbon, azot, fosfor ve oksijen elementel analizleri .....	28
3.2.15. FOS/TAC analizleri .....	29
4. DENEYSEL ÇALIŞMA .....	30
4.1. Teorik Biyogaz Üretiminin Hesaplanması .....	31
4.2. Biyogaz Üretim Deneyleri .....	31
4.2.1. pH kontrolü .....	32
4.2.2. Toksikite kontrolü .....	33
4.2.3. Kuru madde ve uçucu organik kontrolü .....	33
4.2.4. Uçucu yağ asitlerinin kontrolü .....	35
4.2.5. Biyogaz üretiminin ve kompozisyonunun kontrolü .....	36
4.2.6. Fermantasyon sürecinin kontrolü .....	38
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	39
KAYNAKLAR .....	42
ÖZGEÇMİŞ .....	45

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Organik maddeden biyogaz üretim akışı .....	4
Şekil 1.2. Biyogazın içten yanmalı motorlarda kullanımı .....	6
Şekil 1.3. Bazı organik maddelerin biyogaz potansiyelleri.....	7
Şekil 1.4. Biyogaz üretim aşamaları .....	8
Şekil 1.5. Biyogaz üretimini etkileyen parametreler .....	10
Şekil 1.6. Bazı mekanik karıştırma sistemlerinden örnekler .....	17
Şekil 1.7. Biyogaz sirkülasyonlu karıştırma sistemi .....	18
Şekil 1.8. Çamur sirkülasyonlu karıştırma sistemi .....	18
Şekil 3.1. Biyogaz deney düzeneği .....	23
Şekil 4.1. ENDA Hamsi tipi AC sürücüyeye ait çalışma eğrisi.....	30
Şekil 4.2. Deneysel çalışma süresi boyunca pH değişim grafiği .....	33
Şekil 4.3. % Kuru madde miktarındaki değişim grafiği.....	34
Şekil 4.4. % Uçucu organik miktarındaki değişim grafiği.....	34
Şekil 4.5. Uçucu yağ asidi miktarındaki değişim grafiği .....	35
Şekil 4.6. Günlük üretilen biyogaz miktarları .....	36
Şekil 4.7. Kümülatif biyogaz üretim miktarları .....	36
Şekil 4.8. Üretilen biyogazdaki % metan oranları .....	37
Şekil 4.9. Üretilen biyogazdaki % karbondioksit oranları .....	37
Şekil 5.1. Katı bekleme süresine göre uçucu katı madde giderimi .....	40
Şekil 5.2. Reaktörlere ait katı bekleme süresine göre uçucu katı madde giderimi ....	40

## **TABLolar DİZİNİ**

Tablo 1.1. 1 m <sup>3</sup> biyogazın ısı eş değeri.....	5
Tablo 1.2. Bazı organik atıklara ait C/N oranları.....	11
Tablo 1.3. Anaerobik fermantasyonda bazı engelleyicilerin engelleme seviyeleri ...	13
Tablo 1.4. Biyokimyasal reaksiyonlar için belirli sıcaklık aralıkları .....	14
Tablo 4.1. %12,5 kuru maddelik büyük baş hayvan atığı+aşı+su besleme menüsü..	31
Tablo 4.2. Reaktörlere ait pH değışimleri.....	32
Tablo 4.3. Reaktörlerdeki engelleyici miktarları .....	33
Tablo 4.4. Kuru madde ve uçucu organik analiz sonuçları.....	34
Tablo 4.5. Uçucu yağ asidi analizlerinin sonuçları .....	35
Tablo 4.6. Reaktörlere ait FOS, TAC ve FOS/TAC değeri.....	38

## SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR

$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_n\text{COOH}$	: Yağ asitlerinin genel denklemi
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$	: Propiyonik asit
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$	: Bütirik asit
$\text{CH}_3\text{COOH}$	: Asetik asit
$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	: Etanol
$(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$	: Karbonhidratların genel denklemi
$\text{C}_{50}\text{H}_{90}\text{O}_6$	: Protein
$\text{CH}_4$	: Metan
$\text{CO}$	: Karbonmonoksit
$\text{CO}_2$	: Karbondioksit
d/d	: Devir/dakika
$\text{H}_2$	: Hidrojen
$\text{H}_2\text{S}$	: Hidrojen sülfür
Hz	: Hertz
KCl	: Potasyum klorür
kg	: kilogram
kPa	: kilo pascal
kWh	: kilo watt saat
lt	: litre
ml	: mililitre
$\text{N}_2$	: Azot
$\text{O}_2$	: Oksijen
ppm	: milyonda bir partikül
$\text{SO}_2$	: Kükürtdioksit
$^\circ\text{C}$	: Santigrat derece

### Kısaltmalar

ASTM	: American Society for Testing Materials (Amerikan Malzeme Test Derneği)
HBS	: Hidrolik bekleme süresi
KM	: Kuru madde
MAM	: Marmara Araştırma Merkezi
OYH	: Organik yükleme hızı
OM	: Organik madde
UO	: Uçucu organik
UOM	: Uçucu organik madde
UYA	: Uçucu yağ asitleri
$R_1$	: 1. Reaktör
$R_2$	: 2. Reaktör
$R_3$	: 3. Reaktör



## KARIŞTIRICI HIZININ BİYOĞAZ ÜRETİMİ ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

### ÖZET

Bu çalışmada karıştııcı hızının biyogaz üretimi üzerine etkisi incelenmiştir. Deneylerde üç adet 12 lt kapasiteli laboratuvar ölçekli biyogaz reaktörü kullanılmıştır.

Deneyler için, %12,5 kuru maddelik büyük baş hayvan atığı + aşı + su karışımı hazırlanmıştır. Hidrolik bekleme süresi 57 gün olarak belirlenmiştir. Reaktörler için sıcaklık kontrollü olarak  $37 \pm 1$  °C'de tutulmuştur. Karıştııcı hızları R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> ve R<sub>3</sub> için sırasıyla 14,9 d/d, 47,5 d/d ve 95,1 d/d olarak ayarlanmıştır. Deneyler sonucunda R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> ve R<sub>3</sub> için toplam biyogaz üretimleri sırasıyla 355,25 lt, 332,1 lt ve 312,1 lt olarak ölçülmüştür. Reaktörlerdeki biyogaz dönüşüm verimlilikleri sırasıyla %41,2, %38,4 ve %36,1 olarak hesaplanmıştır. 57 günlük HBS için beklenen dönüşümün yeterli olmadığı ve bunun sebebinin sürekli karıştıırma olduğu belirlenmiştir.

Sonuçlara göre karıştııcı hızının biyogaz üretimine etki ettiği görülmüştür. Dolayısıyla, optimum karıştııcı hızının belirlenmesi reaktör verimliliğini artırmada önemli bir etkidir.

**Anahtar Kelimeler:** Anaerobik Fermantasyon, Biyogaz, Biyogaz Reaktörü, Büyük Baş Hayvan Atığı, Karıştııcı, Karıştııcı Hızı.

## **INVESTIGATION OF THE EFFECT OF MIXER SPEED ON BIOGAS PRODUCTION**

### **ABSTRACT**

In this study, the effect of mixer speed on biogas production has been investigated. Three lab-scale reactors which have 12 lt capacity were used.

For the experiments, a mixture of % 12,5 dry matter was prepared by cow manure, inoculum and water. Hydraulic retention time was defined as 57 days. The reactors were operated at a controlled temperature of  $37 \pm 1$  °C. The mixer speeds of the reactors ( $R_1, R_2, R_3$ ) were setted as 14,9 rpm, 47,5 rpm and 95,1rpm, respectively. In results, total biogas productions of the reactors ( $R_1, R_2, R_3$ ) were measured as 355,25 lt, 332,1 lt and 312,1 lt respectively. The biogas coversion efficiencies of the reactors were calculated as %38,9, %38,4 and %36,1 respectively. It was determined that the expected conversion was not enough for 57-day hydraulic retention time because of continuous mixing.

According to the results, it was seen that the mixer speed effected on the biogas production. Therefore, the determination of optimal mixer speed of the reactor is very important for increasing the reactor efficiency.

**Keywords:** Anaerobic Digestion, Biogas, Biogas Reactor, Cow Manure, Mixer, Mixer Speed.

## **GİRİŞ**

Enerjinin kullanımı, insanın varoluşuyla süregelen kaçınılmaz bir olgudur. İlk çağlardan beri insanlar, işlerini kolaylaştırmak adına ateş ve hayvanlardan faydalanmışlardır. Kömür, Çinliler tarafından bulunduğundan sonra ısıtma amaçlı olarak ve buhar makinelerinde enerji kaynağı olarak kullanılmıştır. Daha sonra Amerika’da petrolün bulunmasıyla, fosil kökenli petrol türevleri kullanılmaya başlanmış ve günümüze kadar gelmiştir [1]. Enerji ihtiyacı, dünyadaki teknolojik gelişmelere ve nüfus artışına paralel olarak hızla artmaktayken, enerji üretim maliyetlerinin artması ve doğal enerji kaynaklarının hızla tükeniyor olması, yenilenebilir enerji kaynakları üzerine ilgiyi artırmıştır.

Petrol, kömür, doğalgaz gibi fosil kökenli enerji kaynaklarının tükeniyor veya çevreyi kirletiyor olması, yenilenebilir enerji kaynaklarının (rüzgar, güneş, hidrolik, jeotermal, biyokütle, vb.) araştırılmasını ve kullanılmasını zorunlu hale getirmiştir.

Biyokütle, yenilenebilir enerji kaynakları arasında dünyada en yaygın olarak kullanılan enerji kaynağıdır. Kömür, petrol, doğal gaz gibi fosil kökenli enerji kaynaklarıyla aynı kaynaktan gelmekle birlikte, aralarındaki en önemli fark, biyokütlenin yaşayan veya kısa zaman önce yaşamış olan biyolojik organizmalardan sağlanıyor olmasıdır. Hayvansal ve bitkisel atıklar, organik endüstriyel atıklar, orman atıklarının yanı sıra; mısır, ay çiçeği, soya fasulyesi, kanola gibi çeşitli enerji bitkileri de biyokütle kaynağı olarak kullanılmaktadır. Biyokütleden enerji üretmek için kullanılan birçok yöntem mevcuttur. Doğrudan yakma en çok kullanılan ısıl dönüşüm teknolojilerindedir. Genelde ısıl ihtiyaçların giderilmesinde ve sıcak su temininde kullanılmaktadır. Bir başka biyokütle ısıl dönüşüm teknolojisi de gazlaştırmadır. Gazlaştırma, biyokütlenin sabit veya akışkan yataklı gazlaştırıcılar adı verilen reaktörlerde gaz fazına dönüştürüldüğü sistemlerdir [2].

Bitkisel ve hayvansal yağların transesterifikasyon reaksiyonu sonucu oluşan yakıtı biyodizel adı verilir. “Biyo” kelimesi yakıtın yenilenebilir ve biyolojik olduğunu, “dizel” kelimesi ise dizel motorlarda kullanımının uygun olduğunu ifade etmektedir.

Reaksiyon sonunda biyodizel olarak nitelendirilen esterlerin yanı sıra gliserin de oluşmaktadır. Gliserin kozmetik, gıda ve ilaç sektörlerinde kullanılan değerli bir kimyasaldır [2].

İçeriğinde şeker veya nişasta ve selülöz gibi şekere dönüştürülebilen yapılar bulunan biyokütlenin fermantasyonu sonucu alkol oluşturulması yöntemine biyoetanol denir. Benzinin oktan sayısını artırmak ve egzoz salınımlarını düşürmek amacıyla kullanılır [2].

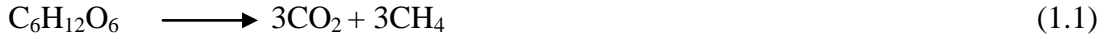
Biyogaz, biyokütlenin havasız ortamda çeşitli bakteri gruplarının ortak faaliyetleri sonucunda çürütülmesi sırasında ortaya çıkan, ağırlıklı olarak metan ve karbondioksit içeren yanıcı bir gaz karışımıdır. Oksijensiz çürüme sonrasında biyogaz ile birlikte yan ürün olarak organik gübrede elde edilir. Böylece başlangıçta çevre için kirletici bir unsur olan biyokütle, biyogaz gibi değerli bir gaz ve çevre dostu organik gübreye dönüşmüş olur [2].

Ayrıca Türkiye'nin büyük tarım ve hayvancılık potansiyeline sahip bir ülke olması biyogazın geleceğini cazip kılmaktadır. Biyogaz üretiminde organik atıkların değerlendirilmesi enerji maliyetlerinin düşürülmesi açısından önemli olduğu kadar atıkların geri dönüşümü adına da büyük önem taşımaktadır. Hammadde olarak bitkisel ve hayvansal atıkların yanı sıra evsel ve endüstriyel atık su arıtma çamurunun kullanılması da mümkündür. Bu sayede evsel ve endüstriyel atık suların gelişi güzel doğaya salınması önlenip yararlı bir şekilde bertarafı sağlanarak, doğadaki akarsu, göl ve yer altı sularının kirlenmesi problemi giderilmiş olur [3].

## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Anaerobik Fermantasyon

Aerobik sistemler 1970'lere kadar en çok kullanılan sistemlerken, enerji maliyetleri ve sistemlerin yatırım ve işletme maliyetlerinin artması sonucu anaerobik sistemler geliştirilmiştir. Anaerobik fermantasyon, organik atıkların oksijensiz ortamda biyolojik bir süreçte parçalanarak, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, CO ve H<sub>2</sub>S gibi son ürünlere dönüştürülmesi işlemidir. Aşağıda anaerobik fermantasyon için glikoz bazlı substrat parçalanma modeli verilmiştir [4].



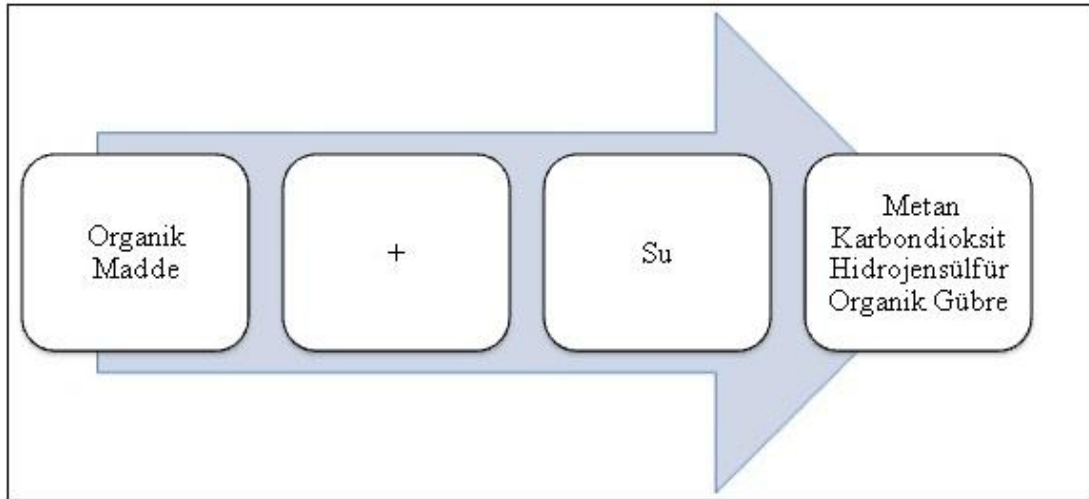
Anaerobik fermantasyonun aerobik fermantasyona göre bazı üstünlükleri vardır. Anaerobik sistemlerde oluşan biyolojik çamur miktarı, aerobik sistemlere göre çok daha azdır. Genelde aerobik fermantasyona giren 100 gram organik karbondan yaklaşık 50 gram biyolojik çamur oluştuğu halde, anaerobik fermantasyonda buna karşılık gelen biyolojik çamur miktarı 1-5 gram civarındadır. Dolayısıyla anaerobik fermantasyonda kullanılan organik karbonun %90-98'i biyogaza dönüştürülmektedir. Anaerobik sistemler, aerobik sistemlere nazaran daha az yer kaplarlar. Aerobik sistemlerdeki havalandırma enerjisine karşılık anaerobik sistemlerde böyle bir ihtiyaç yoktur [4]. Anaerobik ortam bakterileri +15 °C sıcaklıklarda kendini askıya alarak uzun süre faaliyetsiz kalabilmektedir ve uygun ortam sıcaklıklarında tekrar aktif olup faaliyetlerine devam edebilmektedirler. Anaerobik sistemlerin besin ihtiyacı aerobik sistemlere göre daha düşüktür. Aerobik fermantasyonda atık içerisindeki enerji potansiyelinin yarısından fazlası biyokütlede kalırken, anaerobik fermantasyonda %90'lık kısım biyogazda saklanmaktadır [3].

Anaerobik fermantasyonun bu üstünlüklerinin yanında bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Anaerobik sistemlerin devreye alma süresi daha uzundur. Fermantasyon sonucu oluşan biyogaz içerisindeki hidrojen sülfür (H<sub>2</sub>S) koku problemine neden olmaktadır. Aerobik sistemlere nazaran fermantasyon hızı çok

yavaş seyretmektedir. Bu durum ihtiyaç duyulan reaktör boyutlarını büyütmede ve ilk yatırım maliyetini arttırmaktadır. Bazı tür endüstriyel atıklarda reaktör içinde ve boru aksamında önemli derecede çökelti ve taşlaşma sorunlarıyla karşılaşmaktadır. En önemli dezavantajlarından birisi ise anaerobik fermantasyonun genelde 38 °C'de yürütülmesinden dolayı dışarıdan ısıya ihtiyaç duyulmasıdır. Anaerobik fermantasyon ile ilgili bu kısıtlamalar da göz önüne alınarak bazı durumlarda aerobik fermantasyonun kullanımı daha uygun olabilmektedir [3,4,5].

## 1.2. Biyogazın Tanımı ve Özellikleri

Organik maddelerin anaerobik şartlarda bozunması sonucu oluşan, içeriğinde %60-70 metan (CH<sub>4</sub>), %30-40 karbondioksit (CO<sub>2</sub>) ve bunların yanında eser miktarda da olsa hidrojen sülfür (H<sub>2</sub>S), karbon monoksit (CO), oksijen (O<sub>2</sub>), azot (N<sub>2</sub>), hidrojen (H<sub>2</sub>) bulunan gaz karışımına biyogaz adı verilir.



Şekil 1.1. Organik maddeden biyogaz üretim akışı

Karışımındaki gazların miktarı, ortam sıcaklığı ve pH değerine, organik maddenin tür ve su içeriğine göre değişmektedir. Biyogazın ısı değeri, karışım içindeki metanın derişimine bağlı olarak belirlenmektedir. Bundan dolayı ısı değeri 5,3-7,7 kWh/m<sup>3</sup> aralığında değişmektedir [6].

Tablo 1.1. 1 m<sup>3</sup> biyogazın ısıl eş değerleri [7,8]

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

Biyogaz içeriğindeki yanıcı özellikte olan metan (CH<sub>4</sub>), normal şartlarda gaz halindedir ve kokusuzdur. Karbondioksit (CO<sub>2</sub>), zararsız bir gazdır. Solunumla da ortaya çıkan karbondioksit, doğada bitkilerin fotosenteziyle dengelenmektedir. Çevre açısından önemli olan bu dengenin bozulmamasıdır. Bir diğer önem arzeden gazda hidrojen sülfürdür. Havasız ortamlarda 50 ppm'lik bir H<sub>2</sub>S dahi öldürücü etki yapmaktadır. Bu nedenle dikkat edilmesi gerekmektedir. Ayrıca entegre biyogaz tesislerinde 5000 ppm'e kadar çıkan H<sub>2</sub>S, ortamın nemiyle birleşerek kuvvetli bir asit olan sülfürik aside dönüşerek borulama hatlarında korozif etkilere sebep olmaktadır.

### 1.3. Biyogazın Kullanım Alanları

Biyogaz enerjisinin günlük hayatta kullanım alanları geniş bir yelpazede ele alınabilir. İçeriğindeki yanıcı özellikteki metan (CH<sub>4</sub>) sayesinde, ısıl ihtiyaçların giderilmesinin yanı sıra elektrik enerjisine dönüştürülerek veya içten yanmalı motorlarda yakıt olarak kullanılabilir.

Üretilen biyogazın bir brülör vasıtasıyla biyogaz sobalarında, kombilerde, buhar kazanlarında veya sıcak su kazanlarında uygun şartlarda yakılmasıyla elde edilen ısı, konutlarda, hayvan barınaklarında, seralarda ve tesis bünyesinde ısıtma amacıyla kullanılabilir. Bu şekilde değerlendirilmesi en ucuz ve verimli yöntemdir. Kullanılmadan önce biyogazın arıtılması, korozif etkilerinden dolayı hidrojen sülfürün (H<sub>2</sub>S) ve ısıl değeri düşürdüğü için karbondioksitin (CO<sub>2</sub>) giderilmesi açısından önem arz etmektedir [6,9].

İçeriğindeki metan gazı oranı yükseltilerek, özellikle de yüksek sıkıştırma oranına sahip motorlarda gaz yakıt olarak biyogazın kullanılması mümkündür. Biyogazın taşıt üzerinde güvenli ve az yer kaplayarak depolanabilmesi için sıkıştırılması veya sıvılaştırılması gerekmektedir. Bunu alaşımli çelik veya kompozit depolarla

sağlamak mümkündür. Birçok Avrupa ülkesinde taşıtlarda, özellikle de toplu taşıma araçlarında biyogaz kullanımı uygulanmakta ve teşvik edilmektedir [6,9].



Şekil 1.2. Biyogazın içten yanmalı motorlarda kullanımı

LPG ile çalışan aydınlatma elemanlarında direkt olarak kullanılabilmesi gibi motor – jeneratör gruplarında elektrik enerjisine dönüştürülerek de aydınlatmada kullanımı mümkündür. Biyogazın elektrik enerjisine çevrim verimi % 22-40 civarındadır. Direkt biyogazın aydınlatma amacıyla kullanılması oldukça düşük verimlerde gerçekleşmektedir [6].

LPG veya doğalgaz ocaklarında, biyogazın uygun filtreleme işlemlerinden geçirilmesi ile kullanımı mümkündür. Böylelikle pişirme için gerekli ısı, elektrik enerjisi veya doğalgaz yakıtı kullanımı ile değil, biyogazdan sağlanmış ve enerji giderlerinde önemli ölçüde azalma olacaktır [6].

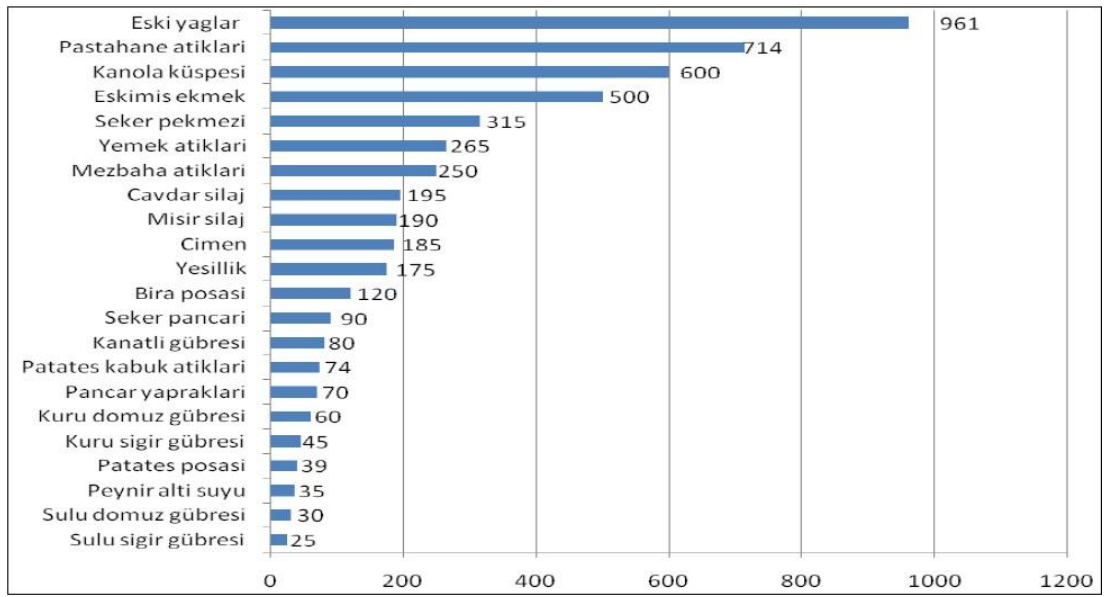
Termal çevrimlerde mekanik enerjinin tek başına elde edilmesi düşük verimlerde gerçekleşmektedir. Bu yüzden açığa çıkarılan enerjiden mümkün olduğunca yararlanmak gerekir. Hem mekanik enerjinin elektrik enerjisine dönüşümünün sağlanması hem de oluşan ısıdan faydalanılması işlemleri kojenerasyon diye adlandırılır. Biyogazın bu sistemlerde yakıt olarak kullanımı günden güne yaygınlaşmaktadır. İklimin yıl içinde fazla değişiklik gösterdiği bölgelerde, elektrik ve ısı enerjisinin elde edildiği çevrimlerin yanına soğutma çevrimleri de eklenerek trijenerasyon tesisleri de kurulmaktadır. Böylece ısının gerektiği ve ortamdan ısının uzaklaştırılması gereken durumlarda atık ısı ile soğutma çevrimleri çalıştırılmaktadır. İki şekilde enerjiden faydalanılması ile birim yakıt tüketimi başına alınan toplam enerji miktarı artmakta ve toplam verim yükselmektedir. %20–40



çevrim veriminde sadece elektrik enerjisi eldesi sağlanırken, kojenerasyon ve trijenerasyon yöntemleri ile bu verim %65–85 oranlarına kadar çıkabilmektedir [6,9].

#### 1.4. Biyogaz Üretimi İçin Kullanılabilecek Hammaddeler

Anaerobik fermantasyon ile biyogaz üretiminde organik yapıdaki çürüyebilen maddeler kullanılmaktadır. Bazı organik maddelerin biyogaz potansiyelleri Şekil 1.3'deki gibidir. Kullanıma uygun atık organik maddeler, hayvansal, bitkisel, evsel ve endüstriyel olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır.



Şekil 1.3. Bazı organik maddelerin biyogaz potansiyelleri (m<sup>3</sup> biyogaz/ton atık) [10]

Hayvansal atıklar; sığır, at, koyun, tavuk gibi hayvanların dışkıları, mezbaha atıkları, kemiksiz kesim evi atığı, kan, mide içeriği, balık atığı, flotasyon atık suyu, et atığı gibi hayvansal ürünlerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan atıklardır [11].

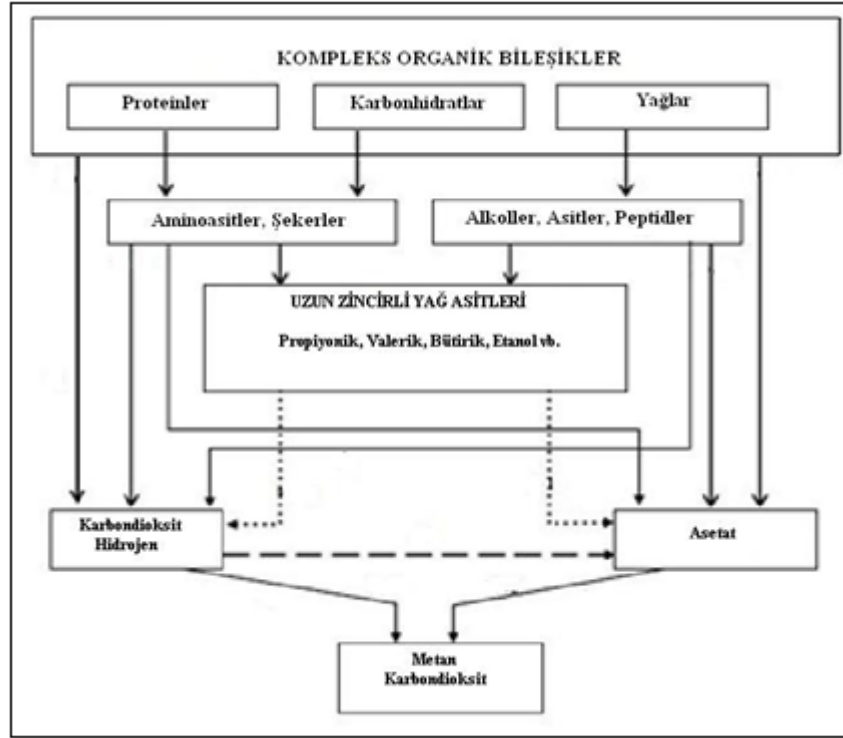
Bitkisel atıklar; ince kıyılmış sap, saman, mısır atıkları, şeker pancarı yaprakları, fındık çotanağı gibi bitkilerin işlenmeyen kısımları ile bitkisel ürünlerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan atıklardır [11].

Evsel ve endüstriyel atıklar; yemek atıkları, kanalizasyon ve dip çamurları, kağıt ve gıda sanayi atıkları, atık su arıtma tesis çamuru, içki endüstrisi atıkları, meyve ve sebze endüstrisi atıkları, süt ve süt ürünleri endüstrisi atıkları gibi organik içerikli atıklardır [12].

## 1.5. Biyogaz Oluşum Aşamaları

Biyogaz üretimi için gerekli olan anaerobik fermantasyon üç aşamada gerçekleşmektedir. Bu aşamalar hidroliz, asetik asit oluşumu ve metan oluşumu olarak sıralanabilir. Biyogaz üretim aşamaları Şekil 1.4’de gösterilmiştir.

Reaktör içindeki organik madde hidroliz edilir ve uçucu yağ asitlerine dönüştürülür. İkinci aşamada uçucu yağ asitleri asetik aside dönüşmektedir. Son aşamada asetik asit, H<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub>, metan bakterileri tarafından kullanılarak metan ve karbondioksit karışımı olan biyogaz üretimi gerçekleştirilmektedir.



Şekil 1.4. Biyogaz üretim aşamaları [5]

### 1.5.1. Hidroliz

Anaerobik fermantasyonun ilk aşaması olan hidrolizde hammadde içerisindeki karbonhidrat ( $C_6H_{10}O_5$ )<sub>n</sub>, yağ ve protein ( $C_{50}H_{90}O_6$ ) gibi büyük molekülü yapılar, hücre dışı enzimler kullanılarak karbondioksit (CO<sub>2</sub>), asetik asit (CH<sub>3</sub>COOH) ve çözülebilir uçucu organik maddelere parçalanırlar. Bu son gruptaki uçucu organik maddelerin büyük çoğunluğunu uçucu yağ asitleri olması sebebiyle bu aşamaya uçucu yağ asitlerinin ( $CH_3(CH_2)_nCOOH$ ) oluşum aşaması da denilir [7,13]. Büyük

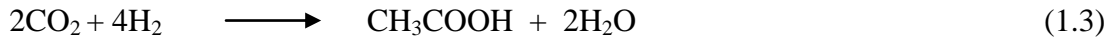
yapılı moleküller içerisinde selülozik yapıların hidrolizi diğer karbonhidrat ve protein yapılarına göre daha uzun sürmektedir. Lignin gibi kompleks yapılu bileşiklerin hidrolizi de yok denecek kadar azdır. Hidroliz esnasında hücre dışı enzimler faaliyette olduğundan bu süreç yavaş ilerlemektedir. Bundan dolayı hidroliz anaerobik fermantasyonda hız sınırlayıcı aşama olarak kabul edilir [14].

### 1.5.2. Asit oluşumu

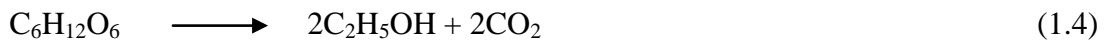
Hidroliz aşamasının ardından asit oluşturuucu bakteriler devreye girer ve çözünür hale dönüşmüş organik maddeleri asetik asit ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) başta olmak üzere propiyonik asit ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$ ), bütirik asit ( $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$ ), etanol ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ), karbondioksit ( $\text{CO}_2$ ) ve hidrojen ( $\text{H}_2$ ) gibi daha küçük yapılu maddelere dönüştürürler. Asit oluşturan bakterilerin bir kısmı (1.2) numaralı denklemde gösterildiği gibi parçalanmış bulunan uçucu yağ asitlerini asetik asit ve hidrojene dönüştürürler [7].



Bir kısım asit üreten bakteri grubu ise (1.3) numaralı denklemde gösterildiği gibi açığa çıkan karbondioksit ve hidrojeni kullanarak asetik asit oluşturur. Ancak bu yolla oluşturulan asetik asit miktarı birinciye oranla daha azdır [7].



Etanolün oluşumunu sağlayan asetojenik reaksiyon (1.4) numaralı denklemde belirtilmiştir [15].

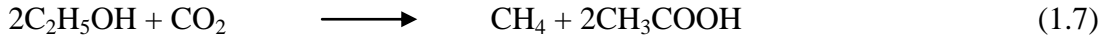
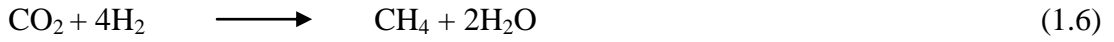


### 1.5.3. Metan oluşumu

Metan oluşumu anaerobik fermantasyonun son aşamasıdır. Bu aşamada metan bakterilerinin bir kısmı asetik asidi kullanarak metan üretimi gerçekleştirirken, bir kısmı da karbondioksit ve hidrojeni kullanarak metan üretimini sağlamaktadırlar.

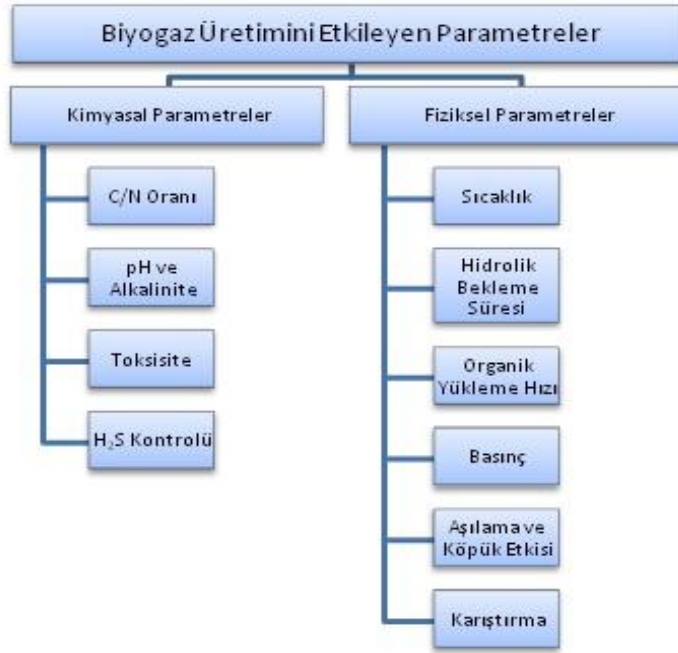
Karbon 14 metoduyla yapılan bir çalışmada karbondioksit – hidrojen ikilisinden ve asetik asitten metana dönüşüm oranları incelenmiş ve üretilen tüm metanın yaklaşık

%70'inin asetik asitten, %30'unun da karbondioksit ve hidrojenden elde edildiği ortaya konulmuştur [16]. (1.5), (1.6) ve (1.7) numaralı denklemlerde metan dönüşümünün reaksiyonları verilmiştir [2,7].



## 1.6. Biyogaz Üretimini Etkileyen Faktörler

Biyogaz üretiminde fermantasyonu etkileyerek oluşacak gaz miktarını ve gazın içeriğindeki metan miktarını etkileyen, fiziksel ve kimyasal birçok parametre bulunmaktadır. Bu parametreler Şekil 1.5'da belirtilmiştir.



Şekil 1.5. Biyogaz üretimini etkileyen parametreler

### 1.6.1. C/N oranı

Tüm organik atıklar belli oranlarda karbon, azot, fosfor, oksijen ve diğer elementel öğeleri içermektedirler. Organik maddenin ihtiva ettiği karbon, anaerobik bakterilerin enerji ihtiyacı ve biyogaz üretimi için gerekli iken, azot bu bakterilerin gelişimi ve üremeleri için gereklidir. Organik madde içerisindeki karbonun en önemli

kaynağı karbonhidratlar, azotun kaynağı ise protein, nitrat ve amonyaktır [17]. Fermantasyonun gidişatı bakımından C/N oranı kontrol altında tutulması gereken önemli bir parametredir. Azotun az olması hücresel gelişimi engellediği için verimi düşürür, çok olması durumunda ise amonyak birikimi meydana gelir ve pH değeri 8,5'e yaklaşır. Bu da sistemin inhibe olmasına sebep olur. C/N oranının 8'den düşük olması durumunda da yine inhibisyon etkisi görülmektedir. 15:1 ila 30:1 arasındaki C/N oranları anaerobik fermantasyon için uygundur [18,19]. Bazı organik atıklara ait C/N oranları Tablo 1.2'de belirtilmiştir.

Tablo 1.2. Bazı organik atıklara ait C/N oranları [20]

Organik Atıklar		% C	% N	C/N Oranı	Nem (%)
Hayvansal Atıklar	Sığır Gübresi	30	1,66	18	80-85
	Koyun Gübresi	83,6	3,8	22	75-80
	Kümes Hayvanı Gübresi	87,5	6,55	14	70-80
	Domuz Gübresi	76	3,8	20	75-80
	At Gübresi	33,4	2,3	15	80-85
	Güvercin Gübresi	50	2	25	70-80
	Kan	36	12	3	90-95
	İdrar	15	15	1	90-95
	Balık Atığı	56	7	8	55-75
	Kesimhane Atığı	64	8	8	55-75
	Çiftlik Gübresi	42	3	14	75-80
Evsel ve Bitkisel Atıklar	İnsan Dışkısı	48	6	8	50-70
	İdrarlı İnsan Dışkısı	70	7	10	50-70
	Patates Kabuğu	37,5	1,5	25	50-60
	Mutfak Atığı	62,5	2,5	25	5-15
	Ekmek	50	2	25	50-60
	Taze Çim	48	4	12	40-60
	Yulaf Samanı	50,4	1,05	120	20-40
	Pirinç Samanı	18	0,3	60	20-40
	Yer Fıstığı Kabuğu	40	2	20	25-40
	Soya Fasulyesi	17,5	3,5	5	10-15
	Ağaç yaprağı	75	1,5	50	40-60

### 1.6.2. pH ve alkalinite

Kimyasal bir değer olan pH, bir çözeltinin asidik veya bazik olma özelliğinin şiddetini gösteren bir terim olup çözeltilde bulunan H<sup>+</sup> iyonunun aktivitesini göstermektedir. Anaerobik bakterilerin gelişimi reaktör içerisindeki pH değişimine göre hassasiyet göstermektedir.

Yapılan çalışmalar anaerobik fermantasyon için gerekli pH aralığının 5,5-8,5 olduğunu ortaya koymuştur [15]. Anaerobik fermantasyon, asit ve metan oluşum aşamalarının her ikisinde de farklı pH değerlerinde seyretmektedir. Metan bakterileri için uygun olan pH değeri 6,8-7,2 arasındadır. pH değerinin 6,6'nın altına düşmesi metan bakterilerinin faaliyetlerini önemli ölçüde azaltmakta ve 6,2'ye düşmesi toksik etki oluşturmaktadır. Bu pH değerinde asit üretimi devam etmekte ve asit bakterileri, pH değeri 4,5-5 olana kadar üretimlerini sürdürmektedirler [18].

Asit üreten bakteriler metan üreten bakterilerden daha hızlı çoğaldıklarından asit üretimi artarak metan üreten bakterilerin aktivitesini düşürebilmektedir. Bu nedenle sistemin pH değeri sürekli kontrol altında tutulmalıdır. Fermantasyon başlangıcında pH değeri 6'ya kadar düşer ve metan oluşumu aşamasında amonyak derişiminin artışına paralel olarak artarak 7-7,5 arasında seyrederek. Ancak ani sıcaklık değişimi, fazla besleme veya bazı zehirli maddeler sistemin asit dengesini bozabilmektedir. Böyle durumlarda dengeyi eski haline döndürmek için, besleme bir süre durdurulmalı veya nötralizasyon için sisteme sönmüş kireç (kalsiyum hidroksit) veya soda (sodyum bikarbonat) gibi alkali maddeler ilave edilmelidir [7, 18, 20].

Karışımın pH değerinin 4 olması için gereken asit miktarı olarak tanımlanan alkalinite değerinin yüksek oluşu, sistemin tampon gücünün fazlalığını göstermektedir. Alkalinite değerindeki düşme veya gaz içerisindeki CO<sub>2</sub> miktarının artışı, pH değerinin düşmeye başlamadan önce sistemin dengesinin bozulduğunu belirten bir ölçektir [18].

### **1.6.3. Toksikite**

Mineral iyonlar, ağır metaller ve deterjanlar anaerobik fermantasyonda bakterilerin büyümelerini engelleyerek toksik etki yapmaktadırlar. Az miktarda sodyum, potasyum, kalsiyum, magnezyum ve kükürt gibi mineral iyonlar bakterilere olumlu etkide bulunurken, ağır metaller ve amonyum toksik etki yapmaktadır [19, 20, 21]. Uzun zincirli yağ asitleri, dezenfektanlar, amonyak, antibiyotikler, zararlı ilaçlar ve deterjanlar toksik etki oluşturan maddelerdir. Alkoller yüksek oranlarda toksik etki meydana getirerek metan üretiminin azalmasına neden olmaktadır [18].

Anaerobik fermantasyon sırasında proteinlerden üretilen amonyak miktarındaki artış düşük seviyelerde olduğu zaman biyogaz üretimini artırırken, yüksek seviyelerde olması durumunda inhibisyona neden olmaktadır. Tablo 1.3’de bazı maddelerin toksik etkiye neden olan sınır değerleri belirtilmiştir.

Tablo 1.3. Anaerobik fermantasyonda bazı engelleyicilerin engelleme seviyeleri [20]

Engelleyiciler	Engelleme Seviyesi (mg/l)
Sülfat ( $\text{SO}_4^{-2}$ )	5000
NaCl ve Tuzlar	40000
Nitrat (N olarak hesaplanmış)	0,05
Bakır ( $\text{Cu}^{+2}$ )	100
Krom ( $\text{Cr}^{+3}$ )	200
Nikel ( $\text{Ni}^{+2}$ )	200-500
Sodyum ( $\text{Na}^{+1}$ )	3500-5500
Potasyum ( $\text{K}^{+1}$ )	2500-4500
Kalsiyum ( $\text{Ca}^{+2}$ )	2500-4500
Magnezyum ( $\text{Mg}^{+2}$ )	1000-1500
Mangan ( $\text{Mn}^{+2}$ )	1500 üzeri

Amonyum miktarı yaklaşık olarak 1700 mg/l olduğunda inhibisyon etkisi başlar ve 3000 mg/l olduğunda sistem tamamen çöker. Yüksek sülfür içerikli materyallerin beslenmesi durumunda  $\text{H}_2\text{S}$  oluşumu artmakta olup buda sisteme toksik etki yapmaktadır. Yüksek katılıklı çalışan reaktörlerde amonyak ve  $\text{H}_2\text{S}$  konsantrasyonu da yüksek olacağı için toksik etki oluşmaktadır. Çözünen sülfür miktarı 200 mg/l’yi geçtiğinde toksik etkiye neden olmaktadır [18].

#### 1.6.4. $\text{H}_2\text{S}$ kontrolü

Biyogaz içerisinde bulunan  $\text{H}_2\text{S}$ , anaerobik fermantasyonda sülfatların indirgenmesi veya proteinlerin parçalanması sonucu oluşmaktadır. Hidrojen sülfür çok zehirli, korozif ve renksiz bir gazdır. 0,05-500 ppm gibi düşük konsantrasyonlarda çürük yumurta kokusuna sahiptir. Fakat yüksek konsantrasyonlarda böyle bir koku söz konusu değildir.  $\text{H}_2\text{S}$  suda çözünerek zayıf asit formuna dönüşebilmektedir [20].

$\text{H}_2\text{S}$ ’in toksik etkisine ek olarak ayrıca biyogazın yanması sonucu korozif etkiye sahip  $\text{SO}_2$  gazı oluşmaktadır. Biyogaz güç ekipmanlarının çalıştırılması sırasında yoğunlaşmayı ve sülfürik asit oluşmasını önlemek için sürekli yüksek sıcaklıklarda

çalışmak gerekmektedir. H<sub>2</sub>S'in korozif etkisinden dolayı biyogaz sistemlerinde kullanılan ekipmanlar H<sub>2</sub>S'e dayanıklı malzemelerden seçilmelidir [20, 22].

### 1.6.5. Sıcaklık

Metan üreten bakteriler, çok düşük ve çok yüksek sıcaklıklarda aktif formda değildirler ve sıcaklık değişimine karşı çok hassastırlar. Biyokimyasal reaksiyonlar için belirli sıcaklık aralıkları Tablo 1.4' de belirtilmiştir [21].

Tablo 1.4. Biyokimyasal reaksiyonlar için belirli sıcaklık aralıkları [21]

	Sıcaklık Aralığı (°C)	Minimum Hidrolik Bekleme Süresi (gün)
Sakrofilik	< 20	70 - 80
Mezofilik	30 - 42	30 - 40
Termofilik	43 - 55	15 - 20

Biyokimyasal reaksiyonlarda metan üretim hızı, sıcaklık artışıyla doğru orantılıdır. Termofilik sıcaklık şartlarında gerçekleşen reaksiyon, mezofilik sıcaklık şartlarındaki reaksiyona göre daha hızlı gerçekleşir. Termofilik şartlarda metan üretim hızı mezofilik şartlara göre iki kat daha fazladır. Buna bağlı olarak termofilik şartlarda kullanılan reaktör hacmi mezofilik şartlarda kullanılanla kıyasla yarı yarıya daha küçüktür. Termofilik şartlarda mezofilik şartlara göre aynı hidrolik bekleme süresinde daha fazla organik yükleme yapılabilmektedir. Termofilik sıcaklık aralığında çalışmanın bir takım dezavantajları da bulunmaktadır. Reaktörü termofilik sıcaklık aralığında çalıştırmak için ilave ısıya ve dolayısıyla ilave maliyete ihtiyaç vardır. Yüksek sıcaklıkta çalışıldığı zaman serbest amonyak miktarının sıcaklık artışı ile arttığı unutulmamalıdır. Bu da reaktör performansını olumsuz yönde etkileyebilir hatta verimliliği azaltabilir [20].

Sıcaklık değiştikçe fermantasyonu sağlayan bakteri tipleri de değişmektedir. Bu yüzden reaktörlerin sıcaklığı mümkün olduğu kadar sabit tutulmalıdır. Sakrofilik, mezofilik ve termofilik sıcaklık aralıklarında çalıştırılan sistemler sırasıyla  $\pm 2$  °C,  $\pm 1$  °C ve  $\pm 0,5$  °C aralığında korunmalıdır [7, 20].

### 1.6.6. Hidrolik bekleme süresi

Hidrolik bekleme süresi (HBS), atık içeriğindeki organik maddelerin mikroorganizmalar tarafından çürütülmesi sonucu biyogaz üretilmesi için gerekli



olan süre olarak tanımlanmakta olup, (1.8) numaralı denklemle ifade edilmektedir [20].

$$HBS = \frac{\text{Reaktör hacmi (m}^3\text{)}}{\text{Günlük debi (m}^3\text{/gün)}} \quad (1.8)$$

Reaktör içindeki bazı organik maddeler tam olarak çürütüldüğünde zamanla gaz üretimi azalmaya başlar. Seçilen hidrolik bekleme süresi içinde reaktördeki organik maddelerin %70-80 oranında çürütüldüğü kabul edilir. Biyogaz tesislerinde işletme sıcaklığına bağlı olarak hidrolik bekleme süresi 20 ile 120 gün arasında değişmektedir [18, 20].

Reaksiyon sıcaklığı arttıkça hidrolik bekleme süresi düşmektedir. Yüksek sıcaklıklarda biyokimyasal reaksiyonlar daha kısa sürede gerçekleşmektedir. Buna bağlı olarak hidrolik bekleme süresini uygulanacak sıcaklığa göre belirlemek gerekmektedir [18, 20].

#### **1.6.7. Organik yükleme hızı**

Birim hacim (m<sup>3</sup>) reaktör başına günlük olarak beslenen organik madde miktarı olarak tarif edilmektedir. Organik yükleme hızı (OYH) artırıldığında asit bakterilerinin metan bakterilerine göre hızlı aktiviteleri sebebiyle, ortam pH'sı düşer. Bu durumda metan bakterilerinin faaliyetleri olumsuz etkilenir. Metan gazı üretim miktarı düşer. Buna karşılık pH'nın hızlı düşmemesi için organik yükleme hızı düşük tutulursa yeterli metan üretimi sağlanamayacaktır. Bu sebeple optimum organik yükleme hızı belirlenirken dikkatli olunmalıdır [20].

#### **1.6.8. Basınç**

Reaktör içerisinde meydana gelecek basıncın anaerobik bakterilere ve dolayısıyla biyogaz verimine etkisi söz konusudur. Yapılan çalışmalar, 0,75 – 1,5 kPa mutlak basınç aralığının biyogaz üretimi için uygun olduğunu ve bunun üzerindeki basınçlarda üretimin zorlaşacağını ortaya koymuştur. Basınç yükseldiğinde metana oranla 40 kat daha fazla çözünebilirlik özelliğine sahip karbondioksitin sıvı içerisindeki konsantrasyonu artmakta olup biyogaz içindeki metan oranı da yükselmektedir [18].

### **1.6.9. Aşılama ve köpük etkisi**

Yeni ayrışmaya başlayan bir biyokütlenin içindeki bakteri sayısı başlangıçta çok azdır. Anaerobik ortam koşullarında organik atıkların parçalanması ve biyogaz üretimi kendiliğinden başlar. İşletilmekte olan başka bir tesisten alınan aşı yüksek mikroorganizma miktarına sahip olduğu için yeni çalışacak tesisin işletmeye alınma süresini kısaltır [18].

Fazla miktarda gaz çıkışı reaktörlerde kalıcı köpük tabakasına yol açabilir. Köpük oluşumu gaz çıkışının fazla olduğu işletmeye alma, inhibisyon sonrası iyileşme veya organik yükteki ani artıştan kaynaklanabilir. Köpük oluşumu, sıcaklık veya bekleme süresinin yükselmesiyle azalır [18].

### **1.6.10. Karıştırma**

Fermentasyon materyalinin reaktörün tüm kısımlarında akıcılık özelliğine sahip olması gerekmektedir. Ayrıca reaktör içerisinde malzemenin homojen dağılması esastır. Parçacık büyüklüğünün olabildiğince küçük olması da fermentasyon etkinliğini artıran önemli bir faktördür. Malzemenin reaktör içerisinde karıştırılmadığı durumda taban ve üst kısımda bulunan yüzme ve çökme nedeniyle kuru madde içeriği orta kısma göre farklı olacaktır. Bu durum bakterilerin faaliyetlerini sınırlayıcı etki yapmaktadır [23].

Reaktör içindeki organik atık ile su karışımından oluşan sıvının sürekli veya belli aralıklarla karıştırılması gerekmektedir. Karıştırma, oluşan gazın sıvı üzerinde meydana gelen köpüğü geçerek yüzeye çıkmasına yardımcı olmaktadır. Bakterilerin organik maddelerle homojen bir şekilde temas etmesini sağlamak için karıştırma çok önemlidir. Karıştırma sayesinde reaktördeki malzemenin dibe çökmesinin önüne geçilmiş olunur [7, 18].

Sıcaklık biyokimyasal reaksiyonu etkileyen parametrelerdendir. Karıştırmanın bir diğer avantajı ise reaktördeki sıcaklık dağılımını eşitlemektir. Cidardan ısıtılan bir reaktörde karıştırma olmayan durumda ısı transferi, cidara yakın bölgedeki malzeme ile olacaktır. Karıştırmanın olduğu durumda ise sıcaklık reaktörün her yerinde eşit

olacaktır. Karıştırma sayesinde sıcaklık farklılıklarından kaynaklanacak verimsizlikler ortadan kalkacaktır [18].

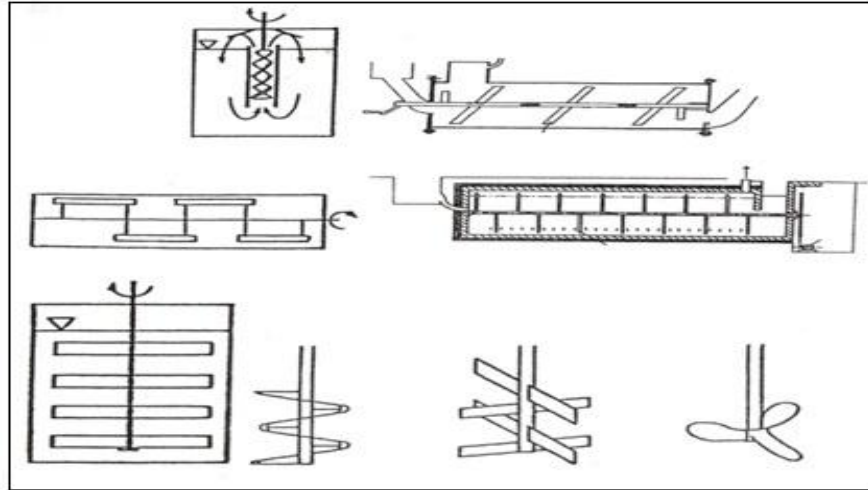
Biyogaz reaktörlerinde kullanılan karıştırma sistemlerini pasif ve aktif karıştırma sistemleri olmak üzere iki grupta incelemek mümkündür.

#### 1.6.10.1. Pasif karıştırma sistemleri

Reaktör içerisinde bulunan materyalin farklı bölgelerindeki sıcaklık farklılıklarından kaynaklanan özgül ağırlık farkından dolayı sıcaklığı daha yüksek olan kısım üst tarafa yönelirken diğer kısım aşağı doğru hareket edecektir. Bu sistemlerde reaktörün %8'den daha az kuru madde içermesi durumunda belirli oranda karışma sağlanır. Enerji gereksinimleri yoktur veya çok azdır [23].

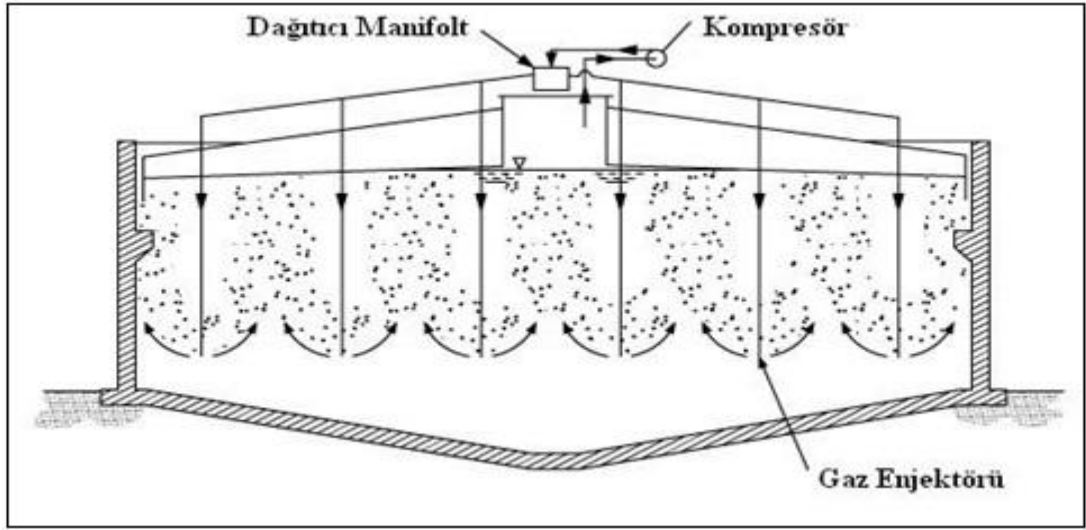
#### 1.6.10.2. Aktif karıştırma sistemleri

Reaktörün taban ve üst kısmında oluşan kuru madde oranı yüksek malzemenin karıştırılması pasif karıştırma sistemleriyle oldukça zordur. Bu nedenle mekanik düzenlemelerle karıştırmanın sağlanması gerekmektedir. Karıştırma işlemi Şekil 1.6'daki gibi farklı geometrilere sahip mekanik karıştırıcılarla yapılabilmektedir [23].



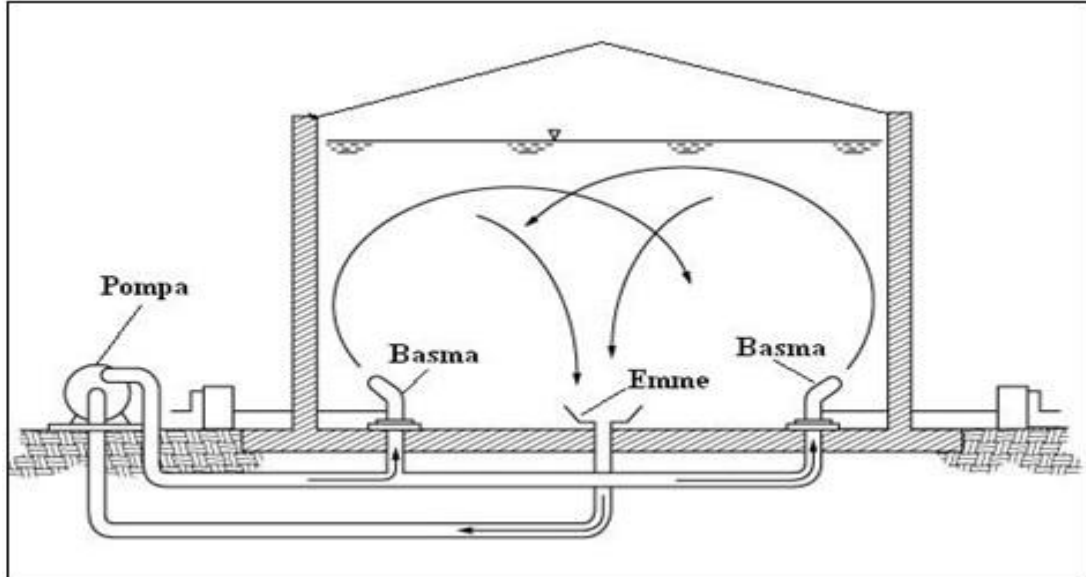
Şekil 1.6. Bazı mekanik karıştırma sistemlerinden örnekler [23]

Reaktör içeriğini sirküle ederek karıştırma yapan sistemler de mevcuttur. Şekil 1.7'de görülen karıştırmanın gaz sirkülasyonu ile yapıldığı sistemde, gaz deposundan emilen biyogaz, fermantasyon materyali içerisine gönderilmektedir. Gaz yoğunluk farkından dolayı yukarı doğru yönelirken karışımı gerçekleştirmektedir.



Şekil 1.7. Biyogaz sirkülasyonlu karıştırma sistemi [24]

Fermentasyon materyalinin sirküle edildiği karıştırma sistemi de Şekil 1.8'de gösterilmektedir. Bu sistemde, fermentasyon materyali pompayla emilerek tekrar reaktöre boşaltılmaktadır. Yapılan sirkülasyon sayesinde karışım gerçekleştirilmektedir.



Şekil 1.8. Çamur sirkülasyonlu karıştırma sistemi [24]

## **1.7. Biyogaz Üretiminde Kullanılan Sistemler**

### **1.7.1. Kesikli (Batch) fermantasyon**

Reaktör hayvansal veya bitkisel atıkla yüklenmekte ve hidrolik bekleme süresi kadar bekletilerek biyogaz oluşumu tamamlanmaktadır. Kullanılan organik maddeye ve sistem sıcaklığına bağlı olarak bekleme süresi değişmektedir. Bu süre sonunda reaktör tamamen boşaltılmakta ve yeniden doldurulmaktadır [11].

### **1.7.2. Beslemeli – Kesikli fermantasyon**

Bu fermantasyon tipinde reaktör başlangıçta belirli oranda organik maddeyle doldurulmakta ve geri kalan hacim fermantasyon süresine bölünerek günlük olarak beslenmektedir. Belirli fermantasyon süresi tamamlandıktan sonra reaktör boşaltılmakta ve yeniden doldurulmaktadır [11].

### **1.7.3. Sürekli fermantasyon**

Sürekli fermantasyonda reaktörden gaz çıkışı görülmeye başlandığında günlük olarak yükleme yapılmaktadır. Sisteme aktarılan karışım kadar gazı alınmış bulamaç sistemden dışarıya alınır. Organik madde reaktöre her gün belirli miktarda verilmekte, hidrolik bekleme süresi kadar bekletilmekte ve her gün yüklenen miktar kadar bulamaç reaktör dışına alınmaktadır. Bu şekilde günlük beslemelerle sürekli biyogaz üretimi sağlanmaktadır [11].

## 2. LİTERATÜR TARAMASI

Karim ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada, karıştırma şeklinin (biyogaz sirkülasyonu, pervaneli karıştırma ve çamur sirkülasyonu) biyogaz üretimine etkisini belirlemek için laboratuvar ölçekli reaktörler hazırlanmıştır. Bu reaktörlerde büyük baş hayvan atığı kullanılarak %5, %10 ve %15 kuru madde miktarına sahip üç set deney yapılmıştır. Deneyler kontrollü olarak 35 °C'de 16,2 gün hidrolik bekleme süresinde yapılmıştır. Sonuç olarak, %5 kuru madde ile yapılan deneylerde karıştırılan ve karıştırılmayan reaktörlerin yaklaşık aynı biyogaz üretimini sağladığı ve üretilen biyogazın günlük 0,84-0,94 lt/lt olduğu ve metan eldesinin 0,26-0,28 lt CH<sub>4</sub> / g olduğu ortaya konulmuştur. Ancak %10 ve %15 kuru madde ile yapılan deneylerde karıştırmanın ve karıştırma şeklinin önemli olduğu tespit edilmiştir. %10 ve %15 kuru madde ile yapılan deneylerde karıştırılan reaktörlerin karıştırılmayanlara göre %10-%30 daha fazla biyogaz eldesine ulaştığı belirtilmiştir. Karıştırılan reaktörler karıştırılmayanlara göre daha fazla biyogaz üretirken, start-up sürecinde karıştırmanın biyogaz üretimi için fayda sağlamayacağı ortaya konulmuştur. Ayrıca biyogaz sirkülasyonlu karıştırmanın %15 kuru maddelik çalışmalarda etkili olmadığı tespit edilmiştir [25].

Karim ve arkadaşlarının yapmış olduğu, biyogaz sirkülasyonlu karıştırma yapılan bir sistemde gaz enjektörünün yüksekliğinin ve biyogaz sirkülasyon hızının reaktör performansı üzerine etkisinin belirlenmesi konulu çalışmada altı laboratuvar ölçekli anaerobik reaktör kullanılmıştır. Reaktörler, %5 kuru maddelik hayvan atığı ile yüklenmiştir. Reaktörlerdeki sıcaklık kontrollü olarak 35 ±2 °C'de tutulmuştur. Deneyler reaktörlerde dört farklı sirkülasyon hızında ve üç farklı gaz enjektörü yüksekliğinde yapılmıştır. Reaktörlerdeki günlük metan üretimi 0,40-0,45 lt/lt olarak saptanmıştır. Biyogaz sirkülasyon hızı artarken metan üretiminin azaldığı dolayısıyla en yüksek metan üretiminin karıştırılmayan reaktörlerde gerçekleştiği gözlenmiştir. Farklı gaz enjektörü yüksekliklerinin metan üretiminde herhangi bir değişikliğe sebep olmadığı görülmüştür. Reaktörlerde bir hava sızıntısı gözlenmiştir. Oluşan cüzi miktardaki sızıntının borulardan veya kompresörün vakum hattındaki kaçaklardan

olduğu tespit edilmiştir. Karıştırılan ve karıştırılmayan reaktörlerdeki benzer performansa ürettiği biyogazla kendiliğinden yeterince karışabilen reaktörlerdeki düşük katı konsantrasyonunun neden olduğu ortaya konulmuştur [26].

Karim ve arkadaşlarının yapmış olduğu başka bir çalışmada da karıştırma şeklinin ve kuru madde konsantrasyonlarının reaktörlerin performansına etkileri belirlenmiştir. Reaktörler %5 ve %10 katı maddelik malzeme ile beslenmiştir. Deneyle, alışma hacimleri 3,73 lt olan ve sıcaklıkları 35 ±2 °C’de kontrol edilen sekiz laboratuvar ölçekli reaktörde yapılmıştır. Hidrolik bekleme süresi 16,2 gün olarak öngörölmüştür. %5 ve %10’luk kuru maddeli reaktörlere sırasıyla günlük 3,08 g/lt ve 6,2 g/lt yükleme yapılmıştır. Sonuçlar, %5 kuru maddeli karıştırılan ve karıştırılmayan reaktörlerin hemen hemen benzer performans gösterdiğini, günlük 0,84-0,94 lt/lt gaz üretildiğini ve metan eldesinin 0,26-0,31 lt CH<sub>4</sub> / g olduğunu ortaya koymuştur. %5 katı madde ile beslenen reaktörlerde oluşan gazın doğal olarak karışımı sağlaması nedeniyle ekstra karıştırma yapılmasının gereksiz olduğu fakat %10 katı madde ile besleme yapılan reaktörlerde karıştırma ve karıştırma şeklinin önemli boyuta geldiği saptanmıştır. %10 katı madde ile beslenen reaktörler çamur sirkölasyonu, pervaneli karıştırma ve biyogaz sirkölasyonu ile karıştırılmış olup karıştırılmayan reaktörlere göre sırasıyla %29, %22 ve %15 daha fazla gaz çıkışı olduğu gözlenmiştir. %5 kuru maddeli reaktörlerde dipte çökeltme görölmemiş ama %10 kuru maddeli reaktörlerde bu durumun önemli olduğu saptanmıştır. Yüksek kuru madde konsantrasyonlu reaktörlerde karıştırmanın önemli olduğu belirtilmiştir [27].

Kaparaju ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, karıştırmanın büyük baş hayvan atığının termofilik koşullarda anaerobik fermentasyonuna etkisi laboratuvar ölçekli ve pilot ölçekli deneylelerle değerlendirilmiştir. Sürekli, asgari (beslemeden önce 10 dakika) ve kesikli (beslemeden önce 2 saat) karıştırmanın metan üretimi üzerine etkisi üç laboratuvar ölçekli reaktörde incelenmiştir. Sürekli karıştırmaya kıyasla, asgari ve kesikli karıştırma yapılan reaktörlerdeki metan üretiminin sırasıyla %1,3 ve %12,5 arttığı gözlenmiştir. Yapılan pilot ölçekli deneyleler de metan üretimindeki artışı desteklemiştir. Yapılan deneylelerde reaktörün yüksek substrat-aşı oranıyla (40/60) yüklenmesi durumunda zayıf (dakikada 35 kere) ve asgari (beslemeden önce 10 dakika) karıştırmanın güçlü (dakikada 110 kere) karıştırmaya göre daha avantajlı

olduđu belirlenmiřtir. Diđer taraftan dűřuk substrat – ařı oranıyla (10/90) beslenen reaktűrlerde gűclű karıřtırmanın en iyi sonucu verdiđi ortaya konulmuřtur [28].

Buđutekin ve arkadařlarının yaptıđı çalıřmada atık karıřtırmanın biyogaz ۆretimine etkisi incelenmiřtir. Karıřtırma sistemi olarak saatte iki dakika çalıřan 30 d/d'lık manyetik karıřtırma sistemi kullanılmıřtır. Deneyleerde, karıřtırıcısız, T profil kanatlı karıřtırıcılı ve 6 kanatlı Rushton karıřtırıcılı ۆç reaktűr kullanılmıřtır. Aynı řartlarda malzemeler yűklenmiř ve hidrolik bekleme sűresi 45 gűn olarak belirlenmiřtir. Sıcaklık 36  C'de kontrol edilmiřtir. Gűnlűk periyotlarla biyogaz ۆretim miktarı, metan gazı yűzdesi ve pH deđerleri ۆlçűlműřtir. Deneyleer sonucunda, Rushton karıřtırıcılı reaktűrűn karıřtırıcısız reaktűrden %30, T profil kanatlı karıřtırıcıdan %15,4 daha verimli olduđu belirlenmiřtir [29].

Stafford'un yaptıđı çalıřmada karıřtırıcı ve uçucu yađ asidi miktarının anaerobik reaktűr ۆzerine etkileri incelenmiřtir. Karıřtırıcı sistemlerinin biyogaz ۆretim hızını kontrol eden bir parametre olduđu ortaya konulmuřtur. Termofilik řartlarda çalıřtırılan reaktűrler için 10 gűn hidrolik bekleme sűresi ۆngűrűlműřtir. 140 d/d ile 1000 d/d hızlarında 8 deneme yapılmıřtır. Sonuç olarak en dűřuk gaz ۆretiminin yűksek karıřtırma hızlarında meydana geldiđi bulunmuřtur [30].

Rico ve arkadařlarının yaptıđı çalıřmada, 1,5 m<sup>3</sup>'lűk bir pilot tesiste karıřtırmanın biyogaz ۆretimi ۆzerine etkisi deđerlendirilmiřtir. Karıřtırma bir pompa yardımıyla reaktűr içeriđinin sirkűlasyonuyla sađlanmıřtır. Deneyleer boyunca sıcaklık 37±1  C'de kontrol edilmiř olup gerekli hidrolik bekleme sűreleri 20 ve 10 gűn olarak belirlenmiřtir. Deneyleerde sűrekli ve kesikli karıřtırmanın biyogaz ۆretimi ۆzerine etkisi belirlenmeye çalıřılmıřtır. Deneyleer 10 ve 20 gűnlűk hidrolik bekleme sűrelerinde az řiddetli kesikli, orta řiddetli kesikli ve sűrekli karıřtırmaya tabi tutulmuřtur. Sonuçlar, 10 gűnlűk hidrolik bekleme sűresinde sűrekli karıřtırmanın reaktűr performansını artırmadıđını ve 20 gűnlűk hidrolik bekleme sűresinde sirkűlasyon hızının reaktűr performansına etki etmediđini ortaya koymuřtur [31].

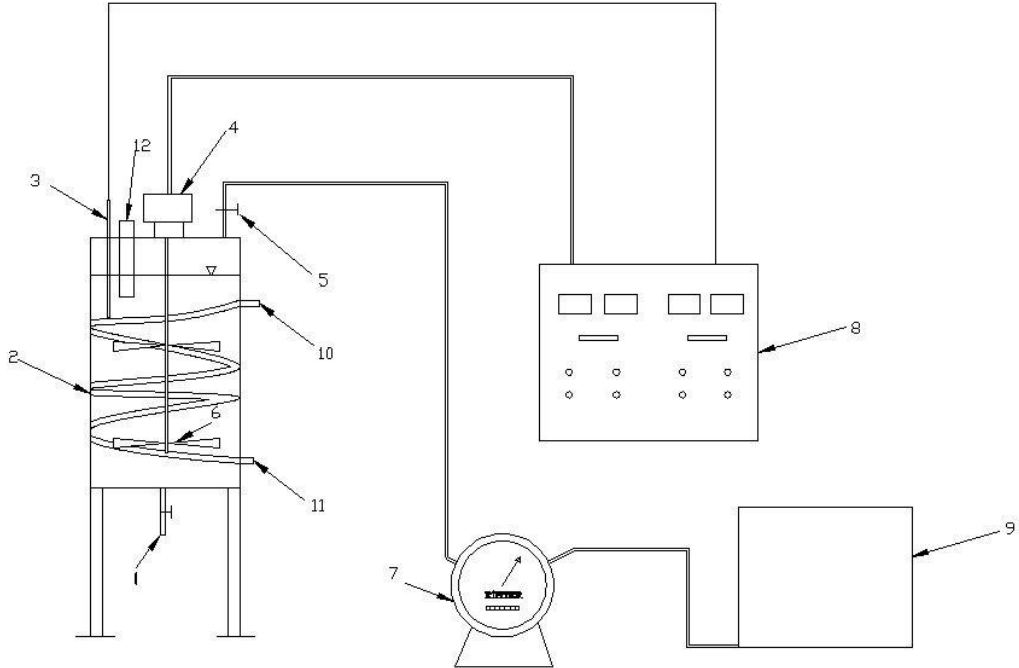


### 3. MALZEME VE YÖNTEM

Organik atıklardan gerekli şartların sağlanması durumunda biyogaz üretilmesi mümkündür. Bu durum atık bertarafı ve enerji üretimi açısından oldukça önem arz etmektedir. Gebze ilçesine bağlı Ovacık köyünden alınan büyükbaş hayvan atığı ve İZAYDAŞ Biyogaz Tesisi'nden alınan aşı için gerekli analizler TÜBİTAK MAM Enerji Enstitüsü Biyogaz Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Yükleme için gerekli karışım oranları belirlendikten sonra deneylere başlanmıştır. Deneyler, TÜBİTAK MAM Enerji Enstitüsü Biyogaz Laboratuvarı'nda mevcut bulunan deney setinde yapılmıştır.

#### 3.1. Deney Düzenegi

Farklı organik maddeler ile çalışabilecek şekilde tasarlanmış Ar – Ge amaçlı deney düzenegi genel hatlarıyla, fermantasyon haznesi, karıştırma sistemi, ısıtma sistemi, kontrol ünitesi, gaz deposu ve gaz sayacından oluşmaktadır. Deney düzeneginin şematik görünüşü Şekil 3.1'de verilmiştir.



1: Reaktör Tahliye Vanası, 2: Fermantasyon Haznesi, 3: Termokupl, 4: Motor-Redüktör, 5: Gaz Çıkış Vanası, 6: Karıştırıcı, 7: Gaz Sayacı, 8: Kontrol Panosu, 9: Gaz Depolama Haznesi, 10: Isıtma Suyu Girişi, 11: Isıtma Suyu Çıkışı, 12: Yükleme-Numune Alma Kısmı

Şekil 3.1. Biyogaz deney düzenegi

Yapılan bu çalışmada Şekil 3.1’de (2) numara ile gösterilen, 12 litre çalışma hacimli, paslanmaz çelik malzemeden imal edilmiş, ısı yalıtımlı üç adet reaktör kullanılmıştır. Reaktörlerin bünyesinde karıştırma, ısıtma ve sıcaklık ölçme sistemleri bulunmaktadır.

Karıştırıcılar (6) paslanmaz çelik malzemeden imal edilmiştir. Dönme için gerekli tahrik, WAT markalı 0,18 kW gücünde 50 Hz 1380 d/d’lık elektrik motoru ile Yılmaz Redüktör markalı 14,5 çevrim oranına sahip redüktörden oluşan akuple sistemden (4) sağlanmaktadır. Karıştırıcıların devir kontrolü ENDA Hamsi markalı AC sürücüsüyle yapılmaktadır.

Reaktörlerin üst kısmında yükleme ve numune alma kısmı (12) bulunmaktadır. Bu kısım belirli bir seviyeye kadar organik malzemeye daldırılmış, paslanmaz çelik bir borudan imal edilmiştir. Bu sayede numune alımı sırasında, üretilmiş olan biyogazın reaktörden kaçıışı engellenmiştir. Reaktörlerin tabanında bulunan tahliye vanaları (1) deneyden sonra boşaltma işleminde kullanılmıştır.

Üretilen biyogaz, (5) numaralı gaz çıkış vanasının açık konumunda hortumlar vasıtasıyla (7) numarayla gösterilen gaz sayacına sevk edilmektedir. Sayaçtan geçen gaz, depolama hazneleri olan (9) 30 litre hacimli balonlarda depolanmıştır.

Reaktörlerde sıcaklık kontrolü için orta seviyeye kadar daldırılmış termokupllar (3) kullanılmıştır. Termokupllar kontrol panosuna (8) bağlanmış olup reaktörlerin içindeki sıcaklıklar buradan kontrol edilmiştir. Reaktörlerde ısıtma, JULABO MC F32 marka bir su banyosundan sağlanan sıcak suyun dolaştırıldığı serpantinlerle (10,11) sağlanmıştır.

### **3.2. Ölçüm ve Analizler**

Deneyle boyunca reaktörlerdeki kuru madde tayini, organik maddenin etüvde 105 °C’de kurutularak, uçucu organik madde miktarı 2,5 saat 550 °C’de yakılarak yapılmıştır. Sayaçlar her gün, reaktör pH’ları, uçucu yağ asitleri miktarı, toplam azot, potasyum, sülfid, bakır, nikel çinko değerleri ise belirli periyotlarla ölçülmüşlerdir. Sistem sıcaklıkları gün içinde 2 kez kontrol edilmiştir. Yapılan ölçümler, kullanılan cihazlar ve detayları aşağıda verilmiştir.

### 3.2.1. Kullanılan ölçüm cihazları

- Kül Fırını (NABERTHERM B180, 1100 °C maksimum sıcaklık,  $\pm 2$  °C doğruluk )
- Spektrofotometre (HACH LANGE DR 2800, 190-1100 nm dalga boyu, 200-900 nm aralığında  $\pm 1$  nm doğruluk)
- Termoreaktör (HACH DRB 200, 10 dakikada 20 °C'den 150 °C'ye kadar ısıtma gücü,  $\pm 2$  °C doğruluk)
- pH Metre (WTW pH720, -2'den 19,9'a kadar pH aralığı, 0,01 pH hassasiyet,  $\pm 0,05$  pH doğruluk)
- Etüv (VWR Dry Line 53, 24 saate kadar zaman ayarı, 280 °C maksimum sıcaklık,  $\pm 1$  °C doğruluk)
- Gaz Sayaçları (RITTER,  $\pm \%0.02$  doğruluk, 0 - 9999 litre sayaç özelliği)
- Gaz Analiz Cihazı (GEOTECH GA2000, %0-100 N<sub>2</sub>,CH<sub>4</sub> ve CO<sub>2</sub>; % 0 - 25 O<sub>2</sub> ; 0-500 ppm H<sub>2</sub>S ve CO ölçüm aralığı, % 0,2 doğruluk, % 0,1 ve 1ppm hassasiyet)
- Hassas Terazı (SARTORIUS CPA2245, -220 – 220 g ölçüm aralığı, 0,0001 hassasiyet,  $\pm 0,02$  doğruluk)
- Santrifüj (NÜVE NF800, maksimum hız 14000 rpm)
- Otomatik Titrasyon (METROHM 876 Dosimat Plus, 50 ml kapasiteli, 0,01-150 ml/d debı aralığı )
- Karıştırıcı (METROHM 801 Stirrer, 15 kademeli hız ayarı, 1700-1900 rpm maksimum hız )

### **3.2.2. Sıcaklık ölçümü**

Sıcaklıklar reaktörlerin üst kapaklarına monte edilen termokupllar ile ölçülmektedir. Termokupllar organik maddenin orta seviyesine kadar daldırılmıştır. Sıcaklık değerleri kontrol panosu üzerinde bulunan göstergelerden okunur.

### **3.2.3. Günlük biyogaz üretiminin ölçümü**

Reaktörlerde üretilen biyogaz miktarları Ritter adı verilen düşük debilerin ölçümünü yapabilen gaz sayaçlarıyla litre cinsinden günlük olarak ölçülmüştür. Günlük ve kümülatif üretim değerleri kaydedilmiştir.

### **3.2.4. pH ölçümü**

Reaktörlerin içerisindeki fermantasyon materyalinin pH ölçümü belirli periyotlarla yapılmıştır. Cihaz kalibrasyonu, pH değeri 7 olduğu bilinen bir kalibrasyon sıvısıyla haftada bir yapılmıştır. Ölçüm pH probunun Şekil 3.1’de (12) numarayla gösterilen üst kapaktan direkt reaktöre daldırılmasıyla yapılır. Cihazın ekranındaki değer kaydedilir. Prob, her ölçüm işleminden sonra temizlenerek KCl çözeltisi içinde bekletilir [32].

### **3.2.5. Kuru madde tayini**

Yükleme yapılmadan önce organik maddeye ne kadar su ilave edileceğine karar verilebilmesi için kuru madde miktarı tayini yapılması şarttır. Öncelikle ısıya dayanıklı alüminyum numune kabı etüve konularak bünyesindeki nem alınır. Numune kabının darası alınarak kaydedilir. Kaba kuru madde tayini yapılacak malzemedan 7-8 gram konulur. Numune kabı etüve yerleştirildikten sonra kapağı kapatılır ve 105 °C’de kurutma işlemi gerçekleştirilir. Kuruma tamamlandıktan sonra soğuması için kap, desikatör adı verilen içinde silika jel bulunan bir kaba yerleştirilir. Hassas terazide ölçüldükten sonra darasıyla olan farkı alınarak kuru madde miktarı ölçülmüş olunur [33].

### **3.2.6. Uçucu organik madde tayini**

Kuru madde tayininden sonra numune kabı 2,5 saat boyunca 550 °C’deki kül fırınında bekletilir. Sürenin sonunda tekrar desikatöre alınarak soğuması beklenir.

Hassas terazide tartıldıktan sonra bulunan değerle kap darası arasındaki fark alınır. Böylece uçucu organik madde tayin edilmiş olur [33].

### **3.2.7. Uçucu yağ asitlerinin tayini**

Reaktörden alınan 50 ml numune santrifüj makinesinde 4100 d/d ile 15 dakika süre ile ayırıştırma işlemine tabi tutulur. Santrifüj işleminin sonunda tüplerdeki serum kısmından 10 ml'lik numune alınarak mezre aktarılır. 1/10 luk zelti hazırlamak için mezr 100 ml'ye tamamlanır. Oluşturulan 1/10'luk zelti numune kabına aktarılır. LCK 365 (UYA) kitleri ile ölüm numuneleri hazırlandıktan sonra 100 C sıcaklığa ayarlanan HACH DRB 200 termoreaktörde 10 dakika ısıtılır. Isıtıcıdan çıkarıldıktan sonra 20 C oda sıcaklığına gelinceye kadar soğuması beklenir. Soğuduktan sonra talimatlarda yazan kimyasallar ölüm numunesine eklenir ve 3 dakika beklenir. Sonra spektrofotometre ile ölüm yapılır. Ölüm işleminde dilüsyon faktörü zeltinin 1/10 oranında seyreltilmesinden dolayı 10 kat olarak ayarlanır.

### **3.2.8. Toplam azot analizleri**

Hazırlanan 1/25 lik zelti ile LCK 338 kitinde ölüm işlemi gerçekleştirilir. Önceden 100 C sıcaklığa ayarlanan HACH DRB 200 termoreaktör 60 dakika ısıtılır. Isıtıcıdan çıkarıldıktan sonra 20 C oda sıcaklığına gelinceye kadar soğuması beklenir. Kitte belirtilen ara işlemler yapılarak 15 dakika beklenir. Spektrofotometre de ölüm yapılır. Ölüm işleminde dilüsyon faktörü 25 kat olarak ayarlanır.

### **3.2.9. Potasyum analizleri**

Santrifüjden çıkan numunenin serum kısmından 1 ml'lik örnek alınarak mezre aktarılır. 1/100 lk zelti hazırlamak için mezr 100 ml'ye tamamlanır. Oluşturulan 1/100'lk zelti numune kabına aktarılır. LCK 328 kiti bu ölüm için kullanılmaktadır. A maddesinden 5 ml kitteki deney tüpüne konularak, 1 ml de numuneden eklenir. Hızla çalkalanarak 5 dakika bekletilir. 5 dakika beklettikten sonra spektrofotometre ile ölüm yapılır. Dilüsyon faktörü 100 olarak ayarlanır.

### **3.2.10. Sülfid analizleri**

Sülfid ölçümleri için LCK 653 kiti kullanılmıştır. 4 ml otomatik pipetle alınan ayrıştırılmış numunenin serum kısmı deney tüpüne aktarılır. 0,2 ml A maddesinden eklenir. Tüp çalkalandıktan sonra 10 dakika bekletilir ve spektrofotometre ile ölçüm yapılır.

### **3.2.11. Bakır analizleri**

Bakır ölçümleri için LCK 329 kiti kullanılmıştır. 2 ml otomatik pipetle alınan ayrıştırılmış numunenin serum kısmı deney tüpüne aktarılır. Tüp çalkalandıktan sonra 3 dakika bekletilir ve spektrofotometre ile ölçüm yapılır.

### **3.2.12. Nikel analizleri**

Nikel ölçümleri için LCK 337 kiti kullanılmıştır. 2 ml otomatik pipetle alınan ayrıştırılmış numunenin serum kısmı deney tüpüne aktarılır. 0,2 ml A maddesinden eklenir. Tüp çalkalandıktan sonra 3 dakika bekletilir ve spektrofotometre ile ölçüm yapılır.

### **3.2.13. Kükürt elementel analizi**

Etüvde kurutulmuş biyokütle agat havanda öğütülür. Numune 0,25 mikronluk elekte elenerek analize hazır hale getirilir. Analiz, ASTM D 4239 standardında Leco Truspec elementel analiz cihazında gerçekleştirilir. Analiz sonucunda numunedeki kükürt miktarı yüzde olarak tayin edilir.

### **3.2.14. Karbon, azot, fosfor ve oksijen elementel analizleri**

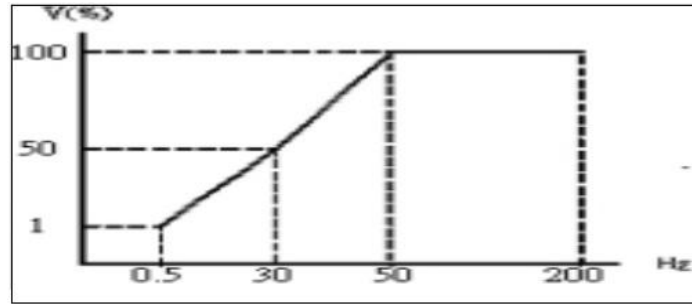
Etüvde kurutulmuş biyokütle agat havanda öğütülür. Numune 0,25 mikronluk elekte elenerek analize hazır hale getirilir. Analiz, ASTM D 5373 standardında Leco Truspec elementel analiz cihazında gerçekleştirilir. Analiz sonucunda numunedeki karbon, azot, fosfor miktarları yüzde olarak tayin edilir. Toplam kükürt analizi, nem ve kül analizi ile birlikte yapıldığı zaman elementel oksijen değeri de hesaplanabilir.

### 3.2.15. FOS/TAC analizleri

Uçucu organik asitlerin (FOS), tamponlama kapasitesine (TAC) oranı olarak ifade edilen FOS/TAC analizinin amacı, anaerobik fermantasyonun gidişatı hakkında bilgi vermektir. Santrifüj edilen numunenin serum kısmından 20 ml sıvı, bir behere alınır. Otomatik titrasyon cihazına aküple halde bulunan karıştırıcıda karıştırılmaya başlanır. pH probu behere daldırılır. Ekranda okunan pH değeri 5 olana kadar behere 0,1 normal H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltisinden eklenir. Otomatik titrasyon cihazının ekranındaki H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sarfiyatı kaydedilir. Cihaz sıfırlanarak pH değeri 4,33 olana kadar behere çözeltiden eklemeye devam edilir. Cihazın ekranındaki sarfiyat değeri kaydedilir. Gerekli formülasyonda değerler yerine konarak FOS, TAC ve FOS/TAC değerleri hesaplanır [34]. FOS/TAC oranının 0,6'dan büyük olması durumu, aşırı biyokütle yüklemesinden dolayı yüklemeye ara verilmesi gerektiğini, 0,2'den küçük olması durumu ise fermantasyondaki bakterilerin biyokütleyle ihtiyaç duyduklarını dolayısıyla acilen yükleme yapılması gerektiğini göstermektedir.

#### 4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Yapılan bu çalışmada, birbirinden farklı hızlarla karıştırılan üç reaktör kesikli fermantasyona tabii tutulmuştur. Sürücü yardımıyla belirlenen karıştırma hızları Şekil 4.1'deki eğri yardımıyla hesaplanmıştır.



Şekil 4.1. ENDA Hamsi tipi AC Sürücüye ait çalışma eğrisi [35]

Farklı frekanslarda çalıştırılan karıştırıcılara sahip, 12 lt hacimli  $R_1$ ,  $R_2$  ve  $R_3$  reaktörlerinde karıştırıcı hızları sırasıyla 14,9 d/d, 47,5 d/d ve 95,1 d/d olarak hesaplanmıştır. Kontrol panosundaki AC sürücü sırasıyla 10, 30 ve 50 Hz değerlerine ayarlanmıştır.

Deneylede kullanılan organik maddelere ait % C, % N, C/N, % H, % O, % S, % KM, %UO, besleme miktarı ile ilgili bilgiler Tablo 4.1'de verilmiştir. Büyük baş hayvan atığı, çalışmakta olan tesisten temin edilen aşı ve suyla bir karışım hazırlanmıştır. Bu karışımdaki miktarlar, bilinen % KM değerleri dikkate alınarak, istenilen % KM değerine göre belirlenmiştir.

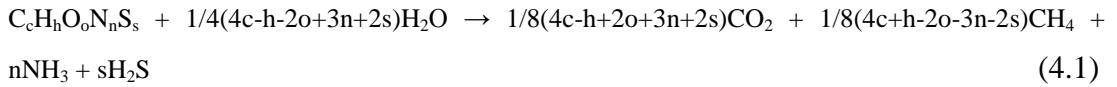


Tablo 4.1. % 12,5 kuru maddelik büyükbaş hayvan atığı + aşı + su besleme menüsü

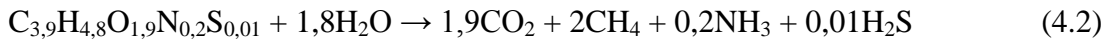
Beslemede Kullanılan Organik Madde	C (%)	N (%)	C/N	H (%)	S (%)	O (%)	KM (%)	UO (%)	Besleme Miktarı (kg)	Hidrolik Bekleme Süresi (gün)	Teorik Gaz Üretkenliği (lt/kg OM)
<b>Büyük baş hayvan atığı</b>	45,87	2,27	20,2	4,78	0,31	30,71	17,15	84,06	7		
<b>Aşı</b>	-	-	-	-	-	-	4,3	64,15	0,5	57	86,3
<b>Su</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	2,5		
<b>Karışım</b>	45,9	2,3	20	4,8	0,3	30,71	12,5	84,4	10		

#### 4.1. Teorik Biyogaz Üretiminin Hesaplanması

Menüde belirlenen miktarda büyükbaş hayvan atığı, aşı ve su karıştırılarak %12,5 kuru madde içeren bir bulamaç hazırlanmıştır ve 10'ar kg olarak üç reaktöre yüklenmiştir. Tablo 4.1'de listelenen elementel değerler kullanılarak, (4.1) numaralı eşitlik (Buswell eşitliği) yardımıyla teorik gaz üretkenliği hesaplanmıştır [36].



Buswell eşitliğine göre deneylerde uygulanan anaerobik reaksiyon (4.2) numaralı eşitlikte verilmiştir.



Üretilen amonyak ve hidrojen sülfür ihmal edildiğinde toplamda üretilen biyogazın %48,7'sinin CO<sub>2</sub> ve %51,3'ünün CH<sub>4</sub> olduğu belirlenmiştir. Karışımdaki karbonun % miktarı belli olduğundan oluşan biyogazdaki CO<sub>2</sub> ve CH<sub>4</sub> miktarları hesaplanmıştır. Yapılan hesaplama göre 10 kg yükleme sonucunda teorik olarak 863 lt biyogaz üretileceği belirlenmiştir.

#### 4.2. Biyogaz Üretim Deneyleri

Reaktörler mezofilik şartlar göz önünde bulundurularak, 37 ±1 °C'de çalıştırılmış olup reaktörlerin ısıtılması 55-60 °C'de sıcak su sağlayan bir su banyosu vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık değerleri günlük belirli periyotlarla kontrol edilerek acil durumlarda sisteme müdahale edilmiştir. Değişik karıştırma hızlarına ayarlanmış

reaktörler, sürekli karıştırmaya tabii tutulmuştur. Böylece reaktörlerin içindeki sıcaklık dağılımında homojenizasyon sağlanmıştır.

57. güne kadar reaktörlerden kayda değer miktarda gaz çıkışı gözlenmiştir. Hidrolik bekleme süresi 57 gün olarak belirlenmiştir.

Deneylere ilişkin tüm sıcaklık, pH, gaz kompozisyonu, biyogaz sayaçları, uçucu yağ asidi miktarı, kuru madde ve uçucu organik değerleri kayıt altına alınmıştır. Elde edilen değerlerle deneysel süreçlere ilişkin grafikler oluşturulmuştur.

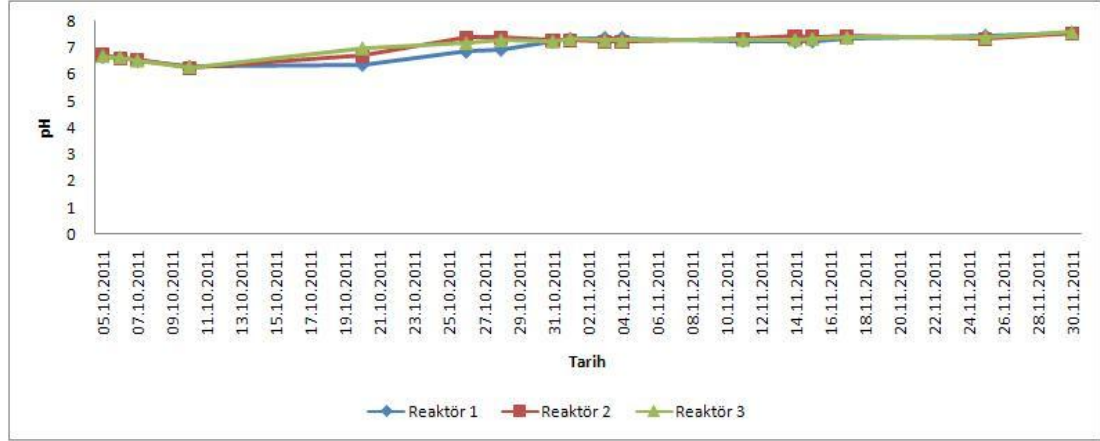
#### 4.2.1. pH kontrolü

Yükleme yapıldıktan sonra R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> ve R<sub>3</sub> reaktörleri sırasıyla 6,66, 6,72 ve 6,68 pH değerlerindeyken hızla pH 6 değerine kadar düşmüştür. Bu süreç uçucu yağ asitlerinin oluşma süreci olarak tanımlanabilir. Artan uçucu yağ asidi miktarı sebebiyle pH değerinde düşüş görülmüştür. 10. gün, R<sub>2</sub> ve R<sub>3</sub> reaktörlerinde CH<sub>4</sub> üretiminde artış başlamış buna bağlı olarak pH değerleri 7,3 seviyelerine kadar yükselip reaksiyon sonuna kadar bu şekilde seyretmiştir. R<sub>1</sub> reaktöründe CH<sub>4</sub> üretimindeki artış 16. gün görülmüştür. Bunun sonucunda pH değeri 16. güne kadar 6 civarında seyretmiş ve daha sonra yükselerek 7,3 seviyesine gelmiştir. Reaktörler, bu sürecin ardından 57. günün sonuna kadar pH 7,3-7,5 aralığında seyretmişlerdir.

Yapılan deneysel çalışmada günlük pH değerleri Tablo 4.2'deki gibi kaydedilmiş ve bu verilerle Şekil 4.2'deki grafik elde edilmiştir.

Tablo 4.2. Reaktörlere ait pH değişimleri

pH							
Tarih	Reaktör 1	Reaktör 2	Reaktör 3	Tarih	Reaktör 1	Reaktör 2	Reaktör 3
05.10.2011	6,66	6,72	6,68	01.11.2011	7,34	7,28	7,33
06.10.2011	6,6	6,59	6,63	03.11.2011	7,36	7,23	7,27
07.10.2011	6,5	6,54	6,52	04.11.2011	7,37	7,24	7,26
10.10.2011	6,29	6,23	6,27	11.11.2011	7,25	7,33	7,3
15.10.2011	6,12	6,09	6,07	14.11.2011	7,22	7,41	7,3
20.10.2011	6,36	6,69	6,98	15.11.2011	7,23	7,4	7,34
26.10.2011	6,85	7,36	7,17	17.11.2011	7,35	7,41	7,38
28.10.2011	6,92	7,38	7,28	25.11.2011	7,44	7,32	7,39
31.10.2011	7,22	7,28	7,24	30.11.2011	7,56	7,53	7,58



Şekil 4.2. Deneysel çalışma süresi boyunca pH değişim grafiği

#### 4.2.2. Toksikite kontrolü

Aşırı miktarlardaki kirleticilerin anaerobik fermantasyonu olumsuz etkilediği bilinerek, reaktörlerden alınan numunelerde bakır, potasyum, nikel ve sülfid analizleri yapılmıştır. Elde edilen veriler Tablo 4.3’de listelenmiştir. Sonuçlara göre bu elementlerin organik maddedeki miktarlarının risk sınırının altında olduğu belirlenmiştir.

Tablo 4.3. Reaktörlerdeki engelleyici miktarları

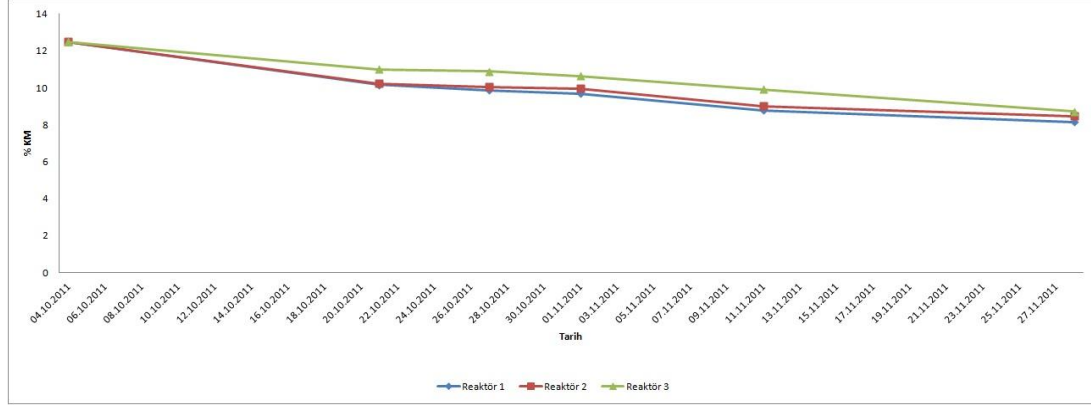
Engelleyiciler	Engelleyici miktarı (mg/l)		
	Reaktör 1	Reaktör 2	Reaktör 3
<b>Bakır</b>	55,7	44	25,1
<b>Potasyum</b>	3900	4390	3600
<b>Nikel</b>	47,5	42,5	29,25
<b>Sülfid (S<sup>-2</sup>)</b>	6,3	4,9	3,2

#### 4.2.3. Kuru madde ve uçucu organik kontrolü

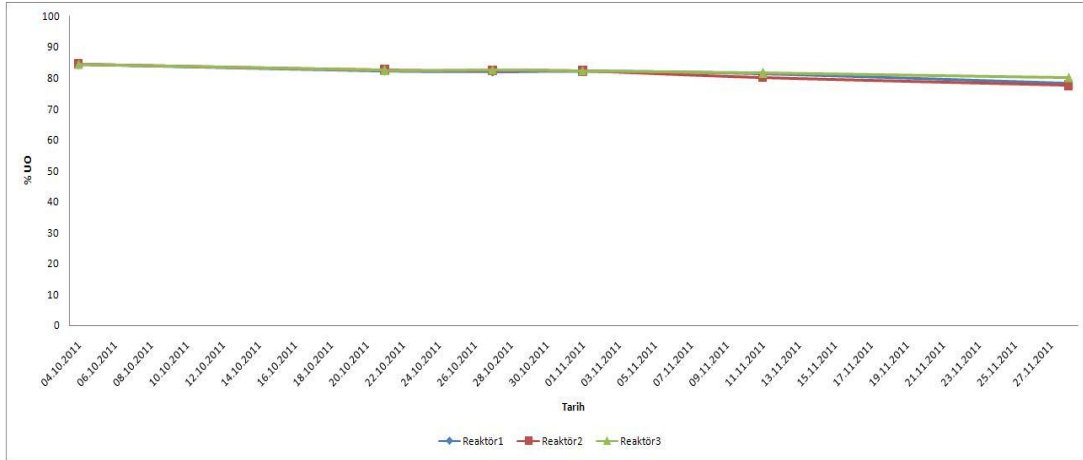
Reaktörlere yüklenen organik maddeler %12,5 kuru madde oranına göre ayarlanmıştır. Belirli periyotlarla yapılan analizlerde görülen kuru madde miktarındaki azalma, uçucu maddelerin biyogaza dönüştüğünü göstermiştir. Yapılan analiz sonuçları Tablo 4.4’teki gibi kaydedilmiş ve bu verilerle Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’teki grafikler elde edilmiştir.

Tablo 4.4. Kuru madde ve uçucu organik analiz sonuçları

Tarih	% KM			% UO		
	Reaktör 1	Reaktör 2	Reaktör 3	Reaktör 1	Reaktör 2	Reaktör 3
04.10.2011	12,5	12,5	12,5	84,38	84,38	84,38
21.10.2011	10,17	10,24	11	82,23	82,55	82,48
27.10.2011	9,88	10,05	10,88	82,03	82,36	82,7
01.11.2011	9,7	9,96	10,63	82,14	82,19	82,4
11.11.2011	8,78	9,02	9,91	81,31	80,19	81,52
28.11.2011	8,15	8,47	8,71	78,36	77,52	80,15



Şekil 4.3. % Kuru madde miktarındaki değişim grafiği



Şekil 4.4. % Uçucu organik miktarındaki değişim grafiği

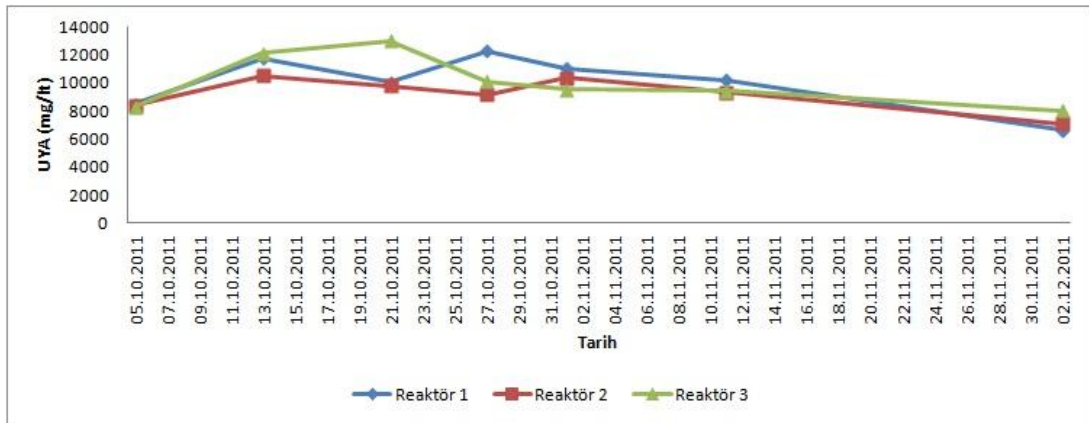
#### 4.2.4. Uçucu yağ asitlerinin kontrolü

Reaksiyonun 1. günü reaktörlerden alınan numunelerle uçucu yağ asidi miktarları ölçülmüş ve yaklaşık aynı oldukları görülmüştür. Belirli periyotlarla bu analizler tekrarlanmış ve Tablo 4.5'teki değerler kaydedilmiştir.

Tablo 4.5. Uçucu yağ asidi analizlerinin sonuçları

Tarih	Uçucu yağ asitleri (mg/lt)		
	Reaktör 1	Reaktör 2	Reaktör 3
05.10.2011	8500	8400	8320
13.10.2011	11770	10550	12160
21.10.2011	10080	9790	13010
27.10.2011	12275	9160	10125
01.11.2011	11050	10390	9520
11.11.2011	10230	9350	9440
02.12.2011	6640	7120	8020

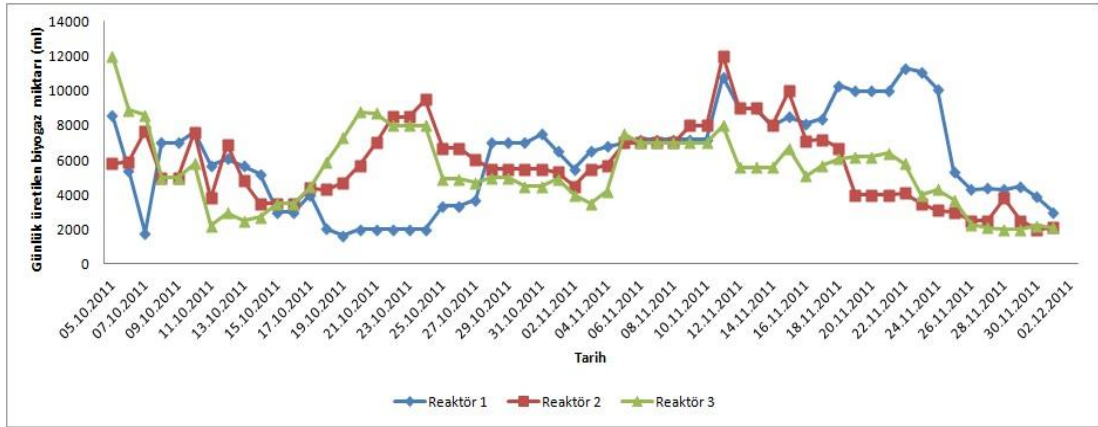
Tablo 4.5'teki veriler ışığında Şekil 4.5'teki grafik oluşturulmuştur. Reaksiyon başlangıcında pH'daki düşüğe paralel olarak uçucu yağ asitlerinde hızlı bir artış görülmüştür. Reaktörlerdeki metan yüzdesinin maksimum değerde olduğu günden sonra uçucu yağ asidi miktarındaki azalma grafikte görülmektedir.



Şekil 4.5. Uçucu yağ asidi miktarındaki değişimin grafiği

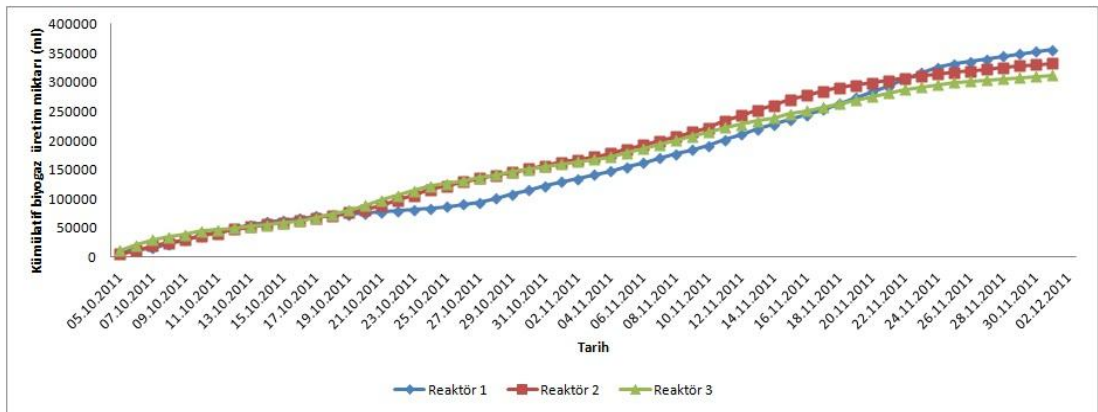
#### 4.2.5. Biyogaz üretiminin ve kompozisyonunun kontrolü

Reaktörlerde günlük üretilen biyogaz miktarları kaydedilerek, bu verilerle Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’de görülen, günlük ve kümülatif biyogaz üretim eğrileri oluşturulmuştur. Fermantasyonun ilk günü aşıda mevcut bulunan uçucu yağ asitlerini kullanan metanojen bakteriler biyogaz üretimine başlamıştır. Yüklenen organik maddedeki uçucu yağ asitlerinin oluşum aşamasına kadar günlük üretilen biyogaz miktarı azalmış olup uçucu yağ asitleri oluşuktan sonra tekrar artış göstermiştir.



Şekil 4.6. Günlük üretilen biyogaz miktarları

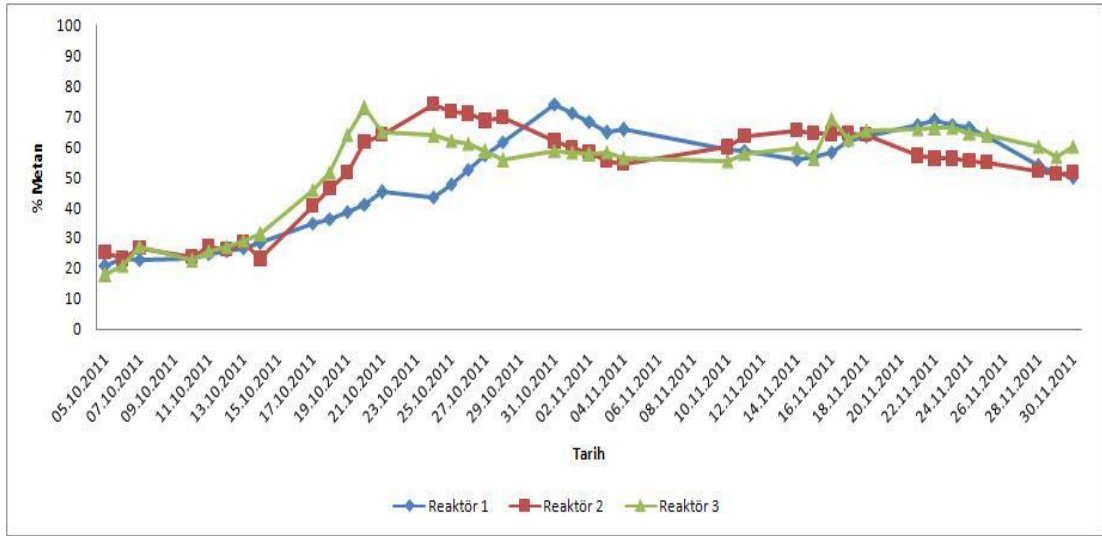
$R_1$ 'de uçucu yağ asitlerinin üretimi 20. güne kadar devam etmiş ve günlük biyogaz üretimi 20. günden sonra artmaya başlamıştır.  $R_2$  ve  $R_3$ 'deki günlük biyogaz üretim miktarı 10. günden sonra artmaya başlamıştır. 38. Gün  $R_2$  ve  $R_3$ 'deki, 51. gün de  $R_1$ 'deki günlük biyogaz üretimleri azalmaya başlamıştır.



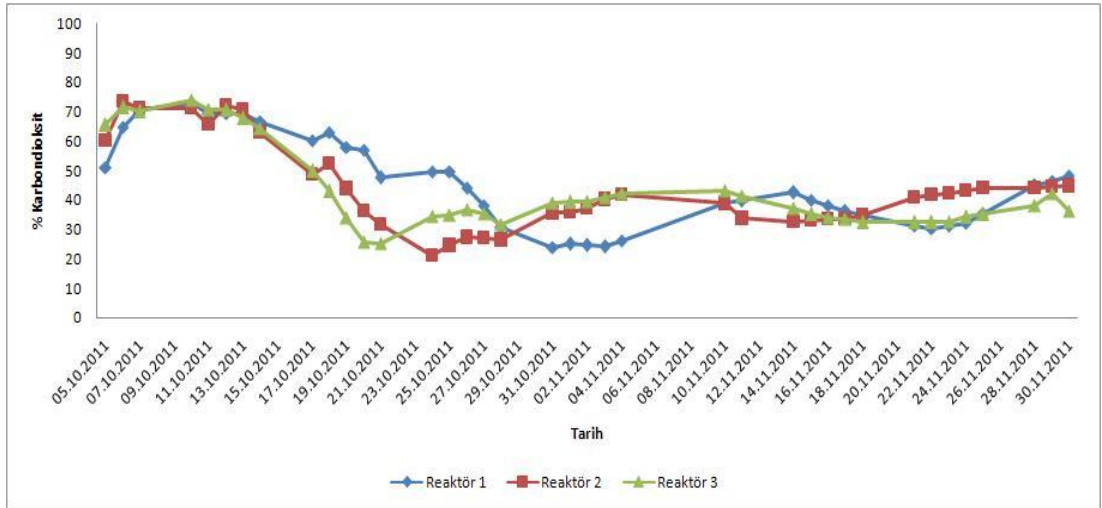
Şekil 4.7. Kümülatif biyogaz üretim miktarları

Kümülatif üretim miktarını belirten grafik hızla artan ve yavaşlayan bir eğriyle ifade edilmiştir. Azalan günlük biyogaz üretimlerine dayanarak 51. gün kümülatif biyogaz üretimi eğrisinin eğimi azalmıştır. Bu süreçte 6 gün daha beklenilerek deneylere son verilmiştir.

Reaktörlerde oluşan biyogazın kompozisyonunun gaz analizörüyle belirlenmesi her gün tekrarlanmış ve edinilen verilerle Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’da görülen grafikler oluşturulmuştur.



Şekil 4.8. Üretilen biyogazdaki % metan oranları



Şekil 4.9. Üretilen biyogazdaki % karbondioksit oranları

#### 4.2.6. Fermantasyon sürecinin kontrolü

Reaktörlerdeki fermantasyonun gidişatını kontrol etmek adına belirli periyotlarla FOS/TAC analizleri yapılmıştır. Elde edilen veriler Tablo 4.6’da listelenmiştir. FOS/TAC oranının 0,2’nin altında olması, bakterilerin fermantasyon için biyokütleye ihtiyaç duyduklarını göstermektedir.

Tablo 4.6. Reaktörlere ait FOS, TAC ve FOS/TAC değerleri

Tarih	Reaktör 1			Reaktör 2			Reaktör 3		
	FOS	TAC	FOS/TAC	FOS	TAC	FOS/TAC	FOS	TAC	FOS/TAC
13.10.2011	9548,85	3903,75	2,44	9640,15	3763,75	2,56	11358,25	4107,5	2,76
21.10.2011	15549,75	3978,75	3,9	12121,85	5541,25	2,18	10806,3	6333,75	1,7
27.10.2011	14869,15	4661,25	3,18	7341,05	8396,25	0,87	7341,05	8120	0,9
01.11.2011	8814,3	8220	1,07	6307,7	9638,75	0,65	6598,2	9331,25	0,7
11.11.2011	6876,25	9223,75	0,74	5100,05	10046,25	0,5	6751,75	10021,25	0,67
30.11.2011	1970,95	11861,25	0,16	2215,8	11917,5	0,18	2730,4	12970	0,19

Sonuçlar incelendiğinde deneylerin 57. gününde, R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> ve R<sub>3</sub> reaktörleri için FOS/TAC oranlarının sırasıyla 0,16, 0,18 ve 0,19 olduğu görülmüştür. 0,2 değerinin altına düştükleri için deneylere son verilmesine karar verilmiştir.



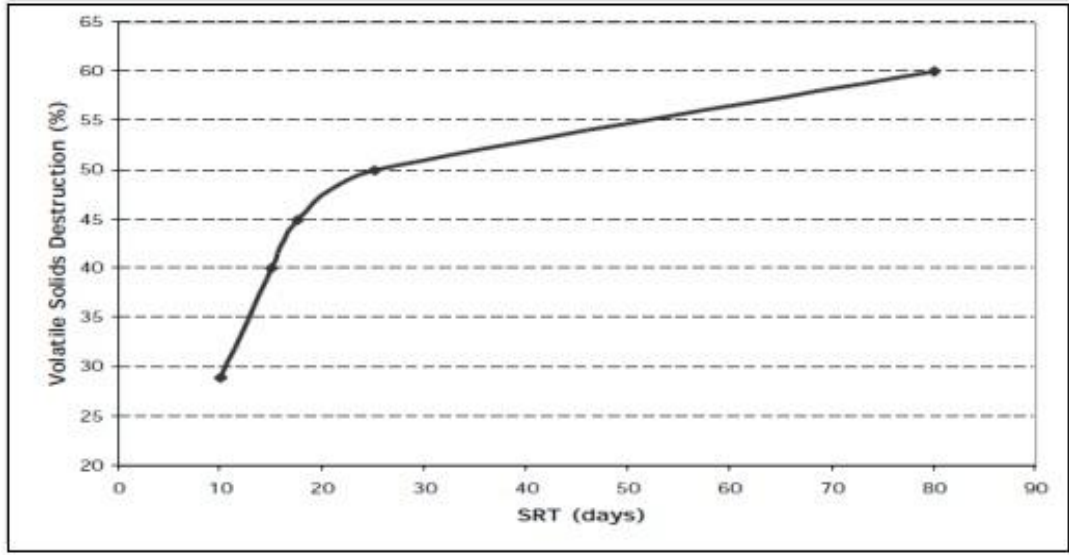
## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, hızları sırasıyla 14,9 d/d, 47,5 d/d ve 95,1 d/d olan sürekli karıştırmaya tabii tutulan 12 litre hacimli 3 adet reaktör kullanılmıştır. Reaktörler büyük baş hayvan atığı, çalışmakta olan tesisten temin edilen aşı ve suyla hazırlanmış %12,5 kuru madde konsantrasyonuna sahip karışımla yüklenerek kesikli fermantasyon uygulanmıştır. Deneysel çalışmada hidrolik bekleme süresi 57 gün olarak belirlenmiştir. Reaktörlerin iç sıcaklıkları  $37 \pm 1$  °C'de tutulmuştur.

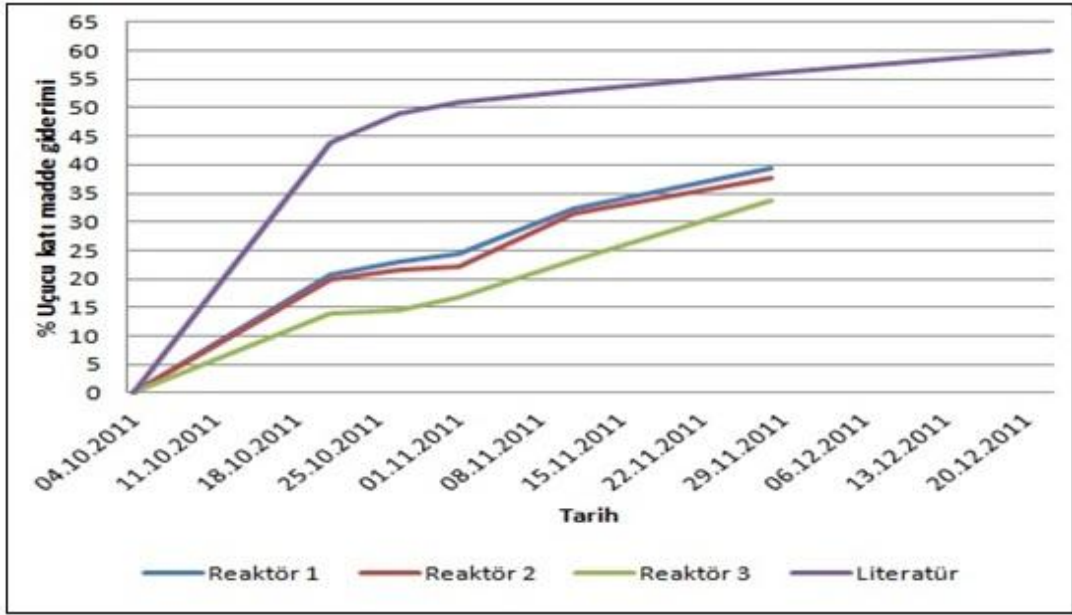
Deneyle süresince günlük ortalama biyogaz üretimleri  $R_1$ ,  $R_2$  ve  $R_3$  için sırasıyla 6,125 lt, 5,725 lt ve 5,381 lt olarak, toplam biyogaz üretimleri sırasıyla 355,25 lt, 332,1 lt ve 312,1 lt olarak tespit edilmiştir. Üretilen biyogazda ortalama metan gazı konsantrasyonları sırasıyla %49,9, %52,3 ve %53,1 olarak ve karbondioksit gazı konsantrasyonları sırasıyla %45,4, %43,7 ve %43,3 olarak belirlenmiştir.

Reaktörlere yüklenen organik maddenin biyogaz üretkenliği 86,3 lt/kgOM olarak hesaplanmıştır. Toplam biyogaz üretimleri dikkate alınarak reaktörlere ait biyogaz dönüşüm verimlilikleri sırasıyla %41,2, %38,4 ve %36,1 olarak belirlenmiştir.

Yükleme yapılan organik maddeye ait uçucu organik madde miktarı 0,105 kgUOM/kg olarak hesaplanmıştır. 57 günlük hidrolik bekleme süresi boyunca reaktörlerdeki uçucu organik madde giderimleri sırasıyla %39,4, %37,7 ve %33,8 olarak belirlenmiştir. Şekil 5.1'de görüldüğü gibi literatürde büyük baş hayvan atığı ile yapılan çalışmalar, 57 günlük bekleme süresinde ortalama uçucu organik madde gideriminin %55 seviyesinde olduğunu göstermektedir [37]. Şekil 5.2'de yapılan deneylerde %55 verimlilikte bir dönüşüm olmadığı görülmektedir.



Şekil 5.1. Katı bekleme süresine göre uçucu katı madde giderimi [37]



Şekil 5.2. Reaktörlere ait katı bekleme süresine göre uçucu katı madde giderimi

Deneylerde görülen düşük biyogaz dönüşüm verimliliklerinin sebebinin sürekli karıştırma olduğu düşünülmektedir. Yapılan bu çalışmada sürekli karıştırmanın bakteriler üzerinde oluşturduğu stres etkisinden söz etmek mümkündür. Sürekli karıştırılan reaktörlerde bakteriler organik maddeye yeteri kadar tutunamadıkları için biyogaz üretimi beklenilenden düşük seviyede olmuştur.

Sonuçlar, karıştırıcı hızının biyogaz üretimine etki ettiğini; yavaş karıştırılan reaktörde hızlı karıştırılan reaktördekine göre daha fazla biyogaz üretildiğini

göstermiştir. Bu sonuca göre reaktörlerde biyogaz verimliliğinin maksimum seviyede olması için optimum karıştırma hızının tespit edilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Optimum karıştırma ile hem gereksiz enerji giderlerinin önüne geçilmiş, hem de reaktör verimleri artırılmış olacaktır.

## KAYNAKLAR

- [1] Erengezin Ç., Enerji Yaşamın Çekirdeği, İnterteks İnşaat 2003 Fuarı, İstanbul, 2003.
- [2] Çağlayan E., Ataç Ö., Çoban V., Biyoenerji Her Yerde, *Bilim ve Teknik Dergisi*, 2009, **498**, 40-45.
- [3] Çoban V., Çağman S., Tırıs M., Kaya D., Yağmur A., Akgün F., Eysel Kaynaklı Arıtma Çamurlarının Biyogaz Üretiminde Kullanımının Değerlendirilmesi, *16. Uluslararası Enerji ve Çevre Fuarı ve Konferansı ICCI*, İstanbul, 12-14 Mayıs 2010.
- [4] Öztürk İ., *Anaerobik Biyoteknoloji ve Atık Arıtımındaki Uygulamaları*, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1999.
- [5] Ardıç İ., Taner F., Biyokütleden Biyogaz Üretimi I: Anaerobik Arıtımın Temelleri, [http://www.biyogazder.org/makale/14101ec47c52b48\\_ek.pdf](http://www.biyogazder.org/makale/14101ec47c52b48_ek.pdf), (Ziyaret tarihi: 15 Ekim 2011).
- [6] Koçar G., Atıktan Mutfağa Biyogaz, *Bilim ve Teknik Dergisi*, 2006, **467**, 42-47.
- [7] Gülen J., Arslan H., Biyogaz, *Journal of Engineering and Natural Sciences*, 2005, **4**, 121-129.
- [8] Alçiçek A., Demiruluş H., Çiftlik Gübrelerinin Biyogaz Teknolojisinde Kullanılması, *Ekoloji Çevre Dergisi*, 1994, **13**, 5-9.
- [9] Altın V., Biyogaz, *Bilim ve Teknik Dergisi*, 2003, **428**, 42-48.
- [10] Erdoğan D., Sayın U., Erdem A. M., Atık Yönetiminde Biyometanizasyon Teknolojisi, *17. Uluslararası Enerji ve Çevre Fuarı ve Konferansı ICCI*, İstanbul, 15-17 Haziran 2011.
- [11] Biyogaz Çalışmaları, Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, [http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/biyoenerji/01-biyogaz/bg\\_hammadde.html](http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/biyoenerji/01-biyogaz/bg_hammadde.html), (Ziyaret tarihi: 22 Ekim 2011).
- [12] Tolay M., Hayvansal Atıklardan Biyogaz Üretimi, <http://www.yesilekonomi.com/yayinlar/makale/pdf/Hayvansal-Atıklardan-Biyogaz-Uretimi.pdf>, (Ziyaret tarihi: 10 Eylül 2011).
- [13] Eraslan A., Biyogaz Oluşumunun Biyokimyasal İlkeleri ve Metan Bakterilerinin Beslenme İhtiyaçları, *Uluslararası Biyogaz Semineri*, Ankara, 23-26 Kasım 1981.

- [14] Kaspar H. F., Wuhrmann K., Kinetic Parameters and Relative Turnovers of Some Important Catabolic Reactions in Digesting Sludge, *Applied and Environmental Microbiology*, 1978, **36**, 1-7.
- [15] Verma S., Anaerobic Digestion Of Biodegradable Organics In Municipal Solid Wastes, Master Thesis, Fu Foundation School of Engineering & Applied Science, Columbia University, Columbia, 2002.
- [16] Jeris J. S., McCarty P., Biochemistry of methane fermentation using C14 tracers, *Seventeenth Industrial Waste Conference*, West Lafayette, USA, 1-3 May 1962.
- [17] Pound B., Preston D., Biogas Production From Mixtures Of Cattle Slurry And Pressed Sugar Cane Stalk, With And Without Urea, *Trop Anim Prod*, 1981, **6**, 11-21.
- [18] İlkılıç C., Deviren H., Biyogazın Oluşumunu Etkileyen Fiziksel Ve Kimyasal Parametreler, *6<sup>th</sup> International Advanced Technologies Symposium*, Elazığ, Türkiye, 16-18 Mayıs 2011.
- [19] Şerit G., Yiğit K. S., Gündüz M., Şengün R. B., Toraman Ö., İki Fazlı Biyogaz Üretim Tesislerinde Gaz Üretimine Etki Eden Parametreler, *3. Enerji Verimliliği Ve Kalitesi Sempozyumu*, Kocaeli, Türkiye, 12-13 Mayıs 2009.
- [20] Öztürk İ., *Hayvan Gübresinden Biogaz Üretimi*, Çevre ve Orman Bakanlığı Yayınları, Ankara, 2005.
- [21] Seadi T. A., Rutz D., Prassl H., Köttner M., Finsterwalder T., Volk S., Janssen R., *Biogas Handbook*, University of Southern Denmark Esbjerg, Funen, 2008.
- [22] Hullu J., Maassen J. I. W., Meel P. A., Shazad S., Vaessen J. M. P., *Comparing different biogas upgrading techniques*, Eindhoven University of Technology, Eindhoven, 2008.
- [23] Yıldız O., *Biyogaz Teknolojisi*, Akdeniz Üniversitesi Basımevi, Antalya, 2004.
- [24] Schlicht A. C., *The Gaslifter*, Walker Process Equipment, Aurora, 2001.
- [25] Karim K., Hoffman R., Klasson K. T., Al-Dahhan M. H., Anaerobic digestion of animal waste: Effect of mode of mixing, *Water Research*, 2005, **36**, 3597-3606.
- [26] Karim K., Klasson K. T., Hoffmann R., Drescher S. R., Depaoli W. D., Al-Dahhan M. H., Anaerobic digestion of animal waste: Effect of mixing, *Bioresource Technology*, 2005, **96**, 1607-1612.
- [27] Karim K., Hoffmann R., Klasson K. T., Al-Dahhan M. H., Anaerobic digestion of animal waste: Waste strength versus impact of mixing, *Bioresource Technology*, 2005, **96**, 1771-1781.

- [28] Kaparaju P., Buendia I., Ellegaard L., Angelidakia I., Effects of mixing on methane production during thermophilic anaerobic digestion of manure: Lab-scale and pilot-scale studies, *Bioresource Technology*, 2008, **99**, 4919-4928.
- [29] Buğutekin A., Yılmaz M., Binark A. K., Atık karıştırıcı geometrisinin biyogaz üretimine etkisi, 7. *Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, İstanbul, Türkiye, 17-19 Aralık 2008.
- [30] Stafford D. A., The effects of mixing and volatile fatty acid concentrations on anaerobic digester performance, *Biomass*, 1982, **2**, 43-55.
- [31] Rico C., Rico L. J., Munoz N., Gomez B., Tejero I., Effect of mixing on biogas production during mesophilic anaerobic digestion of screened dairy manure in a pilot plant, *Eng. Life Sci.*, 2011, **5**, 476-481.
- [32] Standard Methods for the examination of water and wastewater, 21st Edition, APHA, AWWA, WEF 4500- H<sup>+</sup> B., 2005.
- [33] Standard Methods for the examination of water and wastewater, 21st Edition, APHA, AWWA, WEF 2540 G, 2005.
- [34] [http://www.ve-gmbh.de/\\_cms/images/stories/vegmbh\\_documents/FOS-TAC-DeductionMethodsApplicationSignificance-E-Voss.pdf](http://www.ve-gmbh.de/_cms/images/stories/vegmbh_documents/FOS-TAC-DeductionMethodsApplicationSignificance-E-Voss.pdf), (Ziyaret tarihi: 15 Aralık 2011).
- [35] [www.enda.com.tr/TR/Downloads/Default.aspx](http://www.enda.com.tr/TR/Downloads/Default.aspx), (Ziyaret tarihi: 3 Ekim 2011).
- [36] Buswell A. M., Mueller H. F., Mechanism of methane fermentation, *Industrial and Engineering Chemistry*, 1952, **44**, 550-552.
- [37] Dennis A., Burke P. E., *Dairy Waste Anaerobic Digestion Handbook*, Environmental Energy Company, Olympia , 2001.

## **ÖZGEÇMİŞ**

1987 yılında İstanbul'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini İstanbul'da tamamladı. 2005 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden 2009 yılında Makine Mühendisi olarak mezun oldu. 2009 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine halen devam etmektedir.