

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

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**HAYVANSAL ATIKLARDAN BİYOGAZ ÜRETİMİ ÜZERİNE ÇEŞİTLİ  
BOR BİLEŞİKLERİNİN ETKİNLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Şinasi ASLANLI**

**BİYOLOJİ ANABİLİM DALI**

**ŞANLIURFA  
2009**



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

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**HAYVANSAL ATIKLARDAN BİYOGAZ ÜRETİMİ ÜZERİNE ÇEŞİTLİ  
BOR BİLEŞİKLERİNİN ETKİNLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Şinasi ASLANLI**

**BİYOLOJİ ANABİLİM DALI**

**ŞANLIURFA  
2009**

Yrd. Doç. Dr. Faruk SÜZERGÖZ' ün danışmanlığında, Sinasi ASLANLI' nın hazırladığı “Hayvansal atıklardan biyogaz üretimi üzerine çeşitli bor bileşiklerinin etkinliğinin araştırılması” konulu bu çalışma 22/06/2009 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Biyoloji Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Faruk SÜZERGÖZ

Üye: Yrd. Doç. Dr. Mustafa ÖZDEMİR

Üye: Yrd. Doç. Dr. Bülent ARMAĞAN

**Bu Tezin Biyoloji Anabilim Dalında Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylarım.**

**Prof. Dr. İbrahim BOLAT**  
Enstitü Müdürü

**Bu Çalışma HÜBAK Tarafından Desteklenmiştir.**  
**Proje No: 849**

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

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZ.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	v
SİMGELER.....	vi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Biyogazın Tarihçesi.....	2
1.2. Biyogazın Tanımı.....	4
1.3. Biyogazın Özellikleri.....	4
1.4. Biyogaz Üretiminde Kullanılabilen Materyaller.....	6
1.4.1. Hayvansal atıklar.....	6
1.4.2. Bitkisel atıklar.....	6
1.4.3. Kentsel ve endüstriyel atıklar.....	6
1.5. Biyogazın Anaerobik Sindirimle Meydana Gelişi.....	7
1.5.1. Hidroliz.....	9
1.5.2. Asidojenez.....	10
1.5.3. Asetojenez.....	10
1.5.4. Metanojenezis.....	11
1.5.5. Organik maddelerden anaerobik fermantasyon gerçekleştiren mikroorganizma grupları	12
1.5.6. Anaerobik mikroorganizmalar arasındaki karşılıklı ilişkiler.....	14
1.5.7. Anaerobik parçalanma basamakları arasındaki denge.....	14
1.6. Anaerobik Sindirimi Etkileyen Faktörler.....	15
1.6.1. Sıcaklık.....	15
1.6.2. PH.....	15
1.6.3. C/N oranı.....	16
1.6.4. Karıştırma.....	18
1.6.5. Atık yükleme hızı.....	19
1.6.6. Toksik içeriklerin etkisi.....	19
1.6.7. Alıkoyma süresi.....	21
1.7 Organik Atıkların Anaerobik Fermantasyonun Avantaj ve Dezavantajları.....	21
1.8 Biyogaz Üretim Sistemleri.....	22
1.8.1. Fermantasyon ısısına göre reaktör türleri.....	22
1.8.2. Organik atık beslemesine göre reaktörler.....	23
1.8.3. Biyogaz Üretim Reaktörünün Yapısı.....	24
1.9. Biyogazın Değerlendirilmesi.....	27
1.9.1. Biyogazın ısıtmada kullanımı.....	28
1.9.2. Biyogazın aydınlatmada kullanımı.....	28
1.9.3. Biyogazın motorlarda kullanımı.....	29
1.10. Dünyada ve Türkiye’de Biyogaz Üretimi.....	29
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	31
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	39
3.1. Materyal.....	39
3.1.1. Biyogaz üretiminin yapılacağı reaktörlerin hazırlanması.....	39
3.1.2. Biyogaz reaktörlerine eklenecek bor bileşiklerinin doz ayarlamaları.....	40
3.1.3. Biyogaz üretiminde kullanılan katı hayvansal atıkların temini.....	41
3.2. Yöntem.....	42
3.2.1. Biyogaz üretiminde kullanılan katı hayvansal atıkların hazırlanması.....	42
3.2.2. Hayvan gübrelerinin biyogaz üretim reaktörlerine yerleştirilmesi.....	42
3.2.3. Reaktörlerde üretilen biyogazın depolanması.....	43
3.2.4. Toplanan biyogazın ölçümü ve metan oranının belirlenmesi.....	43
3.2.5. 37 °C’ de en yüksek biyogaz verimi elde edilen bor bileşiği konsantrasyonlarının 25 ve 50 °C’ de inkübe edilen biyogaz reaktörlerinde test edilmesi.....	44
3.2.6. İstatistiksel değerlendirmeler.....	44

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	45
4.1. 37 °C' de Yapılan Denemelerden Elde Edilen Biyogaz Üretim Sonuçları.....	45
4.1.1. ATT' nin biyogaz verimi ve üretilen biyogazdaki metan oranına etkisi.....	46
4.1.2. Boraksın biyogaz verimi ve üretilen biyogazdaki metan oranına etkisi.....	48
4.1.3. Borik asidin biyogaz verimi ve üretilen biyogazdaki metan oranına etkisi.....	50
4.1.4. LTT' nin biyogaz verimi ve üretilen biyogazdaki metan oranına etkisi.....	52
4.1.5. PTT' nin biyogaz verimi ve üretilen biyogazdaki metan oranına etkisi.....	54
4.2. Bor Bileşiklerinin 37 °C' de Biyogaz Verimi ve Üretilen Biyogazdaki Metan.....	56
4.3. 37 °C' de Optimum Biyogaz Üretiminin Gerçekleştiği Bor Bileşiği Konsantrasyonlarıyla 25 °C' de Biyogaz Üretim Denemeleri.....	57
4.4. 37 °C' de Optimum Biyogaz Üretiminin Gerçekleştiği Bor Bileşiği Konsantrasyonlarıyla 50 °C' de Biyogaz Üretim Denemeleri.....	59
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	61
5.1. Sonuçlar.....	61
5.2. Öneriler.....	63
KAYNAKLAR.....	65
ÖZGEÇMİŞ.....	71
ÖZET.....	72
SUMMARY.....	73

## ÖZ

Yüksek Lisans Tezi

### HAYVANSAL ATIKLARDAN BİYOGAZ ÜRETİMİ ÜZERİNE ÇEŞİTLİ BOR BİLEŞİKLERİNİN ETKİNLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Şinasi ASLANLI

Harran Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Biyoloji Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Faruk SÜZERGÖZ  
Yıl: 2009, Sayfa: 73

Bu çalışmada, laboratuvar ölçeğinde biyogaz reaktörleri kullanılarak bor bileşiklerinin hayvansal atıklardan biyogaz üretimi üzerine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda geliştirilen reaktörlere bor bileşikleri değişik doz ve değişik sıcaklıklarda eklenmiştir. Ayrıca sığır gübresi 1:1 g/ml oranında musluk suyu ile seyreltikten sonra biyogaz üretimi için 35 gün boyunca anaerobik şartlarda 25, 37 ve 50 °C sıcaklıklarda inkübasyona tabii tutulmuştur. Reaktörlere amonyum tetra borat, boraks, borik asit, lityum tetra borat ve potasyum tetra borat değişik dozlarda eklenmiştir. Etkin biyogaz üretimi 25 °C inkübasyonda maksimum düzeyde amonyum tetra borat (0.50 g/L) eklenen reaktörde ve 37 °C' de ise boraks (0.86 g/L), eklenen reaktörde gözlenirken, 50 °C' deki inkübasyonda hiçbir bor bileşiğinin biyogaz üretimi üzerine etkili olmadığı saptanmıştır.

**ANAHTAR KELİMELEER:** Biyogaz, hayvansal atık, bor bileşikleri.

## **ABSTRACT**

**MSc Thesis**

### **INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF SOME BORON COMPOUNDS ON BIOGAS PRODUCTION FROM ANIMAL WASTE**

**Şinasi ASLANLI**

**Harran University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Biology**

**Supervisor: Assist. Prof. Dr. Faruk SÜZERGÖZ  
Year: 2009, Page: 73**

In this study, we aimed to determine the effects of boron compounds on biogas production from animal waste using lab-scale biogas reactors. In this scope, boron compounds were added to the emerging reactors in different doses under various temperatures. Additionally the cattle dung diluted in 1:1 w/v with tap water then incubated under anaerobic condition at 25, 37 and 50 °C temperatures for 35 days. Ammonium tetra borate, borax, boric acid, lithium tetra borate and potassium tetra borate were added in different doses to the reactors. Effective biogas production were observed at maximum level at the reactors adding ammonium tetra borate (0.50 g/L) at 25 °C and borax (0.86 g/L) at 37 °C incubations while none of boron compound were found effective on biogas production at 50 °C incubations.

**ANAHTAR KELİMELER:** Biogas, animal waste, boron compounds.



## TEŞEKKÜR

Tez çalıŐmalarımda ve tezimin hazırlanmasında emeği geçen başta danıŐmanım Yrd. Doç. Dr. Faruk SÜZERGÖZ' e, bilimsel veri ve kaynak temininde yardımını esirgemeyen Harran Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölüm Başkanı, Doç. Dr. Sinan UYANIK ve Bölüm Öğretim Üyesi Yrd. Doç. Dr. Erhan ŐAHİNKAYA' ya, Tez çalıŐmam öncesinde ve tez çalıŐmam esnasında gösterdikleri yakın ilgi, destek ve yardımlarından dolayı Harran Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü Öğretim Üyeleri Prof. Dr. Ömer ŐAHİN, Yrd. Doç. Dr. Halil DEMİR ve Mustafa ÖZDEMİR ile Araştırma Görevlileri Sait İZĐİ ve Özkan DURMUŐ' a, Yüksek lisans öğrenimim boyunca yakın ilgi ve desteklerinden dolayı Sibel ÇİÇEK, Harun BARAN, Cenk YILMAZ ve Aydın KUTLUCAN' a teŐekkürlerimi sunarım.

Şinasi ASLANLI

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 1.1. Anaerobik sindirimde temel parçalanma yolları.....	9
Şekil 1.2. Biyogaz üretim rektörlerinin temel yapı elemanları.....	25
Şekil 3.1. Biyogaz üretim reaktörü ve gaz toplama kabınınin şematik görünümü.....	40
Şekil 3.2. Biyogaz reaktörlerinin inkübatöre yerleştirilmesi.....	42
Şekil 3.3. Biyogazın kontrollü bir şekilde yakılarak biyogaz varlığının tespiti.....	43
Şekil 4.1. Sığır gübresinin 125 g miktarında ATT nin değişik dozlarıyla 37 °C' de inkübasyonu sonucu üretilen biyogaz miktarının kümülatif olarak gösterimi.....	47
Şekil 4.2. Değişen ATT dozlarında üretilen biyogazların metan içerikleri % olarak ifade edilmektedir.....	47
Şekil 4.3. Sığır gübresinin 125 g miktarında Boraks'ın değişik dozlarıyla 37 °C' de inkübasyonu sonucu üretilen biyogaz miktarının kümülatif olarak gösterimi.....	49
Şekil 4.4. Değişen boraks dozlarında üretilen biyogazların metan içerikleri % olarak ifade edilmektedir.....	49
Şekil 4.5. Sığır gübresinin 125 g miktarında Borik asidin değişik dozlarıyla 37 °C' de inkübasyonu sonucu üretilen biyogaz miktarının kümülatif olarak gösterimi.....	51
Şekil 4.6. Değişen borik asit dozlarında üretilen biyogazların metan içerikleri % olarak ifade edilmektedir.....	51
Şekil 4.7. Sığır gübresinin 125 g miktarında LTT nin değişik dozlarıyla 37 °C' de inkübasyonu sonucu üretilen biyogaz miktarının kümülatif olarak gösterimi.....	53
Şekil 4.8. Değişen LTT dozlarında üretilen biyogazların metan içerikleri % olarak ifade edilmektedir.....	53
Şekil 4.9. Sığır gübresinin 125 g miktarında PTT' nin değişik dozlarıyla 37 °C' de inkübasyonu sonucu üretilen biyogaz miktarının kümülatif olarak gösterimi.....	55
Şekil 4.10. Değişen PTT dozlarında üretilen biyogazların metan içerikleri % olarak ifade edilmektedir.....	55
Şekil 4.11. Sığır gübresinin 125 g miktarında bor bileşiklerinin 37 °C' de inkübasyonundan elde edilen optimum dozlarıyla 25 °C' de gerçekleştirilen inkübasyonlar sonucu üretilen biyogaz miktarlarının kümülatif olarak gösterimi.....	58
Şekil 4.12. Bor bileşiklerinin değişen dozlarında 25 °C' de üretilen biyogazların metan içerikleri % olarak ifade edilmektedir.....	58
Şekil 4.13. Sığır gübresinin 125 g miktarında bor bileşiklerinin 37 °C' de inkübasyonundan elde edilen optimum dozlarıyla 50 °C' de gerçekleştirilen inkübasyonlar sonucu üretilen biyogaz miktarlarının kümülatif olarak gösterimi.....	60
Şekil 4.14. Bor bileşiklerinin değişen dozlarında 50 °C' de üretilen biyogazların metan içerikleri % olarak ifade edilmektedir.....	60

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa No

Çizelge 1.1.	Biyogaz bileşimi.....	4
Çizelge 1.2.	Doğalgaz ve biyogazın özelliklerinin karşılaştırılması.....	5
Çizelge 1.3.	Çeşitli kaynaklardan elde edilebilecek biyogaz verimleri ve biyogazdaki metan miktarları.....	7
Çizelge 1.4.	Anaerobik parçalanmada polimerik bileşiklerden metan gazı oluşumuna kadar gerçekleşen dönüşümler.....	8
Çizelge 1.5.	Metan oluşum sürecinde meydana gelen tepkimelerin zincirinin kimyasal formüllerle ifade edilmesi.....	8
Çizelge 1.6.	Anaerobik işlemlerde görev yapan temel bakterilerin dönüştürdükleri maddelere göre gruplandırılması.....	13
Çizelge 1.7.	Hayvan gübrelere C/N oranları.....	17
Çizelge 1.8.	Evsel ve tarımsal atıklara ait C/N.....	18
Çizelge 1.9.	Anaerobik sindirimde çeşitli maddelerin engelleme seviyeleri.....	20
Çizelge 1.10.	Anaerobik fermantasyonun avantajları.....	21
Çizelge 1.11.	Anaerobik fermantasyonun dezavantajları.....	22
Çizelge 2.1.	Giren materyalin bazı özellikleri.....	32
Çizelge 3.1.	Biyogaz üretim reaktörlerine eklenen bor bileşiklerinden her birinin 4 değişik konsantrasyonu.....	41
Çizelge 4.1.	Sığır gübresinin 37 °C' de biyogaz reaktörlerinde ATT' nin değişen dozlarıyla 35 günlük inkübasyonu sonucu biyogaz üretim miktarları ve metan oranları.....	46
Çizelge 4.2.	Sığır gübresinin 37 °C' de biyogaz reaktörlerinde Boraks'ın değişen dozlarıyla 35 günlük inkübasyonu sonucu biyogaz üretim miktarları ve metan oranları.....	48
Çizelge 4.3.	Sığır gübresinin 37 °C' de biyogaz reaktörlerinde Borik asidin değişen dozlarıyla 35 günlük inkübasyonu sonucu biyogaz üretim miktarları ve metan oranları.....	50
Çizelge 4.4.	Sığır gübresinin 37 °C' de biyogaz reaktörlerinde LTT' nin değişen dozlarıyla 35 günlük inkübasyonu sonucu biyogaz üretim miktarları ve metan oranları.....	52
Çizelge 4.5.	Sığır gübresinin 37 °C' de biyogaz reaktörlerinde PTT' nin değişen dozlarıyla 35 günlük inkübasyonu sonucu biyogaz üretim miktarları ve metan oranları.....	54
Çizelge 4.6.	37 °C' de inkübe edilen biyogaz reaktörlerinde optimum biyogaz üretiminin sağlandığı reaktörlere eklenmiş olan bor bileşiği dozları ve üretilen biyogazın metan oranları.....	56
Çizelge 4.7.	Sığır gübresinin 25 °C' de biyogaz reaktörlerinde çeşitli bor bileşiklerin eklenmesiyle 35 günlük inkübasyon sonucu biyogaz üretim miktarları ve metan oranları.....	57
Çizelge 4.8.	Sığır gübresinin 50 °C' de biyogaz reaktörlerinde çeşitli bor bileşiklerinin eklenmesiyle 35 günlük inkübasyon sonucu biyogaz üretim miktarları ve metan oranları.....	59

## SİMGELER DİZİNİ

Atm	Atmosfer Basıncı
ATT	Amonyum Tetraborat Tetrahidrat
°C	Santigrat Derece
CH <sub>4</sub>	Metan
C/N	Karbon Azot Oranı
COD	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
Ha	Hektar
HBS	Hidrolik Bekleme Süresi
kcal	Kilo Kalori
kJ	Kilojul
KOI	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
kWh	kilowattsaat
L	Litre
LTT	Lityum Tetraborat Tetrahidrat
mg	Miligram
mL	Mililitre
MWh	Megawattsaat
OKM	Organik Katı Madde
OYM	Organik Yükleme Hızı
PTT	Potastum Tetraborat Tetrahidrat
TK	Toplam Katı
TWh	Terawattsaat
UK	Uçucu Katı
UKM	Uçucu Katı Madde
UM	Uçucu Madde
VS	Uçucu Madde

## **1. GİRİŞ**

Fosil kökenli enerji kaynaklarının (petrol, kömür, doğalgaz vb.) sınırlı ve tükenebilir olması, yenilenebilir enerji kaynaklarının (rüzgâr, güneş, hidrolik, jeotermal vb.) kurulum maliyetlerinin yüksek olması biokütlelerden enerji üretimine ilgiyi arttırmıştır. Biokütle kavramı oldukça geniş olmasına karşın enerji üretiminde kullanımı açısından bakıldığında organik kökenli her türlü atık maddeyi kapsamaktadır.

Biyogaz; bitkisel, hayvansal, endüstriyel ve evsel atıkların havasız ortamda mikrobiyal aktiviteler sonucu oluşan, çoğunluğunu metan ve karbondioksitin oluşturduğu bir gazdır. Atıkların anaerobik sindirimi sonucunda elde edilen biyogaz diğer enerji türlerine göre temiz, ısı değeri yüksek bir enerji kaynağıdır ve biyogaz üretiminden sonra geriye kalan atıklar tarımda kullanılacak yüksek kaliteli gübre haline dönüşmektedir. Dünyada özellikle kırsal kesimlerde yoğun talep gören biyogaz üretimi ile tarımsal atıklar ve hayvan gübrelerinin değerlendirilmesi ve atıkların bu şekilde kontrol altına alınması temiz ve sağlıklı bir çevre için önem taşımaktadır.

Ülkemiz tarımsal atıklar ve hayvan gübreleri açısından çok büyük bir potansiyele sahip olmakla birlikte bu atıklardan gereği gibi yararlanılamamaktadır. Bu organik kökenli atıklar ya doğrudan doğruya yakılmakta ya da çevreye rastgele saçılmaktadır. Az bir kısmı ise doğrudan tarımsal alanlarda gübre olarak kullanılmakta ve içerdiği enfeksiyon etkenleri ile insan ve hayvan sağlığını tehdit etmektedir. Ülkemizin mevcut biyoatık potansiyelini değerlendirmek ve özellikle kırsal kesimlerde meydana gelen hayvansal gübrelerin biyogaz üretiminde kullanılmasını yaygınlaştırmak ve bu tür atıkları çevre sağlığı açısından denetim altına almak zorunluluk arz etmektedir. Organik atıkların biyogaz üretiminde değerlendirilmesiyle enerji sağlanmasının yanında, içeriğin enfeksiyon etkenlerinden temizlenmesi ve organik tarım aktiviteleri için gereken biyogübre eldesi mümkün olmaktadır.

Çalışmamızda hayvansal atıklardan biyogaz üretiminde mikrobiyal aktiviteler üzerine etkili olduğu bilinen bor bileşiklerinin değişen dozlarda ve mezofilik termofilik ve sakrofilik inkübasyon şartlarında biyogaz verimi üzerindeki etkinliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

### 1.1 Biyogazın Tarihçesi

Biyogaz kullanımının tarihçesi Asurlular' a kadar uzanmaktadır. Asurlular ve daha sonra İranlıların banyo amaçlı sıcak su hazırlamada biyogaz kullandıkları çeşitli kaynaklarda belirtilmektedir (Lusk, 1998). Özellikle gazlar üzerine çalışmaları ile tanınan Jan Baptista Van Helmont, 17. yüzyılda, organik maddelerin bozunumu ile yanıcı gazların elde edilebildiğini belirtmiştir. İtalyan fizikçi Alessandro Volta (1776) ilk defa bataklıklarda görülen kabarcıkları yakarak bu gaza bataklık gazı adını vermiş ve organik maddelerin bozunma miktarlarıyla elde edilen yanıcı gaz arasında pozitif bir korelasyon olduğunu belirtmiştir. Sir Humphry Davy, 1808' de sığır gübresinin anaerobik fermantasyonu ile oluşan gazların içerisinde metan gazı varlığını ortaya koymuştur (Lusk, 1997). Avagadro 1821' de metanı (CH<sub>4</sub>) tanımlamış ve 1884' te Pasteur ve öğrencisi Gavon hayvansal atıklardan biyogaz üretimi üzerine yaptığı çalışmada 1 m<sup>3</sup> hayvan gübresinden 35 °C' de 100 Litre biyogaz üretmeyi başarmışlardır (Deublein ve Steinhauer, 2008).

İlk biyogaz tesisi, Hindistan' ın Bombay kentinde 1859 yılında kurulmuştur. Biyogazın sokak lambalarında kullanımı 1895 yılında İngiltere' nin Exter şehrinde gerçekleştirilmiştir. 1906' da Almanya' da lağım suları ilk defa biyogaz üretiminde kullanılmıştır. 1930' lu yıllarda Buswell ve ark. Anaerobik bakterileri tanımlayarak, metan üretimi için gereken koşulları ortaya koymuşlardır (Lusk, 1997). İkinci dünya savaşından sonra duraksama gösteren biyogaz araştırmaları 1974' te yaşanan petrol krizinden sonra yeniden önem kazanmıştır.

Anaerobik sindirim ile ilgili bilgilerin artması biyogaz üretiminde daha karmaşık ekipman ve işleme tekniklerinin ortaya çıkmasına ve sonuç olarak anaerobik sindirimin optimizasyonu için kapalı tank, ısı ve karıştırma sistemleri

kullanılmasına kaynaklık etmiştir. Devam eden teknik gelişmelere paralel olarak daha büyük boyutlarda biyogaz üretim tesislerinin yapımına gidilmiştir.

Son zamanlarda Avrupa ülkeleri yüksek enerji fiyatlarının yanı sıra artan sıkı çevresel önlemlerle birlikte organik atıkların biyogaz üretiminde kullanımına yönelmişlerdir. Biyogaz tesislerinin kentsel, tarımsal ve endüstriyel atıkların yaygın bir şekilde kullanımını gösteren olumlu kayıtlar artmaktadır. Avrupa’ da bazı tesisler yaklaşık 20 yılı aşkın bir süredir faaliyet göstermektedir. Çiftlik ölçeğindeki biyogaz tesislerinin yanında Avrupa’ da yüksek kapasitede merkezi biyogaz tesisleri devreye konulmuştur (Monnet, 2003).

Türkiye’ de biyogaz konusunda çalışmalar 1960’ lı yıllarda yoğunlaşarak uygulamaya dönük ilk düzenli çalışma 1963 yılında Eskişehir Toprak Su Araştırma Enstitüsü’ nde başlatılan “Memleketimiz Koşullarına Uygun Olabilecek Gübre Gazı Üretim Tesislerinin Saptanması ve Gübre Gazı ile Çalışabilecek Araçların Yapımı” adlı projeye gerçekleştirilmiştir. Bunun dışında 7 adet biyogaz tesisi daha kurulmuştur. Çalışmalar 1969 yılına kadar sürmüştür. Bunların bir kısmından iyi sonuç alınmasına karşın, çalışmaları yönlendirecek ve yürütecek kurumun olmaması, teknik eleman eksikliği ve çiftçilerin yeteri kadar eğitilmemeleri gibi sebeplerden tesislerin bir kısmı yarım bırakılmış ya da bir müddet kullanıldıktan sonra istenilen verim alınamadığı gerekçesiyle terk edilmiştir.

1980’ de Türkiye Cumhuriyeti Hükümeti ile UNICEF arasında bir anlaşma imzalanmıştır. Bu anlaşmaya göre, ortak bir biyogaz projesi hazırlanmış ve bazı devlet üretme çiftliklerinde uygulanmıştır (Bilgin, 2003; Buğutekin ve ark., 2004). Ancak 1988’ den sonra çalışmalar, büyük ölçüde duraksama dönemine girmiştir. Biyogaz konusundaki bu dalgalı gelişmeler sonucunda 2000’ li yıllardan itibaren üniversitelerimizde gerçekleştirilen akademik çalışmalara rastlanmaktadır (Eryaşar, 2007; Buğutekin ve ark., 2004).

Son zamanlarda İstanbul Büyükşehir Belediyesi, kendi alanında Avrupa’nın ve ortadoğu’nun en büyük çöp gazından elektrik enerjisi üretim tesisini kurmuştur. Bu tesisle 112 bin konutun 1 yıllık enerji ihtiyacının karşılanacağı amaçlanmaktadır.

## 1.2. Biyogazın Tanımı

Biyogaz; bitkisel ve hayvansal atıklar gibi organik atıkların oksijensiz ortamlarda fermantasyonu sonucu oluşan ve bileşiminde % 60-70 metan, % 40-30 karbondioksit ve az miktarda hidrojen sülfür, hidrojen, karbon monoksit ve azot içeren renksiz ve yanıcı bir gaz karışımıdır. Genel olarak biyogazın bileşimi Çizelge 1.1' de görülmektedir (Çetinkaya ve Karaosmanoğlu, 2004).

Çizelge 1.1. Biyogaz Bileşimi

Bileşenler	Hacim (%)
CH <sub>4</sub> : Metan	40–80
CO <sub>2</sub> : Karbon Dioksit	20–50
H <sub>2</sub> S: Hidrojen Sülfür	0.0005–0.0002
NH <sub>3</sub> : Amonyak	0.0005–0.0001
N <sub>2</sub> : Azot	0–3
H <sub>2</sub> : Hidrojen	0–5

Günümüzde biyogaz üretimi için hayvansal, bitkisel, evsel ve endüstriyel atıkların organik özellik taşıyan bileşenlerinden yararlanılmaktadır. Bu atıklardan biyogaz üretimi, atıkların oksijensiz ortamda, belli koşullar altında, farklı mikroorganizma gruplarının varlığında biyogaza dönüşümü ile sağlanmakta; geriye kalan kısım ise verimli bir gübre kaynağı olarak değerlendirilmektedir (Ekinci, 2007; Tuluk, 2007).

## 1.3. Biyogazın Özellikleri

Biyogaz; organik atıkların oksijensiz ortamda fermantasyonu sonucu ortaya çıkan renksiz, kokusuz, havadan hafif, parlak mavi bir alevle yanan, yoğunluğu 1.21 kg/m<sup>3</sup>, oktan sayısı yaklaşık olarak 110, yanma sıcaklığı 700 °C, alev sıcaklığı 870 °C olan bir gaz karışımıdır. Biyogaz ancak -164 °C' de sıvı hale gelebilen ve kolayca bozunmayan sabit bir yapıya sahiptir. Biyogazın içerdiği gazların bileşimi; reaktöre beslenen maddenin özelliklerine, sıcaklığa, hammaddenin su içeriğine, reaktöre yükleme hızına, sistemin işletim şartlarına ve reaktördeki bakteriyel faaliyetlere bağlı olarak değişmekte, bu da biyogazdan elde edilebilecek enerjiyi etkilemektedir.



Biyogazın yakıt değeri karışımındaki metan gazından ileri gelmektedir. En önemli bileşeni olan metan gazının ısı değeri ortalama  $8.900 \text{ kcal/m}^3$  tür. Bileşimindeki metan oranına bağlı olarak biyogazın ısı değeri ise yaklaşık olarak  $4700\text{-}5700 \text{ kcal/m}^3$  arasında değişmektedir. Biyogaz bileşiminde % 50' den daha az metan olması durumunda biyogazdan verimli bir yanma sağlanamamaktadır (Yiğit, 2007). Biyogazın bileşimindeki metan oranına bağlı olarak ısı değeri  $17\text{-}25 \text{ MJ/m}^3$  arasında değişmektedir.

1 m<sup>3</sup> biyogazın etkili ısısı;

- 0.62 litre gazyağı
- 1.46 kg kömür
- 3.47 kg odun
- 0.43 kg bütan gazı
- 12.30 kg tezek

5.70 kWh elektrik 1.18 m<sup>3</sup> havagazının sağladığı ısıya eşittir (Yılmaz ve Atalay, 2004).

1 m<sup>3</sup> biyogaza eşdeğer yakıt miktarları ise şu şekildedir;

- 0.66 litre motorin
- 0.75 litre benzin
- 0.25 m<sup>3</sup> propan

Biyogaz içerisindeki metan bileşiminden dolayı doğalgaz ile benzerlikler gösterir (Çizelge 1.2.). Doğalgaza göre daha düşük enerji içeriğine sahip olmasına rağmen temiz bir gazdır (Çetinkaya ve Karaosmanoğlu, 2004).

Çizelge 1.2. Doğalgaz ve biyogazın özelliklerinin karşılaştırılması

Özellikler	Doğal gaz	Biyogaz
Bileşim, hac. (%)	95–98	55–65
Mol ağırlığı, kg/molkg	16.04	26.18
Yoğunluk, kg/m <sup>3</sup>	0.82	1.21
Isıl değeri, MJ/m <sup>3</sup>	36.14	21.48
Maksimum tutuşma hız, m/sn	0.39	0.25

#### **1.4. Biyogaz Üretiminde Kullanılabilen Materyaller**

Biyogaz üretiminde birçok atık maddenin kullanımı söz konusu olabilmektedir. Bu atıklar öncelikle organik içerikli olmalı ve anaerobik fermantasyon sonucu kolaylıkla metan gazına dönüşümü mümkün olmalıdır. Atıklar tek başına kullanılabileceği gibi uygun oranda karıştırılarak da kullanılabilir. Bu kriterler dikkate alınarak biyogaz üretiminde kullanılabilecek organik atıkları aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz.

##### **1.4.1. Hayvansal atıklar**

Biyogaz üretiminde kullanılan hayvansal atıklar; sığır, at, koyun, tavuk, domuz gibi hayvanların dışkıları, mezbahana atıkları ve hayvansal ürünlerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan atıklardır (Ekinci, 2007).

##### **1.4.2. Bitkisel atıklar**

Enerji bitkileri, algler, kültür bitkilerinin hasat sonrası atıkları; ince kıyılmış sap, saman, anız ve mısır atıkları, şeker pancarı yaprakları ve çimen atıkları gibi bitkilerin işlenmeyen kısımları ile bitkisel ürünlerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan atıklardır. Ayrıca orman atıkları da biyogaz üretiminde kullanılan organik materyaller içinde sayılabilmektedir (Yiğit, 2007; Eryaşar, 2007).

##### **1.4.3. Kentsel ve endüstriyel atıklar**

Kanalizasyon ve dip çamurları, kâğıt, deri, tekstil, şeker ve gıda endüstrisi atıkları biyogaz üretiminde kullanılmaktadır. Özellikle belediyeler ve büyük sanayi tesisleri tarafından bu atıklar biyogaz üretiminde kullanılabilmektedir. Ancak belediyelere ait atık su arıtımında anaerobik fermantasyonun kullanımı diğer uygulamalara göre daha kompleks bir yapıya sahiptir. Çünkü bu atıklar toksik maddeler ve ağır metaller içermektedir. Çeşitli atıklardan elde edilen biyogaz verimleri Çizelge 1.3.' te verilmektedir (Eryaşar, 2007; Çetinkaya ve Karaosmanoğlu, 2004).

Çizelge 1.3. Çeşitli kaynaklardan elde edilebilecek biyogaz verimleri ve biyogazdaki metan miktarları

Kaynak	Biyogaz verimi (litre / kg)	Metan oranı (hacim %' 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 Atıkları	380–460	59
Keten, Kenevir	360	59
Çimen	280–550	70
Sebze Atıkları	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

### 1.5. Biyogazın Anaerobik Sindirimle Meydana Gelişi

Anaerobik sindirim, organik maddelerin oksijen yokluğunda anaerobik mikroorganizmalar tarafından daha küçük bileşenlerine parçalanması esasına dayanan ve bu sırada meydana gelen çok basamaklı biyokimyasal reaksiyonları içeren biyolojik bir süreçtir (Lastella, 2000; İleri, 2000; Verma, 2002). Anaerobik parçalanmada polimerik bileşiklerden biyogaz oluşumuna kadar gerçekleşen dönüşümler Çizelge 1.4.' te verilmektedir (İleri, 2000; Tchobanoglous ve ark., 2003; Juanga, 2005).

Bir anaerobik işlemde karmaşık yapıları organik bileşiklerin tamamen biyogaz dönüşebilmesi için ortamda farklı türden ve birbirine bağımlı mikroorganizma gruplarının bulunması gerekmektedir. Anaerobik parçalanmada her mikroorganizma grubu kendilerinden önceki grupların ürettikleri maddeleri besin maddesi olarak kullanmakta ve ardından bir başka grup bakterilerin besin maddelerine çevirmektedir. Anaerobik parçalanmayla metan gazı meydana gelmektedir. Metan gazı oluşumuna yol açan reaksiyonlar sonucu hidrojen, formik asit, karbon monoksit, metanol, metilamin ve asetattan metan gazı meydana gelmektedir.

Çizelge 1.4. Anaerobik parçalanmada polimerik bileşiklerden metan gazı oluşumuna kadar gerçekleşen dönüşümler

Reaksiyona giren ürünler	Mikroorganizmalar	Reaksiyon sonucu oluşan ürünler
Protein, Yağlar, Nişasta Selüloz	Hidrolizi gerçekleştiren mikroorganizmalar	Aminoasitler, Yağ asitleri, Gliserin Glukoz, Dextroz
Karbonhidratlar, Aminoasitler Yağ asitleri, Alkoller	Asit oluşturan mikroorganizmalar	Valerik asit, Bütirik asit, Propiyonik asit, Laktik asit Etanol
Valerik asit, Bütirik asit Propiyonik asit, Laktik asit Etanol	Asetik asit oluşturan mikroorganizmalar	Asetik asit, CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub>
Asetik asit, Organik asitler Alkoller, CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub>	Metan oluşturan mikroorganizmalar	CH <sub>4</sub> + CO <sub>2</sub> (Biyogaz)

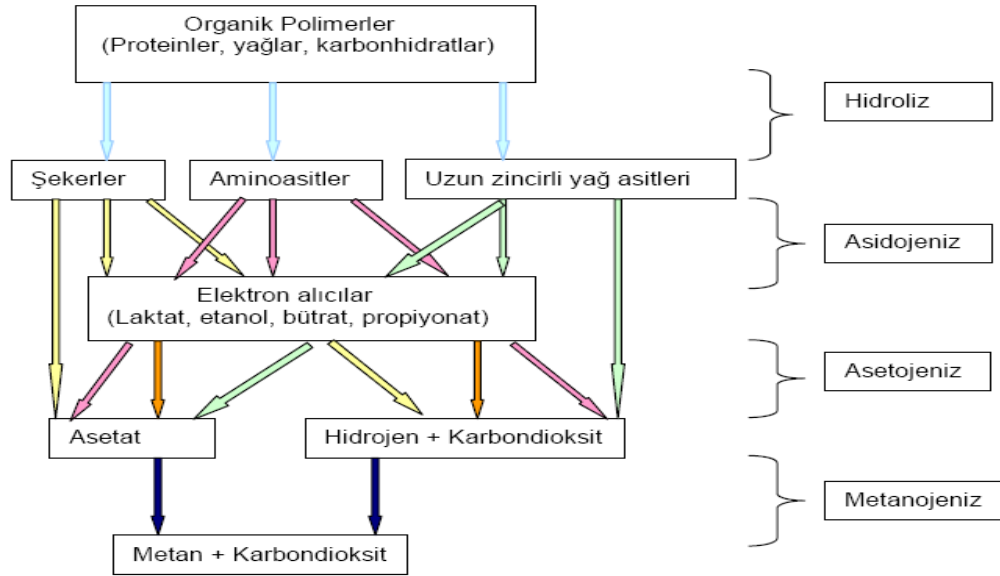
Metan oluşum sürecinde meydana gelen tepkimeler zinciri Çizelge 1.5.' te verilmektedir (Tchobanoglous ve ark., 2003; Juanga, 2005).

Çizelge 1.5. Metan oluşum sürecinde meydana gelen tepkimelerin zincirinin kimyasal formüllerle ifade edilmesi

Metan üretiminde kullanılan ürün	Metan üretiminin gerçekleştiği reaksiyon
Hidrojen:	$4H_2 + CO_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O$ ..... (1.1)
Formik asit:	$4HCOO^- + 4H^+ \rightarrow CH_4 + 2H_2O + 3CO_2$ ..... (1.2)
Karbon monoksit:	$4CO + 2H_2O \rightarrow CH_4 + 3CO_2$ ..... (1.3)
Trimetilamin:	$4(CH_3)_3N + H_2O \rightarrow 9CH_4 + 3CO_2 + 6H_2O + NH_3$ ..... (1.4)
Asetat:	$CH_3COOH \rightarrow CH_4 + CO_2$ ..... (1.5) □
Metanol:	$4CH_3OH \rightarrow 3CH_4 + CO_2 + 2H_2O$ ..... (1.10)
Dimethylamin:	$2(CH_3)_2NH + 2H_2O \rightarrow 3CH_4 + CO_2 + 2NH_3$ ..... (1.11)
Monomethylamin:	$4(CH_3)NH_2 + 2H_2O \rightarrow 3CH_4 + CO_2 + 4NH_3$ ..... (1.12)

Organik bileşiklerin anaerobik sindirimi farklı tipte mikroorganizmalar tarafından sürdürülen kompleks bir prosestir. Bu sindirim hidroliz, asidojenenezis, asetojenenezis ve metanojenenezis olmak üzere dört ana basamaktan meydana

gelmektedir (De Mes ve ark., 2003; Van Haandel ve Lettinga, 1994; Björnsson, 2000; Tchobanoglous ve ark., 2003). Bu basamaklar Şekil 1.1.'de görülmektedir.



Şekil 1.1. Anaerobik sindirimde temel parçalanma yolları

### 1.5.1. Hidroliz

Hidroliz organik partiküllerin çözülebilir oligomer ve monomere parçalandığı ekstra-sellüler bir işlemdir. Fermantatif bakteriler kompleks organik polimerleri direkt olarak hücrelerine absorbe edemedikleri için fermantasyon işlemi öncesi hidrolitik enzimlerle bu moleküller daha küçük alt birimlerine parçalanır. Karbonhidratların daha basit şekerlere indirgenmesi için sellüloz, sellobiyaz, ksilanaz ve amilaz; proteinlerin aminoasitlere indirgenmesi için proteaz; lipidlerin gliserol ve yağ asitlerine dönüşmesi için lipaz enzimleri bakteriler tarafından salınmaktadır (Kaseng ve ark., 1992; Parawira ve ark., 2005).

Hidroliz aşamasında enzim üretimi; difüzyon, absorpsiyon, reaksiyon ve enzim deaktivasyonu kapsayan bazı adımlara gereksinim vardır (Batstone ve ark., 2002). Genelde hidroliz hızı organik materyalin boyutu, şekli, yüzey alanı, biyomas konsantrasyonu, enzim üretimi ve absorpsiyonuna bağlıdır (Chyi ve Dague, 1994; Batstone ve ark., 2000). Ayrıca lignin gibi inert maddeler üzerine enzim absorpsiyon hızı hidroliz verimini düşürebilir (Converse ve Optekar, 1993).

### 1.5.2. Asidojenez

Aminoasitler, şekerler ve yağ asitlerinin; organik asitlere, alkollere, CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>' ye dönüştürülme evresine asidojenezis adı verilmektedir (Van Haandel ve Lettiga, 1994; Björnsson, 2000; Juanga, 2005). Hidroliz aşamasında oluşan çözülmüş bileşikler, asidojen bakterileri tarafından asetat, propiyonat, bütirat ve diğer kısa zincirli organik yağ asitlerine dönüştürülmektedir. Bu aşamada çözülmüş karbonhidratlar etanol, H<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub>' e, aminoasitler, süksinik asit ve H<sub>2</sub>' ye, yağ asitleri ise asetat ve H<sub>2</sub>' ye dönüşmektedir (Speece, 1996; Gökçay ve ark., 2001). Bu reaksiyonların bazıları standart koşullar altında endotermiktir ve asidojenik bakteriler düşük hidrojen kısmi basıncına ihtiyaç gösterirler. Hidrojen üreten asidojenik bakteriler suda mevcut olan oksijenin kullanılmasında ve besleyicide asetik asit üretiminde çok önemli bir rol oynarlar (Kalia, 2007). Burada meydana gelen uçucu yağ asitlerinin kompozisyonu; pH, sıcaklık, hidrolik bekletme süresi, organik yükleme hızı, karbonhidrat, protein ve yağların oranı, nutrientlerin uygunluğu ve kullanılan mikroorganizma tipine bağlı olarak değişmektedir (McCarty ve Smith, 1986; Hwang, 1995; Pind ve ark., 2003; Ahn ve ark., 2004).

### 1.5.3. Asetojenez

Asetojenezis evresinde organik asit ve alkoller, asetojenik bakteriler yardımıyla asetik asit, hidrojen ve karbondioksite dönüştürülmektedir (Van Haandel ve Lettiga, 1994; Björnsson, 2000; Juanga, 2005). Bazı asidojenik bakteri türleri (homoasetik bakteri), karbonhidratları kullanarak asetik asit üretirler. Diğer bir tür de belirli şartlarda H<sub>2</sub> üretir. Asetik asit bakterileri, çoğalmaları için gerekli enerjiyi organik asit ve solventlerin asetik asit, H<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub>' e parçalanması sonucu açığa çıkan enerjiden sağlarlar.

Termodinamik sebeplerle asetik asit bakterileri sadece H<sub>2</sub> kullanan mikroorganizma alt grupları ile birlikte yaşarlar (Öztürk, 1999; Gökçay, 2001). Uzun zincirli yağ (propiyonik, butirik asit vb.) asitlerinden asetat oluşumu termodinamik olarak ancak düşük hidrojen kısmi basıncında mümkün olmaktadır. Metanojenik

bakteriler daha yüksek  $H_2$  kısmi basıncına gereksinim duyarlar ve meydana gelen  $H_2$ ' i metan üretiminde kullanmaktadırlar. Böylece asetojenik bakterilerin ürettiği  $H_2$ , metanojen bakteriler tarafından sürekli kullanılarak  $H_2$  kısmi basıncı dengede tutulur. Bu sebeple asetojenik ve metan üreten bakteriler simbiyotik ilişki içinde yaşamak zorundadır.

Hidrojen kısmi basıncı düşük olduğu zaman asetojenik bakteriler tarafından ağırlıklı olarak  $H_2$ ,  $CO_2$  ve asetat oluşturulur. Ancak hidrojen kısmi basıncı daha yüksek olduğunda ise çoğunlukla bütirik, kapronik, propiyonik, valerik asit ve etanol oluşmaktadır. Metanojen bakteriler bu ürünlerden sadece asetat,  $CO_2$  ve  $H_2$  kullanabilmektedir (Deublein ve Steinhauser, 2008).

Organik maddenin % 76' sı homoasetojenik ve hidrogenojenik bakteriler tarafından indirgenmiş organik ara maddelerin bozunmasıyla metanojenik substrata okside olmaktadır. Bu nedenle asetojenez, metanojenik çevrede organik materyalin mineralizasyonu için anahtar aşamadır (Kalia, 2007).

#### 1.5.4. Metanojenez

Metanojenez aşamasında asetojenezis aşamasında oluşan organik asitler,  $H_2$  ve asetat, metanojen mikroorganizmalar tarafından kullanılmakta ve biyogaza dönüştürülmektedir. Bu aşamada oluşan metanın % 70' i asetatın dekarboksilasyonu, geriye kalanı ise hidrojen kullanan metan bakterileri tarafından  $CO_2$ ' in indirgenme reaksiyonları ile oluşmaktadır (Speece, 1996; Gökçay ve ark., 2001).

Metanojen bakteriler zorunlu anaerob özelliktedirler ve mikro çevreden kaynaklanan faktörlerden ileri gelen inhibisyonlara çok duyarlıdır. Bütün metanojen bakteriler hidrojen ve karbondioksiti temel madde olarak kullanabilirken bazıları da ayrıca asetat ve bir karbonlu bileşikleri metana katabolize edebilirler. Format, metanol, karbon monoksit ve metilaminler gibi diğer olası metanojenik substratların çoğu anaerobik sindirim olaylarında çok öneme sahip değildirler (Kalia, 2007). Karbondioksit ve hidrojenden metan üreten bakteriler, asetat kullanan bakterilerden

daha hızlı çoğalmaktadırlar (Henzen ve Harremoes, 1983). Bundan dolayı anaerobik sindirimde asetotrofik metanojen bakteriler hız sınırlayıcı etki gösterirler. Asit oluşumu metan oluşumuna göre oldukça hızlı bir aşamadır ve özellikle yüksek oranda organik madde içeren anaerobik sindirim sistemlerinde asit birikimi ve dolayısıyla pH' ın düşüşü sindirimin bir sonraki adımı olan metan üretimi aşaması üzerinde olumsuz bir etki meydana getirmektedir. Protein ve aminoasitler gibi yapısında azot bulunduran bileşiklerin ayrışması sonucu amonyum ortaya çıkmaktadır. Amonyumun da anaerobik sindirim sistemlerinde yüksek konsantrasyonlarda (4 000–8 000 mg/L) bulunması metan üretimi üzerinde toksik etki meydana getirebilmektedir (Soubes ve ark., 1994; Speece, 1996).

#### **1.5.5. Organik maddelerden anaerobik fermantasyon gerçekleştiren mikroorganizma grupları**

Bir anaerobik sistemde karmaşık yapıları organik maddelerin tamamen metana dönüşebilmesi için ortamda farklı türden ve birbirine bağımlı mikroorganizma gruplarının bulunması gerekmektedir. Her mikroorganizma grubu kendilerinden önceki grupların ürettikleri maddeleri besin kaynağı olarak kullanmaktadır. Hiçbir mikroorganizma tek başına basit yapıları maddeler dahi olsa bir organik maddeyi metana dönüştürememektedir. Anaerobik prosesin devamlılığı bu mikroorganizmalar arasındaki dengeye bağlıdır.

Anaerobik işlemlerde görev yapan temel bakterilerin gruplandırılması Çizelge 1.6.' de görülmektedir. Anaerobik fermantasyonda rol oynayan bakteriler genel olarak aşağıdaki şekilde gruplandırılabilirler;

- Hidrojen kullanan metan bakterileri,
- Asetat kullanan metan bakterileri,
- Homoasetojen bakteriler,
- Asit üreten bakteriler ve
- Hidrolitik asit bakterileridir.



Çizelge 1.6. Anaerobik işlemlerde görev yapan temel bakterilerin dönüştürdükleri maddelere göre gruplandırılması

Fonksiyon	Bakteri türü
Proteinleri, aminoasit ve şekerlere dönüştüren bakteriler	<i>Clostridium</i> , <i>Proteus vulgaris</i> , <i>Bacteriodes</i> , <i>Peptococcus</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Vibrio</i> ,
Karbonhidratları basit şekerlere dönüştüren bakteriler	<i>Clostridium</i> , <i>Bacteriodes</i> , <i>Staphylococcus</i> , <i>Acetovibrio cellulities</i> ,
Yağları: yağ asitleri, amino asitler ve alkollere dönüştüren bakteriler	<i>Clostridium</i> , <i>Staphylococcus</i> , <i>Micrococcus</i> ,
Amino asit ve şekerleri, yağ asitleri ve alkollere dönüştüren bakteriler	<i>Zymomonas mobilis</i> ,
Amino asitleri doğrudan asetata dönüştüren bakteriler	<i>Lactobacillus</i> , <i>Escherichia</i> , <i>Staphylococcus</i> , <i>Micrococcus</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Pseudomonas</i> , <i>Desulfovibrio</i> , <i>Selenomonas</i> , <i>Sarcina</i> , <i>Sterptococcus</i> , <i>Desulfobacter</i> , <i>Deulfuromonas</i> ,
Amino asitleri ara ürünlere dönüştüren bakteriler	<i>Clostridium</i> , <i>Streptococcus</i> , <i>Eubacterium</i> ,
Yağ asitleri ve alkolleri ara ürünlere dönüştüren bakteriler	<i>Clostridium</i> , <i>Syntrophomonas wolfei</i> ,
Ara ürünleri asetat ve H <sub>2</sub> ' dönüştüren bakteriler	<i>Clostridium aceticum</i> ,
Asetatı metana dönüştüren bakteriler	<i>Methanothrix</i> , <i>Methanosarcina</i> , <i>Methanosprillum</i>
H <sub>2</sub> 'i metana dönüştüren bakteriler	<i>Methanobacterium</i> , <i>Methanobrevibacterium</i> , <i>Methanoplanus</i>

Gruplarda görüldüğü gibi her madde, o maddeyi parçalayabilen mikroorganizmalar tarafından parçalanabilmektedir (Speece, 1996; Gökçay ve ark., 2001 ). Anaerobik sindirim prosesleri içerisinde, birbirleriyle ilişki halinde olan tüm bu mikroorganizmalar arasındaki enerji akımı şematik olarak Şekil 1.1.'de gösterilmektedir. Sistem stabilitesinin amaçlanan şekilde elde edilebilmesi için hidrolitik, asidojen, asetojen ve metanojen bakteriler birbirleriyle dinamik dengede olmaları gereklidir. Bu stabilitenin sağlanabilmesi temel olarak, ortamda oksijenin ve inhibe edici kimyasalların bulunmamasına ve gerekli çevre şartlarının sağlanmasına bağlıdır (Demirer ve ark., 2001).

### 1.5.6. Anaerobik mikroorganizmalar arasındaki karşılıklı ilişkiler

Asetat kullanan metan bakterileri fermantasyon bakterileri ile ortak çalışarak asetik asit derişimini ve pH' yı dengelerler. Asetat kullanan metan bakterilerinin çoğalma hızları fermantasyon bakterilerinin çoğalma hızlarına göre yavaştır. Dolayısı ile organik yükün artması durumunda asit üretimi istenen şekilde gerçekleşebildiği halde, metan üretimi aynı hızla gerçekleşmeyebilir ve bu yüzden reaktörde aşırı miktarda uçucu asit birikimi gerçekleşebilir (Öztürk, 1999).

Anaerobik sindirim sürecinin durumu, biyogaz içeriğindeki hidrojen derişimi izlenerek belirlenebilir. Sisteme ani olarak organik madde verildiğinde, fermantasyon (asit) bakterileri bu şok yüke kısa sürede uyum göstererek asetik asit üretirler. Bu durum pH' ın düşmesine sebep olur ve metan bakterilerinin rol oynadığı reaksiyonların hızını yavaşlatarak ortamda H<sub>2</sub> birikmesine yol açar. Reaktörde H<sub>2</sub> derişiminin artması toplam asit üretim hızının düşmesine yol açar. Bu halde sistemin kararlı hale dönebilmesi için ek zaman gerekir. Aynı zamanda bütirik ve propiyonik asit derişimlerinin de artmasına neden olur. Bu da asetik asit üretimini ve asetat kullanan metan bakterilerinin metan üretmelerini engeller (Öztürk, 1999; Demirer, 2001).

### 1.5.7. Anaerobik parçalanma basamakları arasındaki denge

Anaerobik ortam oluşturulan reaktörlerdeki mikroorganizmalarca kullanılan organik maddeler bakterilerin kendi hücrel sentezleri için karbon ve enerji kaynağıdır. Anaerobik ayrışma süreci sonucu açığa çıkan son ürünler metan ve karbondioksit, çeşitli bakteri gruplarının rol aldığı oldukça karmaşık biyokimyasal tepkime sonucu elde edilirler. Bu yönü ile anaerobik ayrışma sürecindeki bir üst kademe ürünleri bir sonraki basamak için besin maddesi durumundadır ve sistemin başarısı olayda rolü olan mikroorganizma topluluklarının son derece organize ve birlikte çalışmalarına bağlıdır. Asit üretimi basamağında gerekli hızla asit üretilmemesi metan üretim aşamasına hemen yansımakta ve asetat kullanan metan bakterilerinin metan üretimi engellenmektedir (Öztürk, 1999).

## 1.6. Anaerobik Sindirimi Etkileyen Faktörler

### 1.6.1. Sıcaklık

Sıcaklık anaerobik reaktorleri hem kinetik, hem de termodinamik açıdan etkiler. Anaerobik proseslerde, sıcaklık artışı ile biyokütlenin çoğalma hızının artması ve parçalanma reaksiyonlarının daha çabuk olması nedeniyle proses verimi artış göstermektedir (Öztürk, 1987).

Anaerobik sindirimle biyogaz üretiminde sakrofilik (0–25 °C), mezofilik (25–42 °C) ve termofilik (42–75 °C) olmak üzere üç farklı sıcaklık aralığı temel alınmaktadır. Biyogaz üretiminde yüksek verim elde etmek için yüksek sıcaklık ve nispeten daha kısa bir sindirim süresine ihtiyaç duyulmaktadır. Anaerobik sindirimin hidrolitik ve asidojenik fazları sıcaklık değişimlerine çok duyarlı değildir. Diğer taraftan, sıcaklığın asetojenik ve metanojenik mikroorganizmalar üzerinde etkisi önem taşımaktadır (Rajeshwari ve ark., 2000). Anaerobik kültürdeki mikroorganizmalar arasında propiyonati okside eden bakterilerin sıcaklık değişimlerinden en çok etkilendiği belirlenmiştir (Leitao ve ark., 2005). Bu nedenle anaerobik sindirimde aşırı sıcaklık artışının metan üretimini inhibe edebileceği bildirilmektedir (Rajeshwari ve ark., 2000). Ayrıca sıcaklıkta şok bir değişikliğin reaktörde pH'ın düşmesine, metanojenezin inhibasyonuna ve fermantasyon ürünlerinin birikmesine yol açmaktadır (Leitao ve ark., 2005). Metan üretimi için optimum sindirim koşulları çoğunlukla mezofilik ve termofilik sıcaklık aralıklarında sağlanmaktadır. Mezofilik aralık 25 ile 40 °C olmakla birlikte optimum sıcaklığın 30 ile 35 °C arasında olmasına dikkat edilir. Termofilik şartlarda optimum sıcaklık aralığı ise 50–65 °C olarak bildirilmektedir (Uzodinma ve ark., 2007).

### 1.6.2. PH

Her enzimin belli bir optimal pH aralığında aktivite göstermesi nedeniyle mikroorganizmaların enzim aktiviteleri üzerine pH düzeyinin önemli etkileri vardır (Lay ve ark., 1997). Hidroliz, asidojenez ve asetojenez geniş bir pH aralığında

meydana gelirken, metanojenez daha çok nötral pH' da meydana gelmektedir. Metan üretimi pH 6.5-7.5 aralığında daha hızlı iken, yüksek pH değerlerine ulaşıldığında metan üretimi yavaşlamaktadır (De Mes ve ark., 2003). pH' nın 6.8-7.2 aralığında korunması durumunda üretilen biyogazdaki metan oranının maksimum düzeyde gerçekleşeceği bildirilmektedir (Ghaly, 1996).

Biyogaz üretimi esnasında asit üreten bakteriler metan üreten bakterilerden daha hızlı çoğalabileceğinden meydana gelebilecek asit üretimi nedeniyle metan üreten bakterilerin baskılanması söz konusu olabilmektedir. Bu yüzden sistemin pH' sının sürekli kontrol altında tutulması yararlı olacaktır (Karena, 2004; Gülen ve Arslan, 2005).

Normal şartlarda fermantasyon sırasında karışımın pH değerinde asit yöne doğru değişim gözlenmemekte ve pH 7 civarında seyretmektedir. Ancak ani sıcaklık değişimi, fazla besleme veya bazen ortamda bakteriler üzerine toksik etkili maddelerin meydana çıkması sistemin asit dengesini bozulabilmektedir. Eğer asit oranı artmaya başlarsa pH değerinde düşüş ile birlikte metan üretiminde durma gözlenir. Böylece üretilen biyogazın karbondioksit oranında artma ve yanmasında sarımtırak bir alev görüntüsü meydana gelir. Böyle bir durumda dengeyi eski haline döndürebilmek için; ya metan üreten bakterilerin üretilen asidi kullanıp azaltmaları için besleme bir müddet durdurulmalı ya da pH değerinin düşmeye devam etmesi halinde nötralizasyon için alkali maddeler ilave edilir (Gülen ve Arslan, 2005).

### 1.6.3. C/N oranı

Anaerobik sindirimde faaliyet gösteren mikroorganizmalar çoğalmaları için yeterli miktarda besine ihtiyaç duyarlar. Her mikroorganizma türü, karbon ve azot kaynağına ihtiyaç duyar. Organik materyallerde bulunan karbon ve azot miktarı arasındaki ilişki C/N oranı şeklinde simgelenir.

Organik materyaller, saman, çim gibi karbon yönünden zengin; idrar, insan ve tavuk atığı gibi azot yönünden zengin olmak üzere ikiye ayrılabilir.

Organik madde içerisinde karbonun en önemli kaynağı karbonhidratlar, azot kaynağı ise protein, nitrat ve amonyaktır (Eryaşar, 2007).

Karbon biyogaz oluşumu için gerekli olurken, azot anaerobik bakterilerin gelişimi ve yeniden üretilmesi için gereklidir. Mikroorganizmalar karbonu enerji kaynağı olarak kullanırlarken, azotu yeni hücrelerin oluşturulmasında yapı malzemesi olarak kullanırlar. Çizelge 1.7. ve 1.8.' de bazı hayvan gübrelerine, evsel ve tarımsal atıklara ait C/N değerleri verilmiştir (Öztürk, 2005).

Çizelge 1.7. Hayvan gübrelerinin C/N oranları

Hayvan gübreleri	C (%) Kuru	N (%) Kuru	C/N Oranı	Taze gübredeki nem oranı (%)	Su ile seyreltme
Sığır Gübresi	30	1.66	18	80-85	1:1
Koyun Gübresi	83.6	3.80	22	75-80	1:1
Kümes Hav. Güb.	87.5	6.55	14	70-80	1:3
Domuz Güb.	76	3.8	20	75-80	1:2
At Güb.	33.4	2.3	15	80-85	2:3
Kaz	54	2	27	70-80	2:3
Güvercin Güb.	50	2	25	70-80	1:3
İdrar	15	15	1	90-95	
Kan	36	12	3	90-95	
Balık Atığı	56	7	8	55-75	
Kesim hane Atığı	64	8	8	55-75	
Çiftlik Güb.	42	3	14	75-80	

Anaerobik reaktörlerde optimum C/N oranı yaklaşık 20-30 arasında değişmektedir. Yüksek C/N oranı nitrojenin metanojenler tarafından hızlı bir şekilde tüketilmesi nedeniyle genelde düşük gaz üretimi ile sonuçlanmaya neden olmaktadır. Diğer taraftan, daha düşük bir C/N oranı amonyağın birikmesine ve pH değerinin 8.5' i aşmasına, metanojen bakteriler üzerinde toksik etkilere neden olmaktadır.

Reaktördeki materyallerin optimum C/N oranlarını elde etmek için, organik katı atıklar hayvan gübresi gibi materyallerle karıştırılarak uygun hale getirilebilmektedir (Eryaşar, 2007; Öztürk, 2005; Verma, 2002).

Çizelge 1.8. Bazı evsel ve tarımsal atıkların C/N oranları

Evsel ve tarımsal atıkları	C (%) Kuru	N (%) Kuru	C/N Oranı	Taze gübredeki nem oranı (%)	Su ile seyreltme
Patates kabuğu	37.5	1.5	25	50-60	3:7
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	
Yapraklar	55	1.0	55	25-40	
Yer fıstığı kabuğu	40	2.0	20	25-40	
Soya fasulyesi sapı	64	2.0	32	25-40	
Ağaç yaprakları	75	1.5	50	40-60	
Şeker kamışı	45	0.3	150	25-40	
Soya fasulyesi	17.5	3.5	5	10-15	
Pamuk tohumu	12.5	2.5	5	10-15	
Hardal	39.0	1.5	26	10-15	
Şeker kamışı	45	0.3	150	25-40	
Su sümbülü	30.4	1.9	16	85-90	

#### 1.6.4. Karıştırma

Karıştırma ile meydana gelen gazın reaktörden daha kolay toplanması, mikroorganizmaların sisteme yeni eklenen organik materyal ile daha kolay temasa geçmesi, yüzey gerilimini ortadan kaldırarak meydana gelen biyogazın daha kolay tahliyesinin gerçekleşmesi ve çökelmenin önlenmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca karıştırma ile ısının homojen dağılımı sağlanabilmekte ve bakteri dağılımı da aynı şekilde homojenize olmaktadır (Ekinci, 2007).

Aşırı karıştırma ise değişik bakterilerin kendi aralarında oluşturduğu dengeyi bozarak sistemi olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu yüzden karıştırma işleminde aşırılığa kaçmamanın ve karıştırma işlemini belli zaman aralıklarında uygulamanın gerekli olduğu bildirilmektedir. pH değerini azaltarak kararsızlığa neden olacağı ve başlangıç zamanını uzatacağından karıştırma işleminin fermentasyonun başlangıç aşamasında yapılmasının yararlı olmayacağı görüşü yaygındır (Kobyay, 1999; Ekinci, 2007).

### 1.6.5. Atık yükleme hızı

Organik atık yükleme hızı, birim hacim ( $m^3$ ) biyogaz reaktörlerine günlük olarak eklenen organik madde miktarı olarak tarif edilir. Atık yükleme hızı anaerobik parçalanmada diğer kontrol parametreleri gibi önemli bir parametredir (Zaher ve ark., 2007).

Anaerobik fermantasyonda bakteriler organik atık yükleme hızına karşı oldukça hassastırlar. Anaerobik arıtma esnasında mümkünse optimum organik atık yükleme hızı korunmalıdır. Organik atık yükleme hızı yüksek olduğunda biyogaz reaktörü içinde asit birikmesi olur ve pH düşer. pH' ın düşmesi metanojenik bakterilerin faaliyetlerini olumsuz yönde etkiler. Bu da biyogaz üretim hızını düşürür ve hatta durdurur. Yüksek organik yükleme hızında daha fazla bakteriye ihtiyaç duyulmaktadır (Speece, 1996). Benzer şekilde organik besleme hızı düştüğü zaman gaz üretim hızı yine düşmektedir. Reaksiyon hızını etkileyen en önemli faktör; pH, sıcaklık ve çamur yaşı (mikroorganizma bekleme süresi)' dir (Öztürk, 1999). Genellikle biyoreaktörde oluşan hatalar yüksek atık yükleme hızlarında meydana gelmektedir (Vavilin ve ark., 2006).

### 1.6.6. Toksik içeriklerin etkisi

Anaerobik parçalanmada her madde çeşitli konsantrasyonlarda mikroorganizmaların çoğalmalarını engelleyerek toksik etki gösterebilmektedir. Anaerobik proste ağır metaller, oksijen, sülfid, organik asitler mikroorganizmaların çoğalmalarını inhibe eder (Hwu ve ark., 1997; Björnsson, 2000).

Anaerobik parçalanmada; sodyum, potasyum, kalsiyum, magnezyum, amonyum ve kükürt gibi minerallerin az miktarda bulunması bakterilerin çoğalmalarını olumlu yönde etkilerken, fazla miktarda bulduklarında toksik etki yaparlar. Ağır metal zehirlenmesi birçok anaerobik proste problemdir. Çinko, bakır, nikel, krom, kurşun gibi ağır metaller de çok az miktarlarda bulunması

mikrobiyal aktiviteyi arttırırken, yüksek miktarlarda ise toksiktirler (Karim ve ark., 2005; Zaher ve ark., 2007; Elango ve ark., 2007).

Sabun gibi deterjanlar, antibiyotikler, dezenfektanlar, organik çözücüler de bakterilerin metan üretim kapasitelerini düşürürler (Öztürk, 2005). Aşağıdaki tabloda anaerobik parçalanmada çeşitli maddelerin toksik konsantrasyonları Çizelge 1.9.' da verilmektedir.

Çizelge 1.9. Anaerobik Sindirimde Çeşitli Maddelerin Engelleme Seviyeleri

Engelleyiciler	Engelleme seviyesi (mg/lt)
Sülfat ( $\text{SO}_4^{-2}$ )	5.000
Sodyum klorür ve genel tuzlar (NaCl)	40.000
Nitrat (N olarak hesaplanmış)	0.05
Amonyum	>3000
Bakır ( $\text{Cu}^{+2}$ )	100
Krom ( $\text{Cr}^{+3}$ )	200
Nikel ( $\text{Ni}^{+2}$ )	200–500
Sodyum ( $\text{Na}^{+1}$ )	3.500–5.500
Potasyum ( $\text{K}^{+1}$ )	2.500–4.500
Kalsiyum ( $\text{Ca}^{+2}$ )	2.500–4.500
Magnezyum ( $\text{Mg}^{+2}$ )	1.000–1.500
Mangan ( $\text{Mn}^{+2}$ )	1.500 üzeri

Uzun zincirli yağ asitleri, 2 000 mg/L' yi aşması durumunda mezofilik ve termofilik anaerobik parçalanmada toksik etki gösterirler (Hwu ve ark., 1997). Anaerobik parçalanmada metanojenler amonyak ( $\text{NH}_3$ ) ve  $\text{H}_2\text{S}$ ' ye duyarlı organizmalardır. Uçucu yağ asitleri ve  $\text{H}_2\text{S}$ , pH 7' nin altında zehirliyen, amonyak ise pH 7' den yüksek olduğu zaman zehirlidir. Serbest amonyak seviyesi 150 mg/L' de zehirli olabilir (Björnsson, 2000).

### 1.6.7. Alıkoyma süresi

Alıkoyma süresi uçucu organik maddenin anaerobik fermantasyon sürecinde tümüyle bozunmasının gerçekleşmesi için gereken süredir. Alıkoyma süresi, sıcaklık ve organik atık kompozisyonu gibi parametrelere göre değişmektedir.



Alıkoyma süresi mezofilik biyogaz reaktörlerinde işlenmiş atıklar için 15 ile 25 ve termofilik reaktör için 12 ile 14 gün kadardır (Monnet, 2003).

### 1.7. Organik Atıkların Anaerobik Fermantasyonunun Avantaj ve Dezavantajları

Anaerobik fermantasyonla ilgili yapılan çalışmalarda anaerobik prosesin avantajlarının dezavantajlarından daha fazla olduğu görülmüştür. Anaerobik fermantasyonun avantajları Çizelge 1.10.' da görülmektedir. (Speece, 1995; İleri, 2000; Rao ve ark., 2000; Crowe ve ark., 2002; Metcalf & Eddy, 2003; Liao ve ark., 2006; Oerther ve ark., 2006; Angelidaki ve ark., 2006; Jianguo ve ark., 2007).

Çizelge 1.10. Anaerobik fermantasyonun avantajları

- 
1. Biyokütle atığının bertaraf maliyetinin düşük olması.
  2. Teknik olarak basit ve yatırımı düşük reaktörlerde gerçekleştirilebilir.
  3. Anaerobik arıtmanın, aerobik arıtmaya nazaran daha az enerji ihtiyacının olmasının yanı sıra üretilen biyogazın da enerji olarak bir değeri vardır.
  4. Substratın büyük bölümü biyogaza dönüştüğünden, çamur üretimi oldukça düşüktür.
  5. Atık çamurun gübre olarak tarımsal alanlarda kullanımı.
  6. Aerobik olarak giderilemeyen maddelerin giderimi.
  7. Düşük besin elementi gereksinimi.
  8. Çok farklı reaktör kapasitelerinde arıtma verimleri değişmeksizin kullanılabilirler.
  9. Anaerobik reaktörlerdeki mikroorganizmalar, uzun süre karbon kaynağı beslemeden de spor formuna geçişle aktivitelerini koruyabilmektedirler. Bu özellik, mevsimsel çalışan şeker, gıda, konserve gibi endüstriler için anaerobik teknolojiyi cazip kılmaktadır.
  10. Klorlanmış organik toksitlerde azalma.
  11. Küresel ısınmaya sebep olan bazı sera gazlarının (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>) denetim altına alınması.
  12. Çevre ve insan sağlığı açısından risk oluşturan zararlı patojen mikroorganizmaların bertaraf edilmesi
- 

Anaerobik parçalanmanın avantajlarının yanında dezavantajları da göz önünde bulundurulmalıdır. Örneğin düşük işletme sıcaklığı veya sulandırılmış atık sularda anaerobik parçalanma pratik olmayabilir. Anaerobik fermantasyonun dezavantajları Çizelge 1.11.' de görülmektedir (Speece, 1995; İleri, 2000; Crowe ve ark., 2002; Tchobanoglous ve ark., 2003; Park ve ark., 2005; Angelidaki ve ark., 2006).

Çizelge 1.11. Anaerobik fermantasyonun dezavantajları

1. Biyokütleden anaerobik fermantasyonun meydana gelmesi için başlangıçta uzun zaman gerekmesi.
2. Sulandırılmış veya karbonhidratlı atık sulara yetersiz alkalinite üretim potansiyeline sahip olması.
3. Düşük sıcaklıkta düşük kinetik hızlar söz konusu olduğundan ısıtma gereksinimi vardır.
4. Sülfatlı atıklarda H<sub>2</sub>S ve koku problemi.
5. Anaerobik ortamdaki metan fermantasyon bakterileri çok hassas organizmalardır.
6. Yüksek biyokütle aktivitelerinin oluşabilmesi için NH<sub>4</sub> derişimlerinin de 40–70 mg/L gibi yüksek düzeylerde tutulma ihtiyacı.
7. Bazı tür endüstriyel atık sulara reaktör içinde ve boru aksamında ciddi inorganik çökelti ve taşlaşma sorunları.

Anaerobik fermantasyon, biyokütlenin enerjisinin ortaya çıkarılarak kullanıma sunulmasını sağlayan yöntemlerin en pratik olanlarından biridir. Anaerobik fermantasyonla çevre kirliliğine neden olan atıkların arıtımı ile birlikte yenilenebilir enerji olan biyogaz üretimi de gerçekleşmektedir. Ayrıca yaygın olarak kullanılan diğer arıtma yöntemlerine göre daha az enerji ve organik madde gerektirmesi, daha düşük işletme maliyeti, atıkların mevsimsel olarak değerlendirilmesine olanak sağlaması ve üretilen biyogazın enerji eldesinde kullanılması organik atıkların anaerobik fermantasyon işleminde kullanılmasını cazip kılmaktadır. Son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarına ilginin artmasının diğer bir nedeni ise asit yağmurları, küresel ısınma, ozon tabakasındaki incelme gibi yanma ürünleri kaynaklı küresel çevre sorunlarının artmasıdır (Demirer, 2001).

## 1.8. Biyogaz Üretim Sistemleri

### 1.8.1. Fermantasyon ısısına göre reaktör türleri

Biyogaz üretim sürecinde anaerobik fermantasyonun dördüncü aşamasında devreye giren ve metan oluşumunu sağlayan metan bakterileri, fermantasyon ortamının sıcaklığına göre üç gruba ayrılır.

1. *Sakrofilik (Psychrophilic) reaktörler:* Bu reaktörlerde anaerobik bakterilerin optimum faaliyet sıcaklığı 25 °C' dir. Bu sistemlerde çürütme hızı çok yavaş olup bekletme süresi çok uzundur.

2. *Mezofilik (Mesophilic) reaktörler:* Bu reaktörlerde anaerobik bakterilerin optimum Faaliyet sıcaklığı 36 °C' dir. Anaerobik fermantasyonda en çok uygulanan sıcaklık bölgesidir. Bekletme süresi 20 ile 40 gün arasında değişir.

3. *Termofilik (Thermophilic) reaktörler:* Bu reaktörlerde anaerobik bakterilerin optimum faaliyet sıcaklığı 55 °C' dir. Çürütme hızı daha yüksek dolayısıyla bekletme süreleri daha kısadır (Eryaşar, 2007; Alibaş, 1996).

Sakrofilik bakteriler deniz ve göl diplerindeki tortullar ile bataklıklardan, termofilik bakteriler de yüksek sıcaklıklardaki volkanik ve jeotermal bataklıklardan elde edilebilmektedir. mezofilik bakteriler ise sıgır gübresinde bulunmaktadır. Bu reaktör ısısı genel olarak sıcakkanlı hayvanların vücut ısılarına karşılık gelmektedir (Alibaş, 1996).

### 1.8.2. Organik atık beslemesine göre reaktörler

Biyogaz üretim sürecinde reaktörün organik materyalle beslenme biçimine göre üç gruba ayrılır;

1. *Kesikli sistemler:* Bu sistemlerde arzulanan reaksiyon veya ayrışma gerçekleşene kadar, atıkların çıkışı olmaz prosesin başlangıcında reaktör atık madde ile doldurulur ve belli bir alıkoyma süresi sonunda boşaltılır. Taze atık madde yeniden yüklendiğinde bir miktar daha önce sindirilmiş materyal aşılama maksadıyla kullanılabilir.

2. *Beslemeli-kesikli sistemler:* Burada, reaktör başlangıçta belirli oranda organik atık ile doldurulmakta ve geri kalan hacmi fermantasyon süresine bölünerek günlük miktarlarda tamamlanmaktadır. Burada, reaktörde fermente olmuş materyal

günlük olarak alınmamaktadır. Bu fermantasyon şekli, kesikli fermantasyona göre, fermantasyon süresinin uzamasına sağlamaktadır. Belirli fermantasyon süresi sonunda reaktör tamamen boşaltılarak yeniden doldurulmaktadır.

3. *Sürekli beslemeli sistemler*: Bu fermantasyon biçiminde organik madde biyogaz reaktörüne her gün belirli miktarlarda eklenir ve aynı oranlarda fermente olmuş materyal günlük olarak reaktörden alınır. Girdi debisi alıkonma süresine ve reaktör hacmine bağlıdır. Bu sistemde gaz üretimi sürekli olmaktadır. (Loher, 1984; Krieg ve Fisher, 2001; Alibaş, 1996).

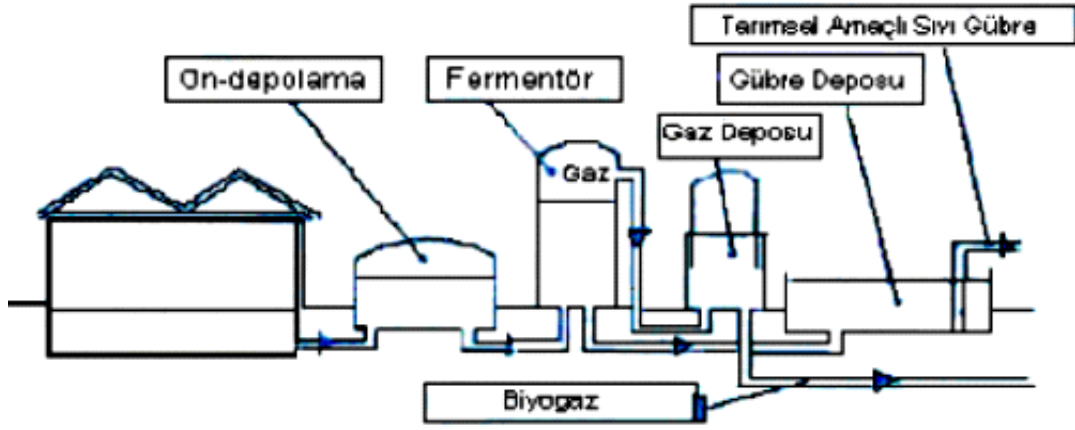
### 1.8.3. Biyogaz üretim reaktörünün yapısı

Genel olarak biyogaz reaktöründe üç ana organ yer almaktadır;

1. *Fermantör-sindireç (organik maddenin doldurulduğu depo tank)*: Bu kısım hava almayacak şekilde tasarlanmaktadır. Fermantör içine karıştırıcı ve ısıtıcı da yerleştirilebilir. Biyogaz üretimi için fermantör içerisindeki organik madde bulamacının sıcaklığı mezofilik şartlarda 35 °C' den az olmamalıdır. Fermantör sıcaklığı düşükçe bakteri aktivitesinin azalmasına bağlı olarak, gaz üretimi de düşmektedir. Ayrıca yine içeriye hava almayacak şekilde fermantörde bir organik madde giriş ve çıkış ağzı bulunur.

2. *Biyogaz deposu*: Büyük kapasiteli biyogaz reaktörlerinde oluşan biyogazı, bir yerde toplamak ve gaz basıncının sabit kalmasını sağlamak için kullanılan biyogaz depo kısmıdır. Fermantörden alınan gaz bir boru yardımıyla biyogaz deposuna taşınarak depolanmakta ve buradan kullanıma gönderilmektedir.

3. *Gübre deposu*: Organik atıklar fermantasyon süresi sonunda fermantörden çıkarıldıktan sonra akışkan durumuna gelmiş olan bulamaç halindeki bu gübrenin depolanması için havuz şeklinde yapılmış bir gübre deposu kullanılır (Şekil 1.2.).



Şekil 1.2. Biyogaz üretim rektörlerinin temel yapı elemanları

Bu üç temel yapının yanı sıra biyogaz üretim sisteminde; hammadde depolama tankı, gaz boruları ve bağlantı ekipmanları, ısıtma sistemleri, pompalar, karıştırıcılar, ısı transfer elemanları, ayırma ve filtrasyon elemanları da kullanılmaktadır.

Biyogaz reaktörlerinde karıştırıcılar önemli bir fonksiyona sahiptirler. Karıştırıcıların biyogaz üretim sürecinde etkilediği olaylar;

- Metanojen bakterilerin ürettiği metabolitlerin dağıtılması,
  - Taze hammaddenin bakteri popülasyonu ile homojen karışımının sağlanması,
  - Çökme ve heterojenitenin engellenmesi,
  - Sıcaklık dağılımının homojen hale getirilmesi,
  - Bakteri popülasyonlarının fermentör içinde eşit dağılımının sağlanması,
  - Fermentör içerisinde heterojen ölü bölge oluşumunun engellenmesi
- şeklinde sıralanabilir.

Mezofilik ve termofilik sıcaklıkların çevresel olarak sağlanamadığı, özellikle sıcaklığın korunması gereken biyogaz tesislerinde ısı transfer elemanları büyük önem taşırlar. Plakalı ısı değiştiriciler yanında kapalı devre ısı pompaları, güneş enerjili ısıtıcılar da kullanılmaktadır.

Üretilen biyogazda meydana gelen hidrojen sülfür hem çevre-insan sağlığı üzerine hem de potansiyel korozif zararlarının azaltılması büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla hidrojen sülfürün demiroksid ile absorblanması ya da hava ilavesi ile mikrobiyal desülfürizasyon yöntemlerine başvurulmaktadır. İkinci işlemde bir hava pompası ile % 4 hava enjekte edilerek, bakteriler tarafından elementel kükürde dönüştürülerek çöktürülür. Ayrıca biyogaz içindeki olası su moleküllerinin tutulmasında ise silika jel, alümina veya moleküler elekler kullanılır (Gülen ve Arslan, 2005).

Modern ve ileri teknoloji uygulamalarının dışında uzun yıllardır kullanılan sistemler de mevcuttur. Kırsal kesimler için önerilen ve kısıtlı yerel imkânlarla yapılabilmektedir olan bu tür sistemler çok değişik tipte olup genel olarak üç grupta toplanmaktadır;

1. Hareketli kubbeli veya Çin tipi biyogaz tesisleri
2. Sabit kubbeli veya Hint tipi biyogaz tesisleri
3. Balonlu veya Tayvan tipi biyogaz tesisleri

Toprak altına gömülen ve tuğla-beton bir yapıdan oluşan bu tip biyogaz tesisleri fermantörün iyi izolasyonun sağlanması durumunda kırsal kesimler için ideal bir biyogaz tesisidir.

Birçok ülkede biyogaz tesisleri planlanan amaca göre farklı teknolojiler kullanılarak inşa edilmektedir. Biyogaz tesisleri aile tipi (6-12 m<sup>3</sup> kapasiteli), çiftlik tipi (50, 100, 150 m<sup>3</sup> kapasiteli), köy tipi (100, 200 m<sup>3</sup> kapasiteli) tesisler olarak ele alınabileceği gibi başta Almanya olmak üzere A.B.D., Danimarka, İsviçre gibi pek çok ülkede 1 000-10 000 m<sup>3</sup> kapasiteli sanayi tipi biyogaz tesisleri işletilmektedir.

Aile tipi, 6-12 m<sup>3</sup> kapasiteli sabit kubbeli biyogaz tesisleri, Çin’ de çok yaygın bir biçimde kullanılmakta ve bu tip tesislerde oluşan biyogaz, tesis içinde kubbe bölümünde toplanmakta ayrı bir biyogaz depolama tankı kullanılmamaktadır. Ancak bu durum biyogazın kullanımı sırasında gaz basıncının düşmesine neden

olmakta, dolayısıyla gaz basıncı sabit kalmamaktadır. Yeterli gaz basıncı sağlamak üzere Çin tipi tesisler genellikle kullanım yerlerine yakın kurulmaktadır. Büyük kapasiteli tesislerde oluşan biyogaz, tesisten ayrı veya tesis içinde sabit olmayan bir yerde toplanmakta (gaz depolama tankı) ve gaz basıncının sabit kalması sağlanabilmektedir. Bu tip biyogaz tesislerine en çok Hindistan' da rastlanmaktadır.

Aile tipi biyogaz tesisleri dışında diğer tesislerin çoğunda biyogazın oluştuğu ortamın yani reaktörün ısıtılması optimum biyogaz üretimi için gerekli olmaktadır (Bilgin, 2003; Çetinkaya ve Karaosmanoğlu, 2004).

### 1.9. Biyogazın Değerlendirilmesi

Hayvansal ve bitkisel organik atık maddeler çoğunlukla ya doğrudan doğruya yakılmakta veya tarımda gübre olarak kullanılmaktadır. Bu tür atıkların özellikle yakılarak ısı üretiminde kullanılması daha yaygındır. Hayvansal atıkların bu şekilde değerlendirilmesi bu atıklardan optimum verimin alınmasını sağlayamadığı gibi, yakılmak suretiyle kül haline getirilen hayvansal atıkların gübre olarak kullanılması da mümkün olmamaktadır. Bir sığırdan yıllık 3.6 ton gübre elde edildiği ve biyogaz üretiminde kullanılması durumunda yıllık 120 m<sup>3</sup> biyogaz ve geriye organik gübre oluştuğu düşünüldüğünde, kaybın ne kadar büyük olduğu görülebilmektedir.

Organik atıklardan biyogaz üretimi ile hem bu atıklardan enerji eldesi mümkün olmakta hem de organik gübre olarak toprağa kazandırılmasına olanak sağlanmaktadır (Deniz, 1987; Acaroğlu, 2003; Oerther ve ark., 2006; Yılmaz ve Atalay, 2004).

Genel bir perspektifle baktığımızda; biyogaz ucuz, çevre dostu bir enerji ve gübre kaynağı olan atık geri kazanımı sağlanan bir yöntemdir. Biyogaz üretimi esnasında hayvan gübrelerinden kaynaklanan insan ve hayvan sağlığı ile yeraltı sularını tehdit eden patojen mikroorganizmaların büyük ölçüde eliminasyonu sağlanır. Ayrıca biyogaz üretimi sonucu hayvan gübresinde bulunabilecek yabancı ot tohumları çimlenme özelliğini kaybederek zirai kontrole yardımcı olmakta ve hayvan gübresinin kokusu büyük ölçüde giderilmektedir.

### 1.9.1. Biyogazın ısıtmada kullanımı

Biyogazın yanma özelliği bileşiminde bulunan metan ( $\text{CH}_4$ ) gazından ileri gelmektedir. Biyogaz, hava ile yaklaşık 1/7 oranında karıştığı zaman tam yanma gerçekleşmektedir. Isıtma amacıyla gaz yakıtlarla çalışan fırın ve ocaklardan yararlanılacağı gibi termosifon ve şofbenler de biyogazla çalıştırılarak kullanılabilir.

Biyogaz, sıvılaştırılmış petrol gazı ile çalışan sobalarda da kolaylıkla kullanılabilir. Biyogaz sobalarda kullanıldığında bünyesinde bulunan hidrojen sülfür ( $\text{H}_2\text{S}$ ) gazının yanmadan ortama yayılmasını önlemek üzere baca sistemi gerekli olmaktadır. Bu nedenle, daha sağlıklı bir ısınma için kalorifer sistemleri tercih edilmelidir (Namık, 2008).

### 1.9.2. Biyogazın aydınlatmada kullanımı

Biyogaz, hem doğrudan yanma ile hem de elektrik enerjisine çevrilerek aydınlatmada kullanılabilir. Biyogazın doğrudan aydınlatmada kullanımında sıvılaştırılmış petrol gazı ile çalışan lambalardan yararlanılmaktadır. Bu sistemde aydınlatma alevini artırmak üzere amyant gömlek ve cam fanus kullanılmaktadır. Cam fanus ışığı sabitleştirdiği gibi çıkan ısıyı geri vererek alevin daha fazla olmasını sağlamaktadır (Ekinci, 2008).

### 1.9.3. Biyogazın motorlarda kullanımı

Biyogaz hem binek taşıtlarda hem de ağır vasıtalarda yakıt olarak kullanılabilir. Biyogazın motorlu taşıtlarda kullanılabilmesi için, biyogazın metan oranının % 96-97' ye kadar yükseltilmesi ve  $\text{H}_2\text{S}$ ' nin 17 ppm' in altına düşürülmesi gerekmektedir. Biyogaz, benzinle çalışan motorlarda hiçbir katkı maddesine gerek kalmadan doğrudan kullanılabilir gibi içeriğindeki metan gazı saflaştırılarak da kullanılabilir. Dizel motorlarda kullanılması durumunda



belirli oranda (% 18–20) motorin ile karıştırılması gerekmektedir (Namık, 2008; Eyidoğan, 2008).

### 1.10. Dünyada ve Türkiye’de Biyogaz Üretimi

Biyogaz düşünüldüğünde ilk akla gelen ülkeler Çin ve Hindistan’ dır. Çin’ de yapılan değerlendirmelere göre 6–7 milyon adet biyogaz tesisi bulunduğu belirtilmektedir. Hindistan’ da ise 1 milyona yakın biyogaz tesisinin varlığından söz edilmektedir. Bu tesislerin çoğu, yeraltına kurulu, ev yapımı sistemler olup, tasarımları son derece basit, maliyetleri ucuz ve verimleri oldukça yüksektir. Her ne kadar Asya kıtasında biyogaz denince akla Çin ve Hindistan gelse de, Vietnam ve Tayland’da da biyogaz uygulamalarına rastlamak mümkündür. Bunun yanında bu ülkelerde, enstitü ve üniversitelerde Ar-Ge çalışmaları devam etmektedir. Dünya genelinde biyogaz hakkında en fazla bilgi ve deneyime bu ülkeler sahipken, mali yetersizlikler bu ülkelerde biyogaz uygulamalarının teknolojik açıdan gelişmesine engel olmaktadır (Çetinkaya ve Karaosmanoğlu, 2004).

Özellikle Avrupa Birliği ülkelerinde kullanılan ileri teknolojiye sahip biyogaz üretim tesisleri organik atıklardan optimum yararlanma düzeyinin sağlanmasıyla tüm dünyaya örnek teşkil etmektedirler.

Günümüzde Almanya, Fransa, İsviçre, İtalya gibi Avrupa Birliği ülkelerinde biyogaz tesisleri oldukça yaygın olarak bulunmaktadır. Sadece Almanya’da hayvansal ve tarımsal atıklardan biyogaz üretiminde yararlanmak için 3000’ den fazla biyogaz tesisi faaliyet göstermektedir. Özellikle Danimarka, hayvan gübresini diğer organik atıklarla karıştırarak biyogaz üretiminde kullanan en başarılı ülkelerden biridir.

Danimarka’ da kurulmuş olan merkezi biyogaz üretim tesislerinde çiftliklerden toplanan atıklar merkezi biyogaz tesislerinde gaz üretiminde kullanılmakta, elde edilen biyogaz merkezi doğal gaz şebekesine verilmekte ve ortaya çıkan organik gübre de çiftçilere dağıtılmaktadır. Bu ülke 1 500–2 500 büyük

baş hayvan atığının kullanıldığı biyogaz tesisleri ile bu konuda örnek ve önder bir konumdadır. Bu tesisler 1 000–15 000 m<sup>3</sup>/gün biyogaz üretecek kapasitededir. Bugün Danimarka’ da 22 merkezi tesis ve çok sayıda çiftlik tipi biyogaz tesisi bulunmaktadır.

Ülkemizde başta gıda endüstrisi olmak üzere sınırlı sayıda biyogaz üretim uygulaması mevcuttur. Yaklaşık 48 adet endüstriyel tesis olduğu bilinmektedir. Tesislerin sektörlere göre dağılımına bakıldığında en çok uygulamanın gıda endüstrisinde olduğu görülmektedir. Gıda dışındaki uygulamalar, çöp sızıntı suyu arıtması, kimya, selüloz, kâğıt ve tekstil şeklinde sıralanmaktadır. Kimya sektöründe sadece bir tesis mevcuttur. Hayvansal ve tarımsal atıklardan biyogaz üretim uygulamaları ülkemiz açısından yok denecek kadar azdır. Ülkemizde biyogaz üretiminin yaygınlaştırılması için sınırlı düzeyde de olsa gıda endüstrisi ve diğer bazı biyogaz üretim uygulamalarından elde edilen uygulama tecrübeleri ve teorik bilgiler hayvansal ve tarımsal atıkların biyogaz üretiminde kullanılabileceği düşünülmektedir

Yenilenebilir Enerji Kullanım Yasası ve Enerji Verimliliği Yasası biyogaz tesislerinin kurulmasını teşvik etmektedir. Bu sayede hayvan gübreleri tek başına veya tarım kuruluşlarında ortaya çıkan diğer organik atıklarla karıştırılarak biyogaz üretiminde kullanılabilecektir. Ayrıca biyogaz üretiminden geriye kalan sıvı-katı artık madde de organik gübre olarak değerlendirilecektir (Türker, 2008; Tolay ve ark., 2008).

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Günümüzde biyogaz üretim çalışmaları bazı ülkelerde oldukça ileri düzeylerde araştırmalarla sürdürülmekte ve organik atıklardan biyogaz üretimini arttırmayı hedef alan stratejiler geliştirilmektedir. Bu çalışmaların kısa bir özeti aşağıda verilmiştir.

Hills ve Robert (1980), Amerika Birleşik Devletleri'nde yapmış oldukları çalışmada süt sığırı gübresi ile arpa samanı, pirinç samanı ve pirinç kabuklarını karıştırarak biyogaz üretim denemelerinde bulunmuşlardır. Bu denemeyi  $35 \pm 1$  °C sıcaklıkta ve 17 günlük bekleme süresinde gerçekleştirmişlerdir. Denemelere başlamadan önce biyogaz üretim reaktörlerine 2 litre aşılama materyali olarak daha önce sürdürülen biyogaz üretim reaktörlerinden içerik eklemişlerdir. Reaktörlere eklenecek pirinç ve arpa samanını, ortalama boyu 10 mm, pirinç kabuklarını ise ortalama boyu 3 mm olacak şekilde çekiçli değirmende küçültmüşlerdir.

Çalışmada C/N oranlarını hayvan gübresinde 12.3, arpa samanında 118.6, pirinç samanında 73, pirinç kabuklarında 35 olarak belirlenmişlerdir. Karışımları C/N oranları 12.3 ile 40 arasında çeşitli değerlere göre ayarlamışlardır. C/N oranlarının arpa ve pirinç samanı karıştırılan denemede 25 olması, pirinç kabukları karıştırılan denemede 32 olması koşullarında en yüksek biyogaz üretiminin gerçekleştiğini gözlemlemişlerdir. Araştırmada kullanılan materyallere ait biyogaz üretim değerleri birim  $\text{CH}_4/\text{kg}$  parçalanmış organik bileşiğin değişen kimyasal oksijen ihtiyacı seviyelerine göre sırasıyla 0.38, 0.36 ve 0.36  $\text{m}^3$  olarak ölçülmüştür. Bu sonuca göre gübrenin C/N oranının iyileştirilmesinde kullanılacak materyallerle yapılacak karışımların C/N oranının 25–32 arasında olması durumunda en yüksek metan üretiminin gerçekleşeceği araştırmacılar tarafından bildirilmiştir.

Park (1981), Güney Kore'de biyogaz üretiminde kullanan değişik hayvansal atıklara ait nem içeriği, uçucu katı madde ve sabit katı madde miktarları üzerinde araştırmalarda bulunmuştur.

Araştırma sonuçlarının ortaya konulduğu tabloya bakılarak (Çizelge 2.1), atıkların biyogaz üretiminde kullanılması durumunda ihtiyaç duyduğu sıvı eklentisi miktarları pratik olarak ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 2.1. Giren materyalin bazı özellikleri

Materyal	Nem muhtevası (%)	Uçucu katı madde (%)	Sabit katı madde (%)
İnek gübresi	82.0	14.9	3.1
Domuz gübresi	70.0	24.0	6.0
Tavuk gübresi	70.1	22.1	7.8
İnsan gübresi	90.5	7.9	1.6
Yararsız Otlar	84.9	13.5	1.6

Park (1981), çalışmasının devamı niteliğindeki diğer çalışmada tavuk ve sığır gübrelere değişik sıcaklıklarda ve değişik bekleme sürelerinde anaerobik fermentasyona tabii tutarak biyogaz üretimi için optimum sıcaklığı ve optimum bekleme sürelerini belirlemeye çalışmıştır. Bu çalışmada tavuk gübresi için 1 m<sup>3</sup> hacim başına günde üretilen en yüksek biyogaz hacmi 1.80 m<sup>3</sup>/gün olarak 30 °C sıcaklık ve 24 gün bekleme süresinde elde edilmiştir. Sığır gübresi için ise en yüksek biyogaz hacmi 0.66 m<sup>3</sup>/gün olarak 35 °C' de 30 gün bekleme süresi olarak belirlenmiştir.

Park (1981), diğer bir araştırmasında çeşitli gübrelere elde edilebilecek biyogaz miktarlarını hayvan başına göre yıllık olarak belirlemeyi hedeflemiş ve araştırma sonucunda bir sığırdan yılda 91.1 m<sup>3</sup>, bir tavuktan ise 2.6 m<sup>3</sup> biyogaz elde edilebileceğini ortaya çıkarmıştır.

Misi ve ark. (2001), yapmış oldukları çalışmada sığır, tavuk, koyun ve keçi gübresini, melas, meyve-sebze atıklarını ve fermentasyon çamurunu çeşitli oranlarda karıştırarak biyogaz üretiminde kullanmışlardır. Kesikli sistemde yapılan deneme, 35 °C sıcaklıkta ve 34 günlük bekleme süresinde, toplam hacmi 1 litre olan düzeneklerde yapılmıştır. Materyalin pH derecesinin ayarlanması için CaCO<sub>3</sub>

eklenmiş ve üreteç içerisine aşılama materyali konmuştur. Sadece tek tip materyal yerine gübre karışımları kullanımı metan üretimini arttırmıştır.

Yapılan karışımlarda organik kuru madde bazında en fazla metan üretimi; sığır gübresi, tavuk gübresi, melas karışımından (0.257 m<sup>3</sup>/ kg/okm) ve meyve-sebze atıkları, sığır gübresi, tavuk gübresi karışımından (0.25 m<sup>3</sup>/kg/okm) elde edilmiştir.

Bilir ve ark. (1984), Köy Hizmetleri Ankara Araştırma Enstitüsü' nde, 12 m<sup>3</sup>' lük biyogaz tesisinde sığır gübresi ile yaptıkları araştırmada, 9–20 °C' ler arasında üretim kuyularında biyogaz verimi ile kuyu sıcaklığı arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Bu çalışmada sıcaklığın artışıyla biyogaz verimi arasında pozitif bir bağıntının olduğunu belirlemişlerdir. Yine aynı araştırmada organik maddelerin fermantasyon süresince hızlanma ve organik maddelerin bozunma sürecinde ortalama % 5.06' lık bir hızlanmanın olduğunu belirlemişlerdir.

Mahanta ve ark. (2004), yapmış olduğu çalışmada bir biyogaz reaktörünün gaz üretim hızına sıcaklığın ve toplam katı derişiminin etkisini laboratuvar ölçekli deneyler gerçekleştirerek incelenmişlerdir. Bu çalışmada sıcaklık kontrollü kesik beslemeli reaktörler kullanılarak biyogaz üretim hızı belirlenmeye çalışılmıştır. Deneyler toplam katı derişimleri % 2.5, % 8, % 12.5 olan sığır gübresi-su karışımları ile gerçekleştirilmiştir. Reaktörlerin inkübasyon ısıları 30, 35, 40, 45 °C' de sabit sıcaklıklara ayarlanmış ve haftalık olarak pH ölçümleri yapılmıştır. Bu çalışmada biyogaz üretiminin 35 °C' de ve toplam katı oranının % 8 olduğu koşullarda en fazla olduğunu ortaya konulmuştur.

Singh ve ark. (1992), su sümbülü ve sığır gübresi karışımından biyogaz verimi üzerine bor bileşiklerinin etkinliğini araştırmışlardır. Çalışmada sığır gübresi ile su sümbülünü 1:1 oranında karıştırılarak 500 g, 200 g ve 100 g' lık birimler halinde hava sızdırmayan biyogaz üretim reaktörlere yerleştirilmiş 32 güne kadar gaz üretim miktarlarını belirlemişlerdir. Çalışmada reaktör inkübasyon ısısı bütün denemeler için 32 °C' de sabitlenmiştir. 0.2 g/L boraks eklenene deneme grubunda 17 günlük bir alıkoyma süresi sonunda reaktöre eklenen karışımın kilogramı başına

biyogaz oranını 4.7 L' den 13.9 L' ye yükselmiştir. Biyogaz reaktörüne 1 g boraks eklenmesi durumunda ise reaktöre eklenen karışımın kilogramı başına biyogaz miktarı 18.21 litre olarak ölçülmüştür.

Bir başka deneyde su sümbülü bulamacı 0.2 g diboron ( $B_2O_3$ ) ile karıştırıldığında toplam gaz miktarı reaktöre eklenen karışımın kilogramı başına neredeyse 390 litreye ulaşmıştır. Çalışma sonucunda biyogaz üretim reaktörüne eklenen bor bileşiklerinden boraks ve diboronun biyogaz üretimini üzerinde pozitif etkinliğinin olduğu bildirilmiştir.

Nordberg ve Edström (1997), İsveç' de yaptıkları çalışmada kesik ve sürekli beslemeli üreteçler kullanmışlardır. Denemede organik materyal olarak yem bitkisi silajı, buğday samanı ve sığır gübresi kullanılmışlardır. Bu araştırmada 1 ha' lık yem bitkisi tarlasından elde edilen organik maddeden metan üretimiyle yılda 20 MWh' lik enerji elde edilebileceğini göstermişlerdir. Çalışmada hayvan besleme yerine biyogaz üretiminde kullanılacak 400 000 ha' lık yem bitkisi üretim alanından yılda 8–10 TWh' lik enerji elde edilebileceği ortaya konulmaktadır. Bu çalışmada 1.da başına organik madde yükleme oranı 6 g organik kuru madde (okm), bekleme süresi 9 gün ve fermantasyon sıcaklığı 35 °C olarak seçilmiştir. Deneme sonuçlarına göre en fazla metan üretimi her iki sistemde de yem bitkisi silajından elde edilmiştir ve bu değerler kesik besleme sistemde 0.38 ml sürekli beslemeli sistemde 0.32 ml metan /1g/okm olarak saptanmıştır.

Anjan ve ark. (2001), yapmış oldukları çalışmada sığır gübresinden biyogaz üretimi üzerine çürütülmüş çamurla aşılamanın etkisini incelenmişlerdir. Çalışmada 40 kg sığır gübresi ile 40 kg % 10' u çürütülmüş çamur olan sığır gübresinden biyogaz üretimini karşılaştırmışlardır. Çürütülmüş çamur kaynağı olarak 20–23 °C sıcaklıkları arasında 15 hafta boyunca sürdürülen biyogaz üretiminden artta kalan atıklar kullanılmıştır. Çalışmada çamurla aşılama yapılan sığır gübresinden 1.457 litre biyogaz elde edilirken, sadece sığır gübresi kullanılan reaktörden 821 litre biyogaz elde edilmiştir. Çamurla aşılama yapılan reaktörde organik katı maddede azalma oranı % 36.10 iken diğer reaktörde % 23.93 olarak bulunmuştur. Aynı

zamanda biyogaz reaktörüne yüklemenin yapıldığı ilk hafta çamurla aşılana reaktörde 60 L gaz üretimi saptanırken, sadece sığır gübresi kullanılan reaktörde biyogaz üretimi ihmal edilecek düzeyde gerçekleşmiştir.

Bu 7 günlük zaman diliminde çamurla aşılana reaktördeki metan oranı % 52 iken diğer reaktörde % 38 olarak bulunmuştur. İlk haftaya nazaran üçüncü haftada ise her iki reaktörden elde edilen gazların metan yüzdesi % 55–60 arasındadır. Çamurla aşılana reaktörde en fazla gaz üretimi 180 L olarak 3. ve 4. haftalarda görülürken, diğer reaktörde en fazla gaz üretimi 100 L olarak 11. ve 12. haftalarda görülmüştür.

Callaghan ve ark. (2002), çalışmalarında sığır gübresine değişik oranlarda sebze ve meyve atıkları ve tavuk gübresi karıştırarak anaerobik arıtımlarını sürekli karıştırılmalı tank reaktörde incelemiştir. Deney öncesi sebze ve meyve atıkları % 10, tavuk gübresi % 15 ve sığır gübresi % 7.6 oranında (ağırlık/hacim) seyreltilmiştir. Reaktör hacmi 18 litre, çalışma sıcaklığı ise 35 °C, alıkoyma süresi 21 gün, yükleme hızı ise 3.19–5.01 kg/m<sup>3</sup> gün olarak düzenlenmiştir. Sığır gübresi, meyve ve sebze atığı karışımı oranı % 20' den % 50' ye (ağırlıkça) doğru yükselince, üretilen biyogaz metan miktarı 0.23 m<sup>3</sup>/kg' dan 0.45 m<sup>3</sup>/kg' a çıkmıştır. Benzer olarak sığır gübresi ve tavuk gübresi karışımındaki tavuk gübresi oranı arttıkça üretilen biyogazın metan oranının arttığı gözlenmiştir.

Anozie ve ark. (2005), çalışmalarında 58 cm eninde, 106 cm uzunluğunda 0.28 m<sup>3</sup>' lük pilot ölçekli kesik beslemeli biyogaz reaktörü kurarak 40 günlük bekleme süresinde dört farklı atıktan biyogaz üretimini incelemiştir. Reaktör hacminin yarısı (140 litre) kullanılmıştır. Atık olarak tavuk gübresi, mısır sapı, sığır gübresi ve bunların karışımı (aynı miktarda alınarak) kullanmışlardır. Günlük ortalama gaz üretimi en fazla (137 L) tavuk gübresinden, en az ise (16.38 litre) mısır sapından elde edilmiştir. Sığır gübresinden günlük ortalama 17.78 litre, karışımdan 18.16 litre biyogaz elde edilmiştir. Biyogaz üretimi tavuk gübresinde ikinci günde, mısır sapında altıncı günde, sığır gübresinden üçüncü günde başlamıştır. Reaktörün

pH değeri 6.7-7.4 arasında sıcaklığı ise 25-29 °C arasında değişmiştir. Üretilen biyogazın % 60 oranında metan içerdiğini tespit etmişlerdir.

Karim ve ark. (2005), yaptıkları laboratuvar ölçekli bir çalışmada karıştırma çeşidinin (biyogaz sirkülasyonunun, çark ile karıştırmanın, çamur sirkülasyonu) ve katı oranının anaerobik reaktörlerin performansına etkisini incelemiştir.

Reaktörler % 5 ve % 10 katı oranında gübre ile beslenmiş. Deneyler 3.73 L çalışma hacimli 8 adet reaktörlerde 35 °C' de ve 16.2 günlük alıkoyma süresinde gerçekleştirilmiştir. 3.08 g katı madde / L / gün (% 5) ve 6.2 g katı madde/L/gün (% 10) yükleme hızlarında çalışılmıştır. Sonuçlara göre % 5 katı oranında gerçekleştirilen deneylerde karıştırma yapılan reaktörle karıştırma yapılmayan reaktör arasında anlamlı farklılık gözlenmemiştir. 0.84–0.94 L/gün hızında biyogaz üretilmiştir. Biyogaz reaktörüne % 10 katı oranında organik madde ile gerçekleştirilen deneylerde karıştırma ve karıştırma çeşidinin etkisi belirgin şekilde gözlenmiştir. Bu deneylerde, çamur sirkülasyonu ile yapılan sağlanan karıştırma işlemi sonucunda biyogaz üretiminde % 29, çark ile yapılan karıştırma işlemi sonucunda biyogaz üretiminde % 22, biyogazın kendi sirkülasyonu ile yapılan karıştırmada % 15 oranında daha fazla biyogaz üretiminin olduğu gözlenmiştir. Yine % 5 katı oranında gerçekleştirilen deneylerde katı çökmesi görünmezken % 10 katı oranında yapılan çalışmalarda katı çökmesi görülmüştür. Bu çalışma sonucunda biyogaz reaktörüne eklenecek organik madde karışımında katı oranının artması durumunda karıştırma işlemine gereksinim duyulacağı bildirilmektedir.

Sözer ve ark. (2006), yaptıkları çalışmada süt sanayi atığı olan peynir altı suyu ve sığır gübresini çeşitli oranlarda karıştırarak biyogaz üretimini incelemiştir. Denemeler 15 günlük bekleme süresinde, 37 °C sıcaklıkta, sürekli beslemeli laboratuvar tipi biyogaz üreteçlerinde gerçekleştirilmiştir. Sığır gübresinin organik kuru madde miktarı, peynir altı suyununkine eşitleninceye kadar çeşme suyu ile seyreltilmiştir. Denemede saf sığır gübresi, sığır gübresine %5, 10, 20, 40, 50 ve 75 oranlarında peynir suyu katılmış karışımlar kullanılmıştır. Deneme sonuçlarına göre en yüksek biyogaz üretimi % 50 peynir suyu, % 50 sığır gübresi karışımından



25.47 litre/gün olarak saptanmıştır. Peynir altı suyu ilavesi ile biyogaz üretiminde 2.23 katlık bir artış sağlandığı belirtilmiştir.

Ojolo ve ark. (2007), Nijerya’ da yaptıkları çalışmada kümes hayvanları, sığır gübresi ve mutfak atıkları kullanılarak biyogaz üretim denemeleri yapmışlardır. Her bir atıktan 3 kg alarak 9 litre su ile karıştırılmış ve 3 atık biyogaz üretim reaktörüne eklenmiştir. Ortalama sıcaklık 30.5 °C olmak üzere 40 gün boyunca biyogaz üretim miktarını gözlemlemiştir.

Kümes hayvanları gübresinin eklendiği reaktörde biyogaz üretimi 7. günde başlamış ve 14. günde maksimum değere ulaşmıştır. Sığır gübresinin eklendiği reaktörde gaz üretimi 14. günde maksimum değere ulaşmıştır. Mutfak atıklarının eklendiği reaktörde biyogaz üretimi 8. günde başlamış ve en yüksek değere 14. günde ulaşmıştır. Çiftlik hayvanları gübresi, sığır gübresi ve mutfak atıklarından elde edilen ortalama biyogaz miktarları sırasıyla 0.318, 0.230 ve 0.143 L/gün olarak bulmuşlardır.

Yadvika ve ark. (2007), Hindistan’ da yaptıkları bir çalışmada hidrolik bekleme süresinin ve sindirim bulamacı konsantrasyonun biyogaz verimine etkisini sığır gübresi merkezli anaerobik biyogaz üretim reaktörlerinde incelemiştir. Üç farklı konsantrasyonda (1:1, 1:4, 1:9) hazırlanan sığır gübreleri 20, 30 ve 40 günlük hidrolik besleme sürelerinde bir yıl boyunca gözlemlenmiştir.

Bu çalışma sonucunda 1:4 ve 1:9 konsantrasyonlardaki sindirim bulamaçlarından elde edilen biyogaz verimi ve gazın metan içeriğini, 1:1 konsantrasyonda 20 günlük bekleme süresi uygulanan deney grubuna göre daha yüksek olarak tespit etmişlerdir. Çalışmada 1:1 ve 1:4 konsantrasyonlardaki bulamaçların hidrolik bekleme süresi arttırıldıkça metan veriminin arttığı, bununla birlikte 1:9 oranında daha fazla seyreltilmiş bulamaçta ise hidrolik bekleme süresinin 30 günden 40 güne çıkmasıyla metan veriminin azaldığını göstermişlerdir.

Cuili ve ark. (2008), Çin’ de yaptıkları çalışmada sıcaklığın biyogaz üretimine etkisi ile fermantasyon zamanını dört ayrı hayvan gübresi kullanarak test etmişlerdir. Sindirim materyali olarak kullandıkları gübreler; domuz gübresi, sığır gübresi, tavuk gübresi ve insan dışkısı. Denemeler 25-45 °C sıcaklıklarda gerçekleştirilmiştir. Dört çeşit gübre için optimum sıcaklık, fermantasyon zamanı ve kuru maddenin toplam biyogaz verimi, domuz gübresi için; 35.9 °C, 81 gün ve 0.495 litre/g, sığır gübresi için; 33.8 C, 74 gün ve 0.398 litre/g, tavuk gübresi için; 32.2 C, 73 gün ve 0.324 litre/g, insan dışkısı için; 25.1 C, 84 gün ve 0.294 litre/g olarak bulmuşlardır.

Çalışmamızı planlarken günümüze kadar organik atıklardan biyogaz verimini arttırmaya yönelik çalışmalar incelenerek çalışmamızın herhangi bir çalışmanın tekrarı olmasından kaçınılmış, çeşitli bor bileşiklerinin değişen konsantrasyonlar ve sıcaklıklarda biyogaz verimi üzerine etkisinin incelenmesinin özgün bir çalışma olmasına önem gösterilmiştir. Çalışmamız bu yönüyle bu alanda yapılacak çalışmalara katkı sağlayacak özgün verileri bilim dünyasına sunmaktadır.

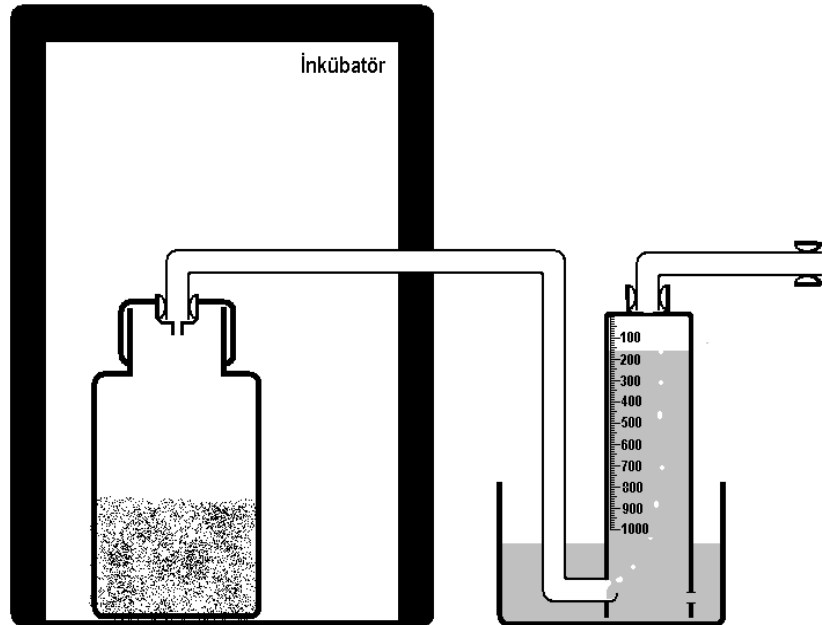
### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

##### 3.1.1. Biyogaz üretiminin yapılacağı reaktörlerin hazırlanması

Bu çalışmada biyogaz üretimi için 500 ml hacminde yüksek ısıya dayanıklı, hava sızdırmayan cam şişeler (ISOLAB, Almanya) kullanılmıştır (Şekil 3.1). Hayvansal atıkların konulacağı cam şişelerde üretilecek biyogazın gaz toplama kabinlerine aktarılmasında 6 mm çapında ısıya dayanıklı poliüretan hortum kullanılmıştır. Hortumların biyogaz reaktörü olarak kullanılan cam şişelerin kapaklarına bağlantısında ve gaz toplama kabinlerine giriş - çıkış bağlantılarında sızdırmazlığı sağlamak için kontrollü çıkış tapaları kullanılmıştır.

Gaz toplama kabinleri cam malzemeden özel ölçülerde yaptırıldı (Hazer Cam, Ankara). Silindir yapıdaki gaz toplama kabinlerinin üzeri 10 ml aralıklı olacak şekilde ölçeklendirilmiştir.



Şekil 3.1. Biyogaz üretim reaktörü ve gaz toplama kabininin şematik görünümü

Gaz toplama kabinindeki gazın tahliyesi için kabinin üst kısmındaki boşaltım kanalına poliüretan hortum monte edildikten sonra ucuna tapalar takılarak gaz çıkışı kontrol altına alınmıştır.

Reaktörlerde oluşan biyogazın ters basınçla karşılaşmadan gaz toplama kabinlerine dolması için, negatif basınç sağlanmaya çalışılmıştır. Bu amaçla kabinlerin içi su ile doldurulduktan sonra ters konumda su dolu cam kaplara yerleştirilmiştir. Gaz toplama kabininde biyogaz ile yer değiştiren su, kabinlerin yerleştirilmiş olduğu cam bölmede muhafaza edilmiştir. Kabinlerde toplanan gazın ölçümü yapıldıktan ve metan oranını belirlemek için örnekler alındıktan sonra kabinlerdeki biyogaz boşaltılmıştır. Böylece gaz toplama kabinlerinde biriken gaz kadar yer değiştiren su hacmi ölçülmek suretiyle günlük biyogaz ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Biyogaz reaktöründe üretilen gazın metan içerip içermediği, başka bir deyişle biyogaz üretimin gerçekleştiğinin belirlenmesi için kabinlerde toplanan gazda metan varlığı araştırıldı. Bu amaçla metana duyarlı gaz detektörü kullanılmıştır.

Biyogaz reaktörleri için optimal ortam sıcaklığının sağlanması için ısı ayarlı etüv (Nüve, İstanbul) kullanılmıştır. Biyogaz reaktörleri etüv içerisine yerleştirildikten sonra biyogaz transfer hortumları etüv ısını etkilemeyecek şekilde etüv kapağında bulunan ısı izolatöründen geçirilmiştir. Isı izolatöründe açık kalan kısımlar silikonla doldurulmuştur.

### 3.1.2. Biyogaz reaktörlerine eklenecek bor bileşiklerinin doz ayarlamaları

Çalışmada çeşitli bor bileşikleri, değişen konsantrasyonlarda biyogaz reaktörlerine eklenerek, bu bileşiklerin biyogaz verimi üzerine etkinliği belirlenmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada reaktörlere; borik asit (BA,  $[B(OH)_3]$ , Sigma, Cat No: B6768), Sodyum tetraborat dekahidrat, (Boraks,  $[Na_2 B_4 O_7 \cdot 10 H_2O]$ , Sigma, Cat No: B71997), potasyum tetraborat tetrahidrat (PTT,  $[K_2 B_4 O_7 \cdot 4H_2O]$ , Sigma, Cat No: P5754), Amonyum tetraborat tetrahidrat (ATT,  $[(NH_4)_2 B_4 O_7 \cdot 4H_2O]$ , Sigma, Cat

No: A4380) Lityum tetraborat tetrahidrat (LTT,  $[\text{Li}_2 \text{B}_4 \text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}]$ , Alfa, Cat No: A10358) gibi bor içeren bileşikler ilave edilmiştir.

Bor bileşiği konsantrasyonlarının belirlenmesinde, Singh ve ark. (1993) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada biyogaz üretim reaktörlerine eklemiş oldukları boraks miktarından yararlanılmıştır. Çalışmamızda kullanılan bor bileşiklerinin molekül yapısı dolayısıyla her bir bileşiğin ihtiva ettiği bor elementi miktarları farklı olduğundan bileşiklerdeki bor elementi miktarlarının eşitlenebilmesi için kullanılan bor bileşiklerinin kimyasal formüllerine göre hesaplamalar yapılarak, üretim reaktörlerine katılan bor elementi miktarı tüm bor bileşikleri için eşitlendi. Bu sayede reaktörlere eşit miktarda bor elementinin eklenmesi sağlanmıştır.

Miktar eşitlenmesi hesaplamasından sonra bor bileşikleri belirlenen optimum miktarların 10 kat aşağısı ve 10 ve 100 kat yukarısı dozlarda tartılıp distile suda çözüldükten sonra biyogaz reaktörlerine eklendi. Çalışmamızda biyogaz üretim reaktörlerine katılan bor bileşikleri ve değişen miktarları Çizelge 3.1.' de gösterilmektedir.

Çizelge 3.1. Biyogaz üretim reaktörlerine eklenen bor bileşiklerinden her birinin 4 değişik konsantrasyonu

Bor Bileşikleri Konsantrasyonları (mg/L)					
Gruplar	Borik Asit	Boraks	PTT	ATT	LTT
Kontrol	-	-	-	-	-
1. Konsantrasyon	0.02	0.08	0.06	0.05	0.05
2. Konsantrasyon	0.27	0.86	0.69	0.50	0.59
3. Konsantrasyon	2.72	8.68	6.95	5.50	5.95
4. Konsantrasyon	27.27	86.81	69.54	55.00	59.54

### 3.1.3. Biyogaz üretiminde kullanılan katı hayvansal atıkların temini

Çalışmada biyogaz üretimi için organik materyal olarak büyük baş hayvan gübresi kullanılmıştır. Hayvan gübreleri Harran Üniversitesi Osmanbey yerleşkesi

yakınında bulunan Osmanbey köyünde sığır yetiştiriciliği yapan köy halkıyla irtibata geçilerek, ahır artıklarından temin edilmiştir.

### 3.2. Yöntem

#### 3.2.1. Biyogaz üretiminde kullanılan katı hayvansal atıkların hazırlanması

Sığır gübresi plastik poşetlere alındıktan sonra laboratuara getirilmiştir. Burada gübreye % 50 oranında su ilave edildikten sonra genişçe bir kaptaki karıştırılarak homojenize olması sağlanmıştır.

#### 3.2.2. Hayvan gübrelerinin biyogaz üretim reaktörlerine yerleştirilmesi

Yarı yarıya sulandırılarak homojen hale getirilen hayvansal atıklar biyogaz üretim reaktörü olarak kullanılacak 500 ml' lik cam şişelere 250 ml miktarında aktarılmıştır. Mezofilik şartlarda optimum biyogaz üretimi temel alınarak (Alibaş, 1996) inküasyon süresi 35 gün olarak belirlenmiştir.

Her bir üretim reaktörünün üzerine ait olduğu deney grubu Tablo 1' deki düzene göre yazıldıktan sonra kontrol grubu hariç diğer reaktörlere listede belirtilen dozlarda bor bileşikleri eklendi. Cam reaktör şişelerin kapakları gaz sızdırmayacak şekilde kapatıldıktan sonra 37' °C sıcaklığa ayarlanmış inkübatöre yerleştirilmiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Biyogaz reaktörlerinin inkübatöre yerleştirilmesi

### 3.2.2. Reaktörlerde üretilen biyogazın depolanması

Biyogaz üretim reaktörlerinin kapak kısımlarına gaz iletim boruları yerleştirildikten sonra boruların ucundan basınç uygulanarak reaktörlerin sızdırmazlık kontrolleri yapılmıştır. Bu aşamadan sonra inkübatörün kapağı kapatılarak reaktörlerde anaerobik sindirim aşaması başlatılmıştır.

Biyogaz üretim reaktörleri poliüretan hortumlarla daha önceden su ile doldurulmuş gaz toplama kabinlerinin giriş kısmına bağlanarak reaktörlerde üretilen biyogazın su ile yer değiştirerek kabinde birikmesi sağlanmıştır. Gaz toplama kabinlerinin çıkış noktalarına aynı hortumlardan takılmıştır. Hortumların uç kısımlarına pnömatik fittingsler ve bunlardan çıkan hortumların uç kısımlarına kör tapalar takılarak gaz çıkışı kontrol altına alınmıştır.

### 3.2.3. Toplanan biyogazın ölçümü ve metan oranının belirlenmesi

Gaz toplama kabinlerinde biriken gazın miktarının belirlenmesi için toplama kabininde biriken gazla yer değiştiren suyun hacmi mililitre olarak ölçülmüştür.

Kabinlerde toplanan gazda metan varlığı gaz detektörü (Mini AGIS, Arel Elektronik) ile tespit edildikten sonra ayrıca kontrollü bir şekilde yakılmak suretiyle de belirlenmiştir. (Şekil 3.3). Biyogaz reaktöründe üretilen gazın metan ve karbondioksit oranını tespit etmek için % 20' lük sodyum hidroksit ([NaOH], Merck, M109137) çözeltisi kullanılmıştır.



Şekil 3.3. Toplama kabininde toplanan gazda metan varlığı Metan detektörü ile tespit edildikten sonra biyogaz kontrollü bir şekilde yakılarak biyogaz varlığı ortaya konulmuştur.

Anaerobik fermantasyonla üretilen biyogazın metan yüzdesinin belirlenmesi için toplama kabinlerinden 50 ml' lik enjektöre alınan biyogaz örnekleri basıncı atmosfer basıncına eşitlenmiş % 20' lik sodyum hidroksit (NaOH) çözeltisinden geçirildikten sonra ölçekli silindirik cam şişede toplanmıştır. Biyogaz çözeltiden geçirilirken ihtiva ettiği karbondioksit (CO<sub>2</sub>) ve hidrojen sülfür (H<sub>2</sub>S) çözeltideki sodyum hidroksit ile reaksiyona girerek sodyum karbonat (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), sodyum hidrojen sülfid (NaSH) ve su meydana getirmekte ve bunun sonucu biyogaz hacminde azalma olmaktadır. Bu şekilde biyogazın üç önemli bileşeninden karbondioksit ve hidrojen sülfür uzaklaştırılmış ve geriye metan saf olarak kalmıştır. Bu işlem sonucunda ölçülen metan gazı miktarı ile sisteme verilen biyogaz miktarı orantılanarak biyogazın metan içeriği yüzde olarak belirlenmiştir.

#### **3.2.4. 37 °C' de en yüksek biyogaz verimi elde edilen bor bileşiği konsantrasyonlarının 25 ve 50 °C de inkübe edilen biyogaz reaktörlerinde test edilmesi**

Çizelge 3.1.' de belirtilen konsantrasyonlarda bor bileşiği eklenen biyogaz reaktörlerinin 37 °C' deki biyogaz üretim denemelerinde en yüksek verimim elde edildiği konsantrasyonlar belirlendikten sonra bu dozlardaki bor bileşikleriyle 25 ve 50 °C' de yeniden biyogaz üretim denemeleri yapılmıştır. Bu denemelerde deney prosedürü 37 °C' de sürdürülen denemelerle tamamen aynı şekilde tekrarlanmış olup değişken olarak sadece inkübatör ısısı 25 ve 50 °C' ye ayarlanmıştır.

#### **3.2.5. İstatistiksel değerlendirmeler**

Tüm deney gruplarında biyogaz reaktörlerinde üretilen biyogaz hacimleri kümülatif olarak değerlendirilmiştir.



#### 4. ARASTIRMA BULGULARI ve TARTISMA

Çalışmamızda farklı bor bileşiklerinin farklı konsantrasyonlarda ve farklı inkübasyon ısılarında biyogaz verimi üzerine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla sığır gübresi 1:1 oranında su ile karıştırıldıktan sonra Çizelge 3.1.' de belirtilen dozlarda bor bileşikleri eklenerek 37, 25 ve 50 °C' de biyogaz üretimi için anaerobik fermantasyona bırakılmıştır.

##### 4.1. 37 °C' de Yapılan Denemelerden Elde Edilen Biyogaz Üretim Sonuçları

Çalışmamızın bu aşaması, kullandığımız bor bileşiklerinin değişen konsantrasyonlarda biyogaz verimi üzerine etkinliğini belirlemeye yönelik olarak planlanmıştır. Bu amaçla inkübatörün ısısı, sığır gübresinin tabii ortamı olan canlının vücut ısısı (37 °C) temel alınmıştır. Buradaki amacımız sığır gübresinde bulunan metanojenik bakterilerin mezofilik olmasından dolayı onlar için optimum sıcaklığın sağlanmasıdır.

Bor bileşikleri başlangıç konsantrasyonu olarak Singh ve ark. (1992) çalışmalarında kullandıkları miktarlar dikkate alınarak kullanılmış ve ayrıca bu miktarın 10' ar birim şeklinde 1 kat aşağısı ve 2 kat yukarısı olmak üzere 4 doz olarak belirlenmiştir (Çizelge 3.1.). Bu çalışma sonucunda bor bileşiklerinin biyogaz verimi üzerine optimum etki gösteren konsantrasyonları belirlenmiştir. Elde edilen optimum bor konsantrasyonları daha sonra 25 ve 50 °C de inkübasyona bırakılarak biyogaz verimleri bulunmuştur.

Kümülatif biyogaz verimleri dışında her inkübasyon ısısında, biyogazın metan içeriği de haftalık olarak ölçülmüş ve elde edilen sonuçlar yüzde olarak hesaplanmıştır.

#### 4.1.1. ATT' nin biyogaz verimi ve üretilen biyogazdaki metan oranına etkisi

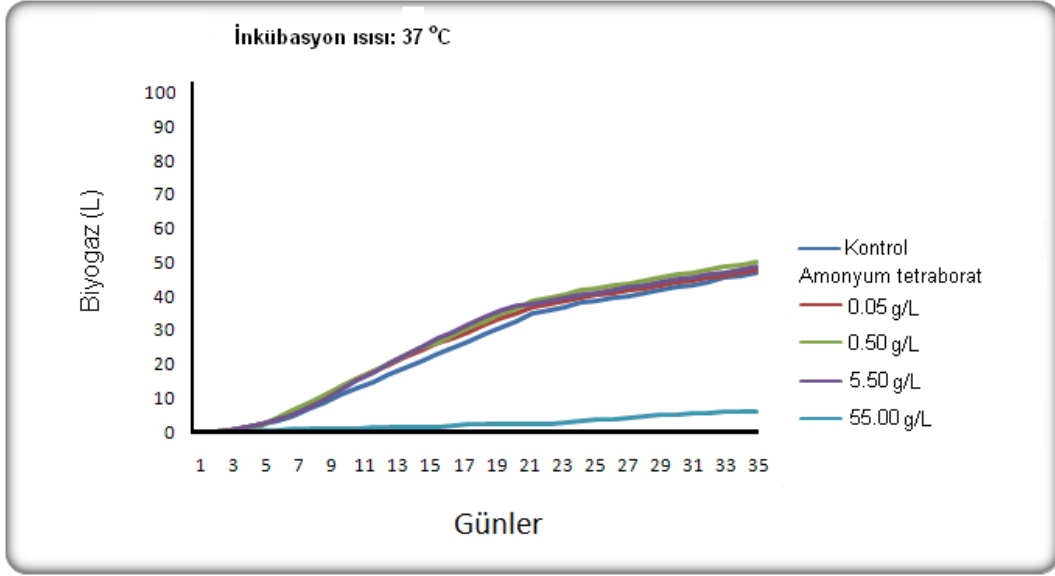
ATT [Amonyum tetraborat tetrahidrat,  $((NH_4)_2 B_4 O_7 \cdot 4H_2O)$ ] değişen konsantrasyonlarda  $37\text{ }^\circ\text{C}$ ' de 35 günlük inkübasyon sonucunda elde edilen biyogaz miktarları kümülatif olarak ve biyogazın metan içeriği yüzde olarak ölçülmüş ve elde edilen veriler Çizelge 4.1., Şekil 4.1 ve Şekil 4.2.' de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Sığır gübresinin  $37\text{ }^\circ\text{C}$ ' de biyogaz reaktörlerinde ATT' nin değişen dozlarıyla 35 günlük inkübasyonu sonucu biyogaz üretim miktarları ve metan oranları

37 °C' de Biyogaz üretim miktarı					
ATT konsantrasyonu	35 gün/ total (L/kg)	Günlük			Ortalama metan oranı (%)
		Ortalama (L/35gün)	En düşük (L/gün)	En yüksek (L/gün)	
Kontrol (-)	49.76	1.42	0.56	2.52	77.6
0.05 g/L	51.04	1.45	0.48	2.88	78.0
0.50 g/L	53.48	1.52	0.40	2.80	76.4
5.50 g/L	52.20	1.49	0.64	3.04	78.8
55.00 g/L	6.64	0.18	0	0.64	77.7

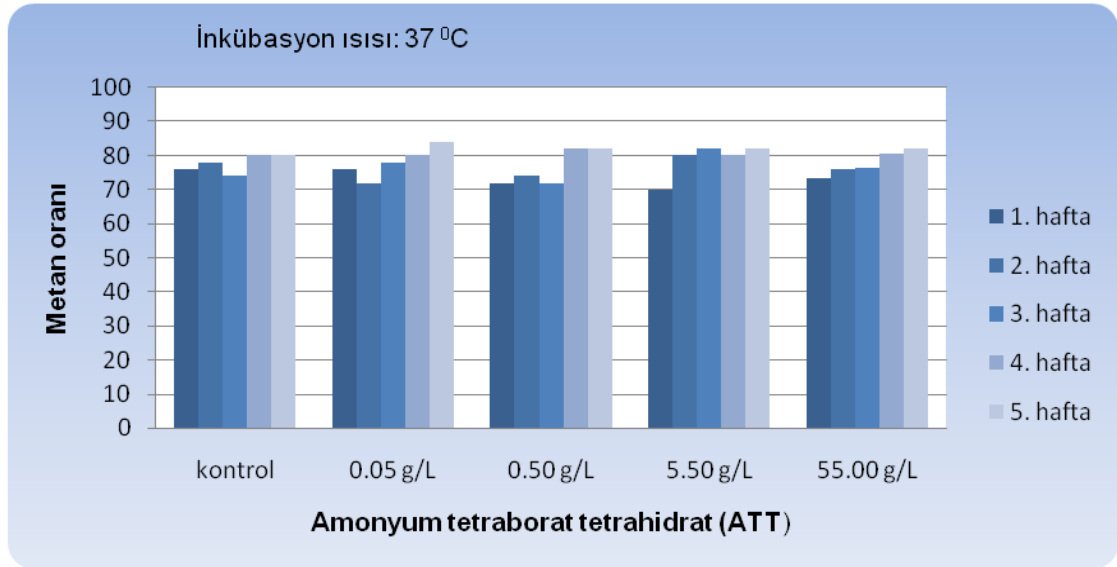
ATT' nin  $37\text{ }^\circ\text{C}$ ' de kontrole göre en yüksek biyogaz verimi 0.50 g/L dozunda sağlanmıştır. Bu dozda 35 günlük biyogaz miktarı kümülatif olarak 53.48 litre ölçülmüştür.

ATT' nin 0.50 g/L miktarda eklendiği reaktörde en yüksek verimde biyogaz üretimiyle birlikte biyogazın metan içeriği oransal olarak % 76.4 ölçülmüştür. Buna karşın en yüksek metan içeriği % 78.8 oranıyla ATT' nin 5.50 g/L dozda eklendiği reaktörde ölçülmüştür.



Şekil 4.1. Sığır gübresinin 125 g miktarında ATT' nin değişik dozlarıyla 37 °C ' de inkübasyonu sonucu üretilen biyogaz miktarının kümülatif olarak gösterimi

Elde edilen veriler değerlendirildiğinde biyogaz reaktörüne ATT eklenmesi ile biyogaz üretim miktarında kontrole göre artış sağlanmıştır. Biyogaz reaktöründe ATT eklenmesinin biyogaz miktarında artış sağlamasına karşın elde edilen biyogazın metan oranı kontrol reaktöründe üretilen biyogazın metan oranının gerisinde kalmıştır.



Şekil 4.2. Değişen ATT dozlarında üretilen biyogazların metan içerikleri % olarak ifade edilmektedir

#### 4.1.2. Boraksın biyogaz verimi ve üretilen biyogazdaki metan oranına etkisi

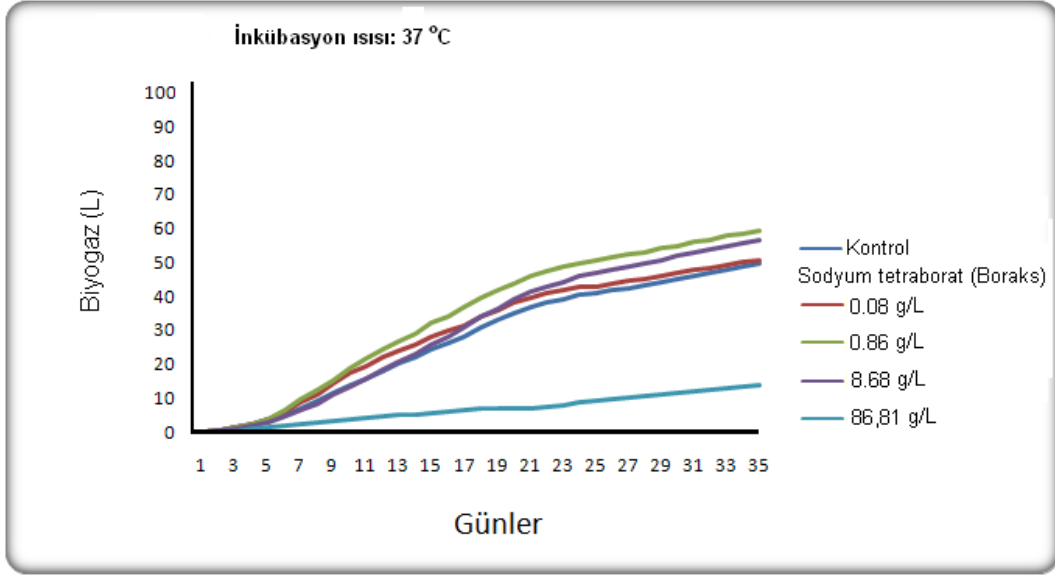
Boraks [Boraks, (Na<sub>2</sub> B<sub>4</sub> O<sub>7</sub> 10H<sub>2</sub>O)] değişen konsantrasyonlarda 37 °C' de 35 günlük inkübasyon sonucunda elde edilen biyogaz miktarları kümülatif olarak ve biyogazın metan içeriği ise yüzde olarak ölçülmüştür. Elde edilen veriler Çizelge 4.2., Şekil 4.3. ve Şekil 4.4.' de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Sığır gübresinin 37 °C' de biyogaz reaktörlerinde boraksın değişen dozlarıyla 35 günlük inkübasyonu sonucu biyogaz üretim miktarları ve metan oranları

37 °C' de Biyogaz üretim miktarı					
Boraks konsantrasyonu	35 gün/ total (L/kg)	Günlük			Ortalama metan oranı (%)
		Ortalama (L/35gün)	En düşük (L/gün)	En yüksek (L/gün)	
Kontrol (-)	49.76	1.42	0.56	2.52	77.6
0.08 g/L	50.52	1.44	0.64	3.04	79.6
0.86 g/L	59.24	1.69	0.52	3.44	78.4
8.68 g/L	56.44	1.61	0.40	3.28	77.6
86.81 g/L	13.84	0.39	0	0.80	80.8

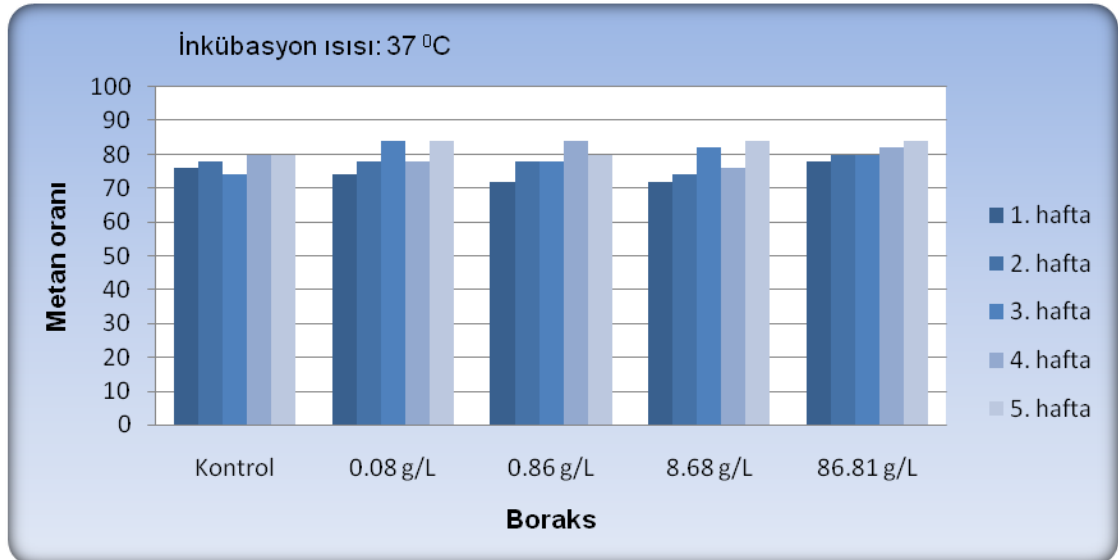
Boraks'ın 37 °C' de kontrole göre en yüksek biyogaz artışı 0.86 g/L dozunda sağlanmıştır. Bu dozda 35 günlük biyogaz miktarı kümülatif olarak 59.24 litre ölçülmüştür.

Boraksın 0.86 g/L miktarda eklendiği reaktörde en yüksek verimde biyogaz üretimiyle birlikte biyogazın metan içeriği oransal olarak % 78.4 ölçülmüştür. Buna karşın en yüksek metan içeriği % 80.8 oranıyla boraksın 86.81 g/L dozda eklendiği reaktörde ölçülmüştür.



Şekil 4.3. Sığır gübresinin 125 g miktarında Boraks'ın değişik dozlarıyla 37 °C' de inkübasyonu sonucu üretilen biyogaz miktarının kümülatif olarak gösterimi

Elde edilen veriler değerlendirildiğinde biyogaz reaktörüne Boraks eklenmesi ile biyogaz üretim miktarında kontrole göre en yüksek artış sağlanmıştır. Biyogaz reaktöründe Boraks eklenmesinin biyogaz miktarında artış sağlamasıyla birlikte elde edilen biyogazın metan oranı kontrol reaktöründe üretilen biyogazın metan oranını geride bırakmıştır.



Şekil 4.4. Değişen Boraks dozlarında üretilen biyogazların metan içerikleri % olarak ifade edilmektedir

#### 4.1.3. Borik asidin biyogaz verimi ve üretilen biyogazdaki metan oranına etkisi

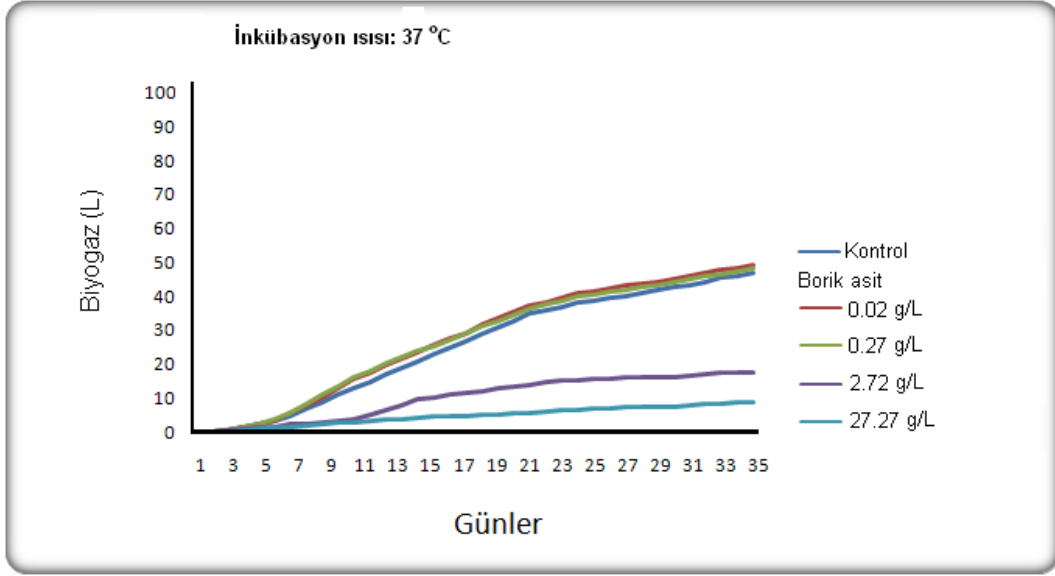
Borik asidin ( $B(OH)_3$ ) değişen konsantrasyonlarda  $37\text{ }^\circ\text{C}$ ' de 35 günlük inkübasyon sonucunda elde edilen biyogaz miktarları kümülatif olarak ve biyogazın metan içeriği ise yüzde olarak ölçülmüştür. Elde edilen veriler Çizelge 4.3., Şekil 4.5 ve Şekil 4.6.' da verilmiştir.

Çizelge 4.3. Sığır gübresinin  $37\text{ }^\circ\text{C}$ ' de biyogaz reaktörlerinde borik asitin değişen dozlarıyla 35 günlük inkübasyonu sonucu biyogaz üretim miktarları ve metan oranları

Borik asit konsantrasyonu	37 °C' de Biyogaz üretim miktarı				
	35 gün/ total (L/kg)	Günlük			Ortalama metan oranı (%)
		Ortalama (L/35gün)	En düşük (L/gün)	En yüksek (L/gün)	
Kontrol (-)	49.76	1.42	0.56	2.52	77.6
0.02 g/L	52.76	1.50	0.56	2.96	77.2
0.27 g/L	51.36	1.46	0.64	2.96	80.4
2.72 g/L	18.64	0.53	0.16	1.76	72.8
27,27 g/L	9.60	0.27	0	0.48	78.8

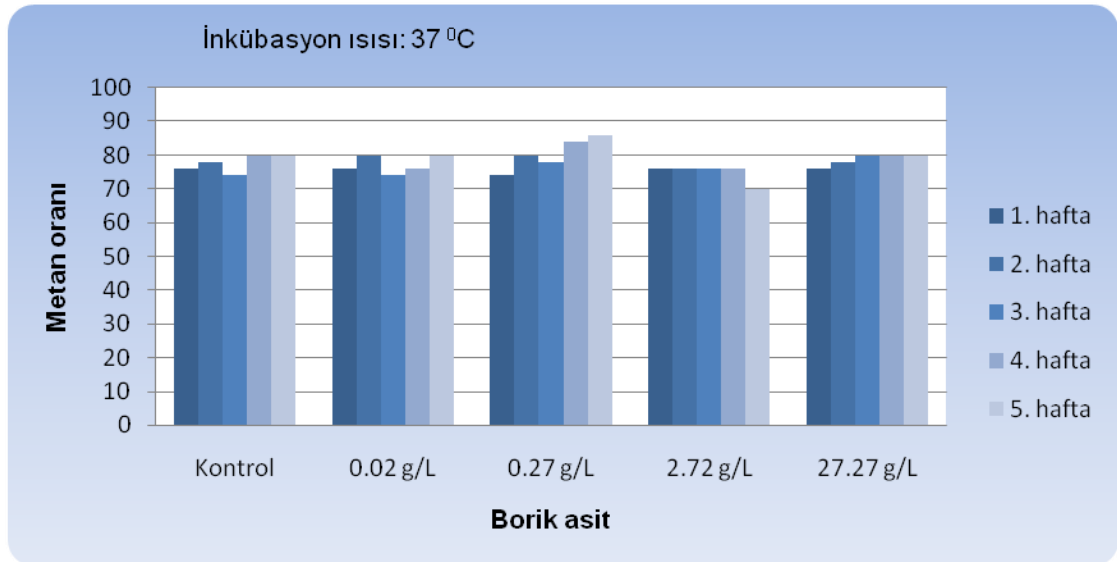
Borik asidin  $37\text{ }^\circ\text{C}$ ' de kontrole göre en yüksek biyogaz verimi 0.02 g/L dozunda sağlanmıştır. Bu dozda 35 günlük biyogaz miktarı kümülatif olarak 52.76 litre ölçülmüştür.

Borik asidin 0.02 g/L miktarda eklendiği reaktörde en yüksek verimde biyogaz üretimiyle birlikte biyogazın metan içeriği oransal olarak % 77.2 ölçülmüştür. Elde edilen bu oran kontrol grubunun gerisinde kalmıştır. Buna karşın en yüksek metan içeriği % 80.4 oranıyla borik asidin 0.27 g/L dozda eklendiği reaktörde ölçülmüştür.



Şekil 4.5. Sığır gübresinin 125 g miktarında borik asidin değişik dozlarıyla 37 °C' de inkübasyonu sonucu üretilen biyogaz miktarının kümülatif olarak gösterimi

Elde edilen veriler değerlendirildiğinde biyogaz reaktörüne borik asidin eklenmesi ile biyogaz üretim miktarında kontrole göre artış sağlanmıştır. Biyogaz reaktöründe borik asidin eklenmesiyle biyogaz üretiminde artış ile birlikte elde edilen biyogazın metan oranı en yüksek olarak 0.27 g/L borik asit eklenen reaktörde llmştır.



Şekil 4.6. Değişen borik asit dozlarında üretilen biyogazların metan içerikleri % olarak ifade edilmektedir

#### 4.1.4. LTT' nin biyogaz verimi ve üretilen biyogazdaki metan oranına etkisi

LTT [(Lityum tetraborat tetrahidrat, (Li<sub>2</sub> B<sub>4</sub> O<sub>7</sub> 4H<sub>2</sub>O)] değişen konsantrasyonlarda 37 °C' de 35 günlük inkübasyon sonucunda elde edilen biyogaz miktarları kümülatif olarak ve biyogazın metan içeriği ise yüzde olarak ölçülmüştür. Elde edilen veriler Çizelge 4.4., Şekil 4.7. ve Şekil 4.8.' de verilmiştir.

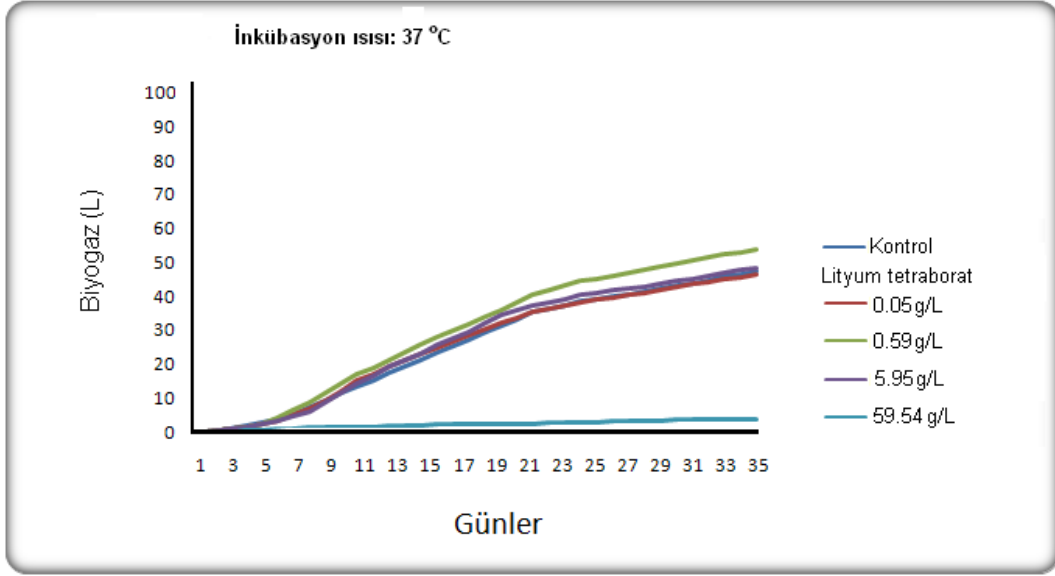
Çizelge 4.4. Sığır gübresinin 37 °C' de biyogaz reaktörlerinde LTT' nin değişen dozlarıyla 35 günlük inkübasyonu sonucu biyogaz üretim miktarları ve metan oranları

LTT konsantrasyonu	37 °C' de Biyogaz üretim miktarı				
	35 gün/ total (L/kg)	Günlük			Ortalama metan oranı (%)
		Ortalama (L/35gün)	En düşük (L/gün)	En yüksek (L/gün)	
Kontrol (-)	49.76	1.42	0.56	2.52	77.6
0.05 g/L	49.24	1.40	0.40	3.04	79.2
0.59 g/L	57.08	1.63	0.40	3.04	76.0
5.95 g/L	51.16	1.46	0.32	3.20	79.2
59.54 g/L	3.68	0.10	0	0.48	79.6

LTT' nin 37 °C' de kontrole göre en yüksek biyogaz verimi 0.59 g/L dozunda sağlanmıştır. Bu dozda 35 günlük biyogaz miktarı kümülatif olarak 57.08 litre ölçülmüştür.

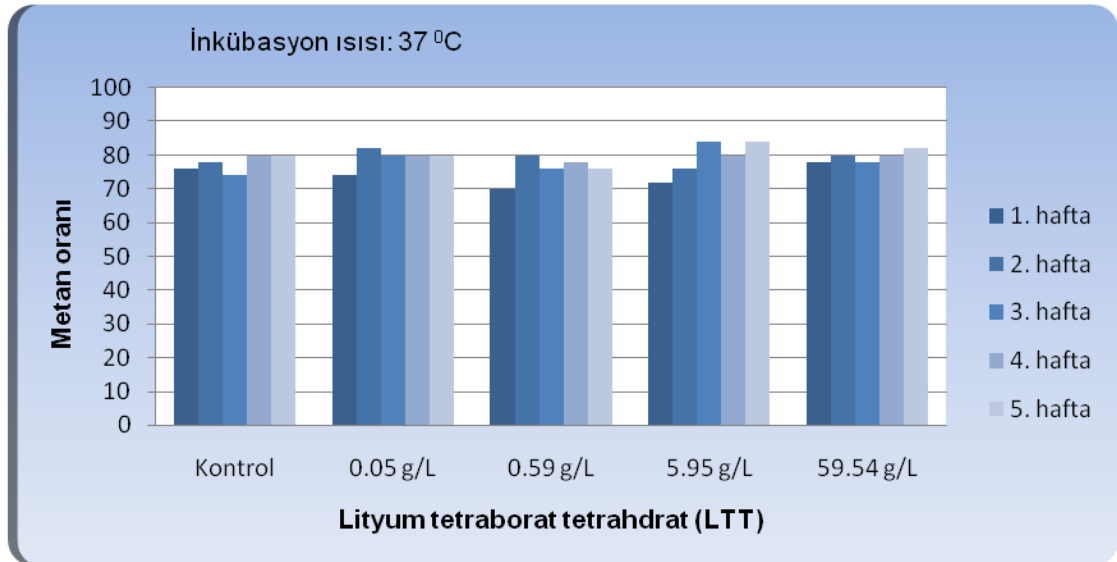
LTT' nin 0.59 g/L miktarda eklendiği reaktörde en yüksek verimde biyogaz üretimiyle birlikte biyogazın metan içeriği oransal olarak % 76.0 ölçülmüştür. Buna karşın en yüksek metan içeriği % 79.6 oranıyla LTT' nin 59.54 g/L dozda eklendiği reaktörde ölçülmüştür.





Şekil 4.7. Sığır gübresinin 125 g miktarında LTT' nin değişik dozlarıyla 37 °C' de inkübasyonu sonucu üretilen biyogaz miktarının kümülatif olarak gösterimi

Elde edilen veriler değerlendirildiğinde biyogaz reaktörüne LTT eklenmesi ile biyogaz üretim miktarında kontrole göre artış sağlanmıştır. Biyogaz reaktöründe LTT eklenmesinin biyogaz miktarında artış sağlamasına karşın elde edilen biyogazın metan oranı kontrol reaktöründe üretilen biyogazın metan oranının gerisinde kalmıştır.



Şekil 4.8. Değişen LTT dozlarında üretilen biyogazların metan içerikleri % olarak ifade edilmektedir

#### 4.1.5. PTT' nin biyogaz verimi ve üretilen biyogazdaki metan oranına etkisi

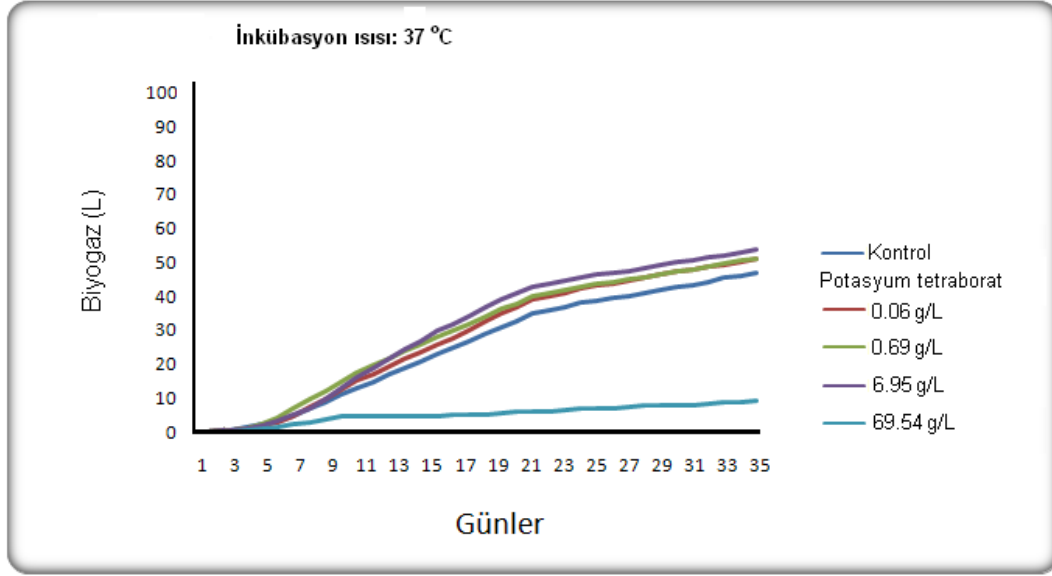
PTT [(Potasyum tetraborat tetrahidrat, (K<sub>2</sub> B<sub>4</sub> O<sub>7</sub> 4H<sub>2</sub>O)] değişen konsantrasyonlarda 37 °C' de 35 günlük inkübasyon sonucunda elde edilen biyogaz miktarları kümülatif olarak ve biyogazın metan içeriği ise yüzde olarak ölçülmüştür. Elde edilen veriler Çizelge 4.5. Şekil 4.9. ve Şekil 4.10.' de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Sığır gübresinin 37 °C' de biyogaz reaktörlerinde PTT' nin değişen dozlarıyla 35 günlük inkübasyonu sonucu biyogaz üretim miktarları ve metan oranları

37 °C' de Biyogaz üretim miktarı					
PTT konsantrasyonu	35 gün/ total (L/kg)	Günlük			Ortalama metan oranı (%)
		Ortalama (L/35gün)	En düşük (L/gün)	En yüksek (L/gün)	
Kontrol (-)	49.76	1.42	0.56	2.52	77.6
0.06 g/L	54.76	1.56	0.40	3.04	77.2
0.69 g/L	54.44	1.55	0.40	3.20	78.8
6.95 g/L	57.36	1.63	0.40	3.52	78.4
69.54 g/L	10.08	0.28	0	0.96	80.0

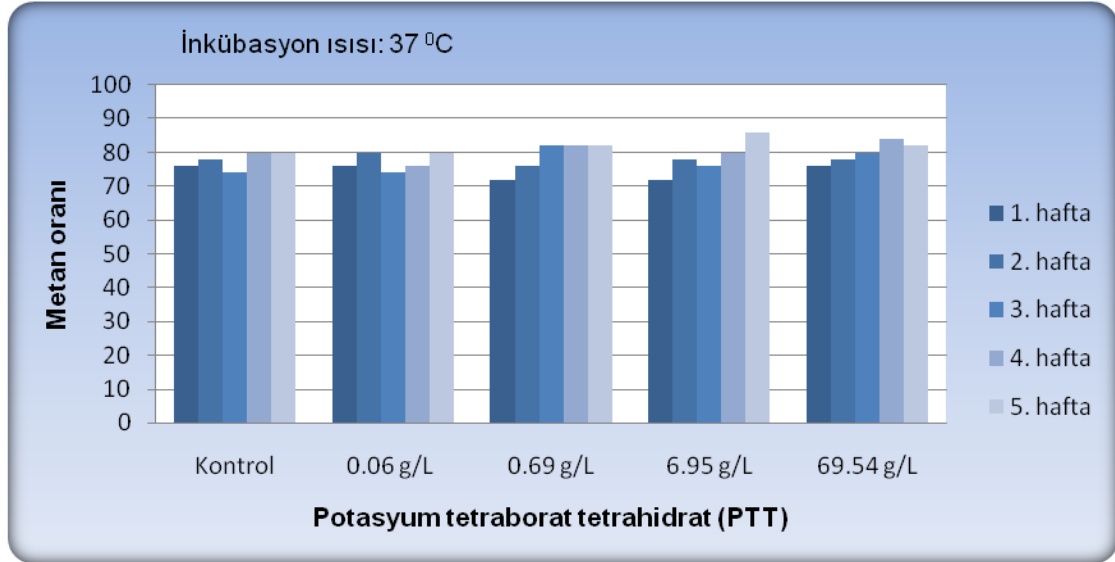
PTT' nin 37 °C' de kontrole göre en yüksek biyogaz verimi 6.95 g/L dozunda sağlanmıştır. Bu dozda 35 günlük biyogaz miktarı kümülatif olarak 57.36 litre ölçülmüştür.

PTT' nin 6.95 g/L miktarda eklendiği reaktörde en yüksek verimde biyogaz üretimiyle birlikte biyogazın metan içeriği oransal olarak % 78.4 ölçülmüştür. Buna karşın en yüksek metan içeriği % 80.0 oranıyla PTT' nin 69.54 g/L dozda eklendiği reaktörde ölçülmüştür.



Şekil 4.9. Sığır gübresinin 125 g miktarında PTT' nin değişik dozlarıyla 37 °C' de inkübasyonu sonucu üretilen biyogaz miktarının kümülatif olarak gösterimi

Elde edilen veriler değerlendirildiğinde biyogaz reaktörüne PTT eklenmesi ile biyogaz üretim miktarında kontrole göre artış sağlanmıştır. Biyogaz reaktöründe PTT eklenmesinin biyogaz miktarında artış sağlanmasıyla birlikte elde edilen biyogazın metan oranı kontrol reaktöründe üretilen biyogazın metan oranını geride bırakmıştır.



Şekil 4.10. Değişen PTT dozlarında üretilen biyogazların metan içerikleri % olarak ifade edilmektedir

#### 4.2. Bor Bileşiklerinin 37 °C' de Biyogaz Verimi ve Üretilen Biyogazdaki Metan Oranına Etkisi

Çalışmamızın 37 °C' de sürdürülen bölümünde bor bileşiklerinin sıgır gübresinden biyogaz verimi üzerine olumlu etkilerinin olduğu fakat bu etkinin sadece bazı dozlarda gözlemlendiği ve dozun yükseltmesi durumunda bu olumlu etkinin kaybolduğu hatta tersine döndüğü çizelge 4.6.' dan anlaşılmaktadır. 37 °C' deki inkübasyonda en yüksek verimin elde edildiği bor bileşiği boraks, en düşük verimin elde edildiği bileşik ise borik asit olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.6. 37 °C' de inkübe edilen biyogaz reaktörlerinde optimum biyogaz üretiminin sağlandığı reaktörlere eklenmiş olan bor bileşiği dozları ve üretilen biyogazın metan oranları

Bor bileşiği	En yüksek biyogaz veriminin gerçekleştiği bor bileşiğinin dozu, üretilen biyogaz miktarı ve metan oranı		
	Bor bileşiği dozu (g/L)	35 günlük total (L/kg)	Metan oranı (%)
Kontrol	-	49.76	77.6
ATT	0.50	53.48	76.4
Boraks	0.86	59.24	78.3
Borik Asit	0.02	52.76	77.2
LTT	0.59	57.08	76.0
PTT	6.95	57.36	78.4

Metan oranı yönünden değerlendirildiğinde ise boraks ve PTT' den en yüksek verim sağlanan dozlarda metan oranı da en yüksek düzeyde saptanırken, ATT, borik asit ve LTT' nin en yüksek verim sağlanan dozlarında elde edilen biyogazın metan oranı kontrol reaktöründen elde edilen biyogazın metan oranının gerisinde kalmıştır (Çizelge 4.6).

Kontrol grubu da dahil olmak üzere 37 °C deki inkübasyonda elde edilen biyogazın metan içeriği yüzde olarak birbirine yakın oranlarda seyretmiştir.

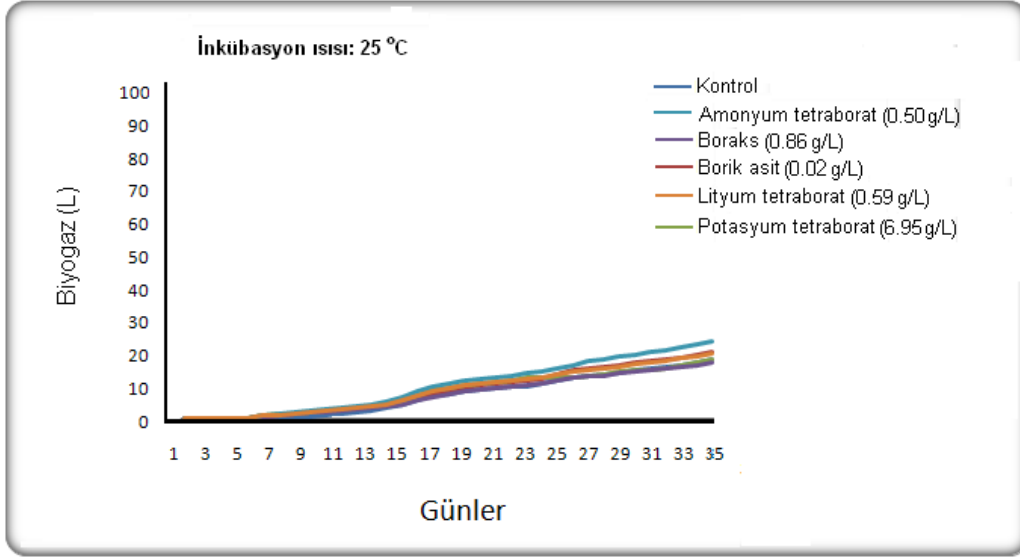
### 4.3. 37 °C' de Optimum Biyogaz Üretimini Gerçekleştirdiği Bor Bileşimi Konsantrasyonlarıyla 25 °C' de Biyogaz Üretim Denemeleri

Sığır gübresinden 37 °C' de değişen dozlarda bor bileşimleriyle yapılan biyogaz üretim denemelerinde en yüksek biyogaz veriminin elde edildiği konsantrasyonlar kullanılarak 25 °C' lik inkübasyon ısısında biyogaz üretim denemeleri gerçekleştirilmiştir. Bu denemelerden elde edilen biyogaz miktarları ve biyogazın içerdiği metan oranları Çizelge 4.7. Şekil 4.11. ve Şekil 4.12.' de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Sığır gübresinin 25 °C' de biyogaz reaktörlerinde çeşitli bor bileşiklerdin eklenmesiyle 35 günlük inkübasyon sonucu biyogaz üretim miktarları ve metan oranları

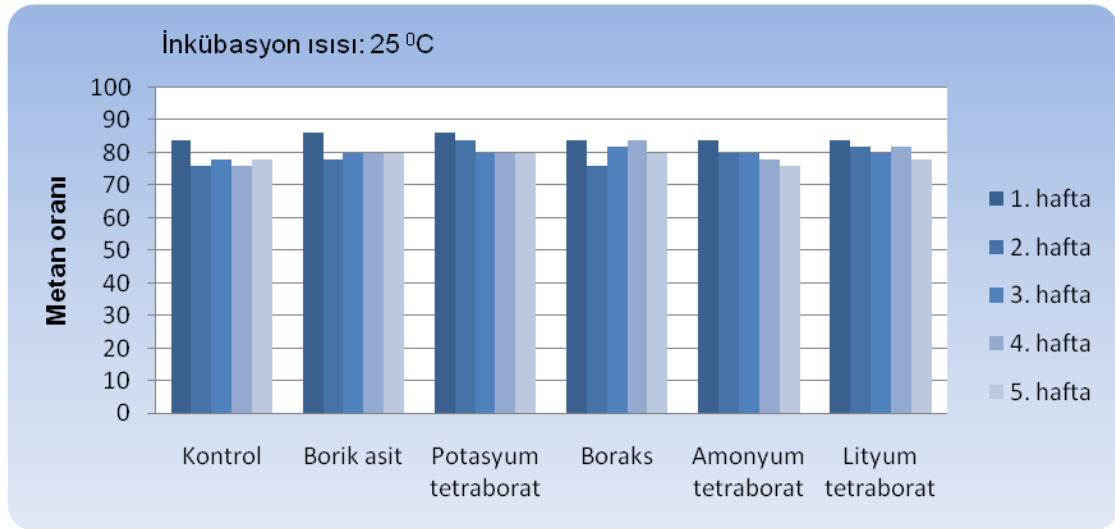
Bor bileşimi	25 °C' de Biyogaz üretim miktarı (L/kg)				
	35 gün/ total (L/kg)	Günlük			Ortalama metan oranı (%)
		Ortalama (L/gün)	En düşük (L/gün)	En yüksek (L/gün)	
Kontrol (-)	19.28	0.55	0.24	1.60	78.4
ATT (0.50 g/L)	25.12	0.71	0.40	1.92	79.6
Boraks (0.86 g/L)	18.16	0.51	0.32	1.36	81.2
Borik asit (0.02 g/L)	21.60	0.61	0.40	1.52	80.8
LTT (0.59 g/L)	21.04	0.60	0.32	1.84	81.2
PTT (6.95 g/L)	19.08	0.54	0.40	1.76	82.0

25 °C' de yapılan biyogaz üretim denemelerinde kontrole göre en yüksek biyogaz verimi ATT (0.50 g/L) ile sağlanmıştır. Bu dozda 35 günlük biyogaz miktarı kümülatif olarak 25.12 litre olarak ölçülmüştür. 25 °C' de yapılan inkübasyonda biyogaz üretiminde diğer inkübasyon ısılarına göre anlamlı bir şekilde düşüş görülmektedir.



Şekil 4.11. Sığır gübresinin 125 g miktarında bor bileşiklerinin 37 °C’ de inkübyasyonunda elde edilen optimum dozlarıyla 25 °C’ de gerçekleştirilen inkübyasyonlar sonucu üretilen biyogaz miktarlarının kümülatif olarak gösterimi

Elde edilen veriler değerlendirildiğinde biyogaz reaktörünün 25 °C’ de yapılan üretim denemelerinde biyogaz üretim miktarında kontrole göre artış sağlanmıştır. Biyogaz reaktöründe ATT, LTT ve PTT eklenmesi ile biyogaz miktarında artış sağlanmasına karşın borik asit ve boraks eklenen reaktörlerde biyogaz miktarı kontrolün gerisinde kalmıştır. Tüm reaktörlerden elde edilen biyogazın metan oranları kontrol reaktöründe üretilen biyogazın metan oranının üzerinde ölçülmüştür.



Şekil 4.12. Bor bileşiklerinin değişen dozlarında 25 °C’ de üretilen biyogazların metan içerikleri % olarak ifade edilmektedir

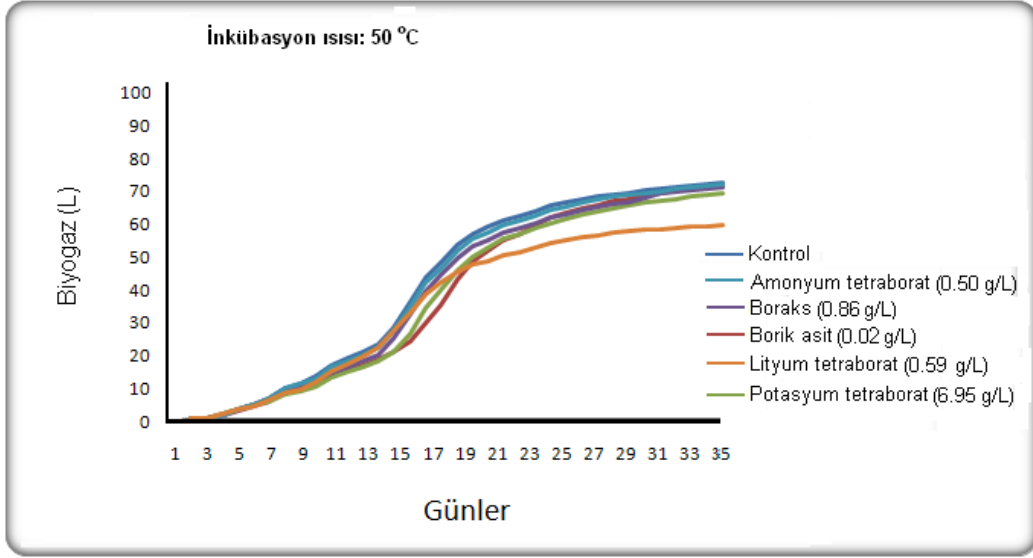
#### 4.4. 37 °C' de Optimum Biyogaz Üretim Gerçekleştiği Bor Bileşiği Konsantrasyonlarıyla 50 °C' de Biyogaz Üretim Denemeleri

Sığır gübresinden 37 °C' de değişen dozlarda bor bileşikleriyle yapılan biyogaz üretim denemelerinde en yüksek biyogaz veriminin elde edildiği konsantrasyonlar kullanılarak 50 °C inkübasyon ısısında biyogaz üretim denemeleri gerçekleştirilmiştir. Bu denemelerden elde edilen biyogaz miktarları ve biyogazın metan içeriği Çizelge 4.8. Şekil 4.13. ve Şekil 4.14.' de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Sığır gübresinin 50 °C' de biyogaz reaktörlerinde çeşitli bor bileşiklerinin eklenmesiyle 35 günlük inkübasyon sonucu biyogaz üretim miktarları ve metan oranları

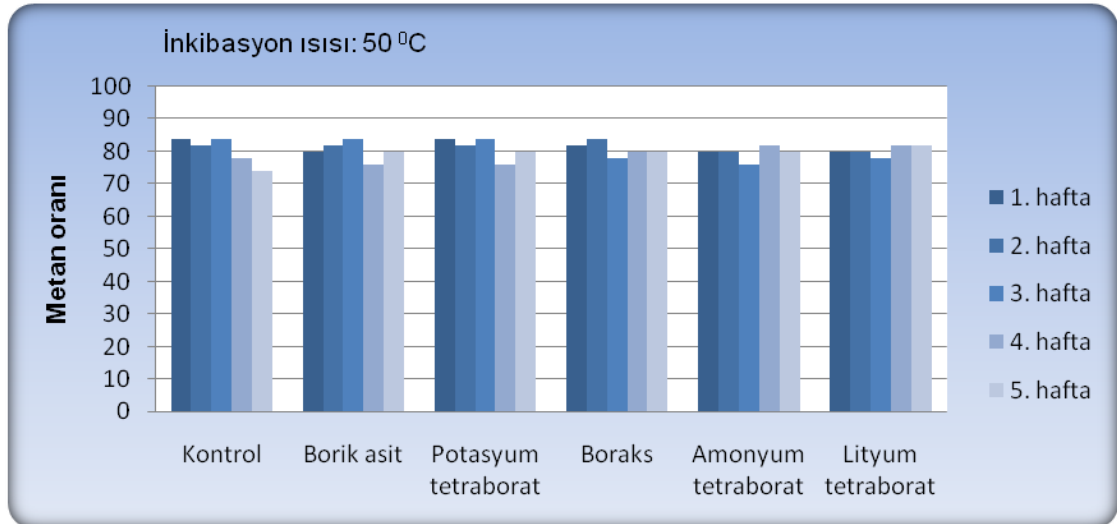
Bor bileşiği	50 °C' de Biyogaz üretim miktarı (L/kg)				
	35 gün/ total (L/kg)	Günlük			Ortalama metan oranı (%)
		Ortalama (L/gün)	En düşük (L/gün)	En yüksek (L/gün)	
Kontrol (-)	76.72	2.19	0.40	8.08	80.3
ATT (0.50 g/L)	76.32	2.18	0.48	8.16	79.6
Boraks (0.86 g/L)	75.36	2.15	0.40	7.92	80.8
Borik asit (0.02 g/L)	75.76	2.16	0.48	8.00	80.4
LTT (0.59 g/L)	62.96	1.79	0.24	5.92	80.5
PTT (6.95 g/L)	72.96	2.08	0.48	8.16	81.2

50 °C' de yapılan biyogaz üretim denemelerinde bor bileşiği uygulanan reaktörlerde üretilen biyogaz miktarları kontrolde üretilen biyogaz miktarının altında ölçülmüştür. Kontrol reaktöründe üretilen 35 günlük biyogaz miktarı kümülatif olarak 76.72 litre olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.13. Sığır gübresinin 125 g miktarında bor bileşiklerinin 37 °C’ de inkübasyonunda elde edilen optimum dozlarıyla 50 °C’ de gerçekleştirilen inkübasyonlar sonucu üretilen biyogaz miktarlarının kümülatif olarak gösterimi

Elde edilen veriler değerlendirildiğinde biyogaz reaktörünün 50 °C’ de yapılan üretim denemelerinde 37 ve 25 °C’ de sürdürülen üretim denemelerine göre oldukça yüksek miktarlarda biyogaz üretimi gerçekleşmiş olmasına karşın, bor bileşiği eklenen reaktörlerdeki üretim miktarları kontrolün gerisinde kalmıştır. Aynı zamanda bor eklenen reaktörlerden elde edilen biyogazın metan oranları boraks dışında kontrol reaktöründe üretilen biyogazın metan oranlarının gerisinde kalmıştır.



Şekil 4.14. Bor bileşiklerinin değişen dozlarında 50 °C’ de üretilen biyogazların metan içerikleri % olarak ifade edilmektedir



## 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

### 5.1. Sonuçlar

Tarımsal üretimin önemli bir kısmının gerçekleştirildiği hayvancılık faaliyetleri sonucu açığa çıkan hayvan gübrelerinin biyogaz üretiminde değerlendirilmesi, bir yandan bu atıkların çevreye dost bir şekilde ortadan kaldırılmasını sağlarken diğer yandan enerji sıkıntısına karşı yeni çözümleri beraberinde getirecektir.

Bilindiği gibi hayvancılık ülkemizde önemli bir ekonomik faaliyettir. Kırsal kesimlerde nüfusumuzun büyük çoğunluğu hayvancılıkla uğraşmaktadır. Hayvan gübrelerinin rastgele çevreye dağılması ya da kısmen tezek olarak kullanılması hem çevre kirliliğine yol açmakta hem de önemli bir enerji kaynağının israfına neden olmaktadır. Aynı zamanda çevreye rastgele saçılan hayvan gübreleri içerdiği patojen mikroorganizmalar nedeniyle bulaşıcı hastalıklar yönünden hem insan sağlığına hem de hayvan sağlığına ciddi bir tehdit oluşturmaktadır.

Çalışmamızda hayvansal atıklardan olan sığır gübresinden biyogaz üretimi üzerine bor bileşiklerinin ve bu bileşiklerle birlikte inkübasyon ısısının etkinliği araştırılarak bor bileşiklerinin değişik dozlarda ve değişik ısı derecelerinde biyogaz verimi üzerine farklı düzeylerde olumlu ve olumsuz etkilerinin olduğu saptanmıştır.

Biyogaz üretim reaktörlerinde 25 °C' de yapılan üretimde, sisteme bor bileşiklerinden ATT eklenmesi sonucu biyogaz veriminde kontrole göre % 14.5' lik bir artış sağlanmıştır. Bu sonuç belirtilen bor bileşiğinin eklenmesi ile aynı şartlarda biyogaz üretiminde ekstradan bir artış anlamına gelmektedir. Benzer olarak 37 °C' de yapılan üretim denemesinde Boraks ile sağlanan verim artışı %16.2 düzeyindedir.

Çalışmamızla bor bileşiklerinin sakrofilik ve mezofilik şartlarda biyogaz üretimi üzerine pozitif etki gösterdiği ortaya konularak yapılacak biyogaz üretim

tesislerinde sakrofilik ve mezofilik ısı ortamlarına belirtilen bor bileşiklerinin optimize ettiğimiz dozlarda katılmasını tavsiye edebiliriz. Bu sayede şartlar aynı olduğu halde sisteme belirtilen bor bileşikleri eklenerek yaklaşık % 15 oranında daha fazla biyogaz elde edilmesinin mümkün olacağını belirtebiliriz.

Diğer yandan, bor bileşiklerinin eklenmesiyle biyogaz verimi artışı yanında, elde edilen biyogazın metan içeriğinde de oransal olarak artış saptanmıştır. 25 °C' de ATT eklenen reaktörde kontrole göre biyogazın metan içeriği % 1.2 oranında daha yüksek ölçülmüştür. 35 günlük total biyogaz verimi dikkate alındığında (Çizelge 4.7) biyogaz üretim reaktörüne ATT eklenmesi sonucu metan oranındaki artışla, 1 kg sığır gübresinden 242.4 ml biyogaza eşdeğer daha fazla üretimin gerçekleşmiş olduğu düşünülebilir. Benzer olarak 37 °C' de sürdürülen biyogaz üretim reaktörüne Boraks eklenmesiyle, üretilen biyogazın metan oranı kontrole göre % 0.8 oranında daha yüksek ölçülmüştür. 35 günlük total biyogaz verimi dikkate alındığında (Çizelge 4.2) biyogaz üretim reaktörüne boraks eklenmesi sonucu metan oranındaki artışla, 1 kg sığır gübresinden 606.4 ml biyogaza eşdeğer daha fazla üretimin gerçekleşmiş olduğu düşünülebilir.

Bu açıdan bakıldığında sakrofilik ve mezofilik şartlarda biyogaz üretim reaktörlerine bor bileşiklerinin eklenmesi hem biyogaz miktarı açısından hem de biyogazın içerdiği metan miktarı açısından üretimde artış sağladığı gözlenebilir.

50 °C' de yapılan üretim denemelerinde bor bileşiklerinin biyogaz verimi üzerindeki etkisi çok düşük düzeylerde (% 1.3) negatif olarak gözlenmiştir. Bu açıdan bakıldığında sığır gübresinden biyogaz üretimi üzerine bor bileşiklerinin termofilik şartlarda katkısının olmadığını söyleyebiliriz. Her ne kadar 0.50 g/L Boraks ve 6.95 g/L PTT eklenen biyogaz reaktörlerinden elde edilen biyogazların metan oranları kontrole göre daha yüksek olmasına karşın, üretilen biyogaz miktarı kontrolün çok altındadır. Bu nedenle bor bileşiklerinin metan oranında bir yükselmeye katkıda bulunmasına karşın gerçek anlamda biyogaz verimi üzerine termofilik şartlarda bir katkısının olmadığını hatta üretimi olumsuz etkilediğini söyleyebiliriz.

## 5.2. Öneriler

Elde ettiğimiz verilerin ışığında aşağıdaki önerilerde bulunabiliriz:

1. Ülkemizin özellikle doğu bölgeleri başta olmak üzere hayvancılık yapılan kesimlerinde yüksek düzeyde atık biyokütle ve dolayısıyla biyogaz üretim potansiyeli bulunmaktadır. Bu potansiyelin biyogaz üretiminde değerlendirilmesiyle ülkemizin en büyük sorunlarından biri olan enerji sıkıntısı büyük oranda giderilebilir.
2. Hayvansal atıkların biyogaz üretiminde değerlendirilmesi için hem halkın bilinçlendirilmesi hem de biyogaz üretiminin cazip hale getirilmesi büyük önem arz etmektedir. Çalışmamız bu yönüyle birim kütlede en yüksek verimin elde edilmesine yönelik bir çalışma olması dolayısıyla hayvansal atıkların biyogaz üretimini özendirecek verileri sunmaktadır.
3. Biyogaz üretimi gerçekleştirmeyi planlayanlar için bor bileşiklerinin sakrofilik ve mezofilik sıcaklıklarda biyogaz üretim reaktörlerine çalışmamızda ortaya koyduğumuz optimum dozlarda eklenmesinin verim artışına ve ekonomik açıdan kazanç oluşmasına olanak sağlayacağı tavsiyesinde bulunabiliriz.
4. Her ne kadar termofilik şartlarda biyogaz üretimi üzerinde bor bileşiklerin olumlu etkisini gözleyememiş olmakla birlikte, termofilik ısı ortamının (biyogaz üretim reaktörünün 50 °C' ye ısıtılmasının) oluşturulmasının yüksek maliyeti nedeniyle zaten biyogaz üretimi için pratik olmadığını belirtebiliriz.
5. Hayvansal atıkların biyogaz üretiminde değerlendirilmesinin biyogaz üretimi açısından öneminin yanında hem insan ve hayvan sağlığı açısından hem de çevre açısından önemli olduğunu söyleyebiliriz. Biyogaz üretim prosesinde hayvansal atıkların içerdiği patojen mikroorganizmalarla parazit kist, yumurta ve erişkinlerinin tahrip olması nedeniyle insan ve hayvan sağlığının

korunmasına önemli katkılar sağlayacağından, hayvansal atıkların biyogaz üretiminde değerlendirilmesinin bu açıdan da tavsiye edilebilir olduğunu belirtebiliriz.

6. Hayvansal atıkların biyogaz üretiminde kullanımı sonucu sağlıklı ve kaliteli biyogübre elde etmek mümkündür. Hem patojenlerden arınmış hem de fermantasyon aşamasında organik maddelerin parçalanması sonucu azot, fosfor ve potasyum miktarında meydana gelen artış sonucu yüksek verimli biyogübre elde edilmesi sağlanmakta ve tarımsal aktivitelere katkı sağlanabilecek ve dolayısıyla insanlara daha sağlıklı tarımsal ürünler sunulabilecektir.

Sonuç olarak; hayvansal ve daha geniş anlamda tüm atıklardan (evsel, tarımsal ve endüstriyel) biyogaz üretim tesislerinin model uygulamalarının yapılması, değişik iklim koşullarına en uygun tipteki biyogaz tesislerinin belirlenerek geliştirilmesi, biyogazın kullanım alanlarının yaygınlaştırılması, biyogaz üretiminden arta kalan materyalin tarımda gübre olarak kullanımı yönünde çiftçilerin bilgilendirilmesi, biyogazın insan ve hayvan sağlığına olan katkılarının ve, atıklardan biyogaz üretimiyle oluşacak sosyo-ekonomik katkılarının kırsal kesimlere getireceği avantajlar ve çalışmamızda olduğu gibi birim kütleden biyogaz verimini artırıcı yöntemlerin araştırılması ile atıkların biyogaz üretiminde değerlendirilmesinin daha cazip hale getirilmesinin yararlı olacağını düşünmekteyiz.

## KAYNAKLAR

- ACAROĞLU, M., 2003. Alternatif Enerji Kaynakları, Nobel Basımevi, Ankara, 341s.
- ALİBAŞ, K., 1997. Determination of The Biogas Production From Livestock and Barley Straw at Different Digestion Temperature With Thermophilic, Mesophilic and Pyscrophilic Digestion. 4<sup>th</sup> International Conferance On Agricultural and Forest Engineering June 23-25, 1997. Warsaw Agricultural University Faculty of Agriculture and Forestry Engineering Warsaw, Poland, 80p.
- ANGELIDAKI, I., CHEN, X., CUIA, J., KAPARAJU, P., and ELLAGAARD, L., 2006. Thermophilic Anaerobic Digestion of Source-Sorted Organic Fraction of Household Municipal Solid Waste: Start-Up Procedure for Continuously Stirred Tank Reactor. *Water Research*, 40:2621-2628.
- AHN, J., LEE, S., and HWANG, S., 2004. Modelling and Biokinetics in Anaerobic Acidogenesis of Starch-Processing Wastewater to Acetic Acid. *Biotech. Prog.*, 20:636-638.
- ANGELIDAKI, I., CHEN X., CUIA J., KAPARAJU, P., and ELLAGAARD, L., 2006. Thermophilic Anaerobic Digestion of Source-Sorted Organic Fraction of Household Municipal Solid Waste: Start-up Procedure for Continuously Stirred Tank Reactor. *Water Research*, 40: 2621–2628.
- ANJAN, K. K., and SHIV, P. S., 2001. Effect of Mixing Digested Slurry on The Rate of Biogas Production From Dairy Manure in Batch Fermenter, *Energy Sources*, 23:711-715.
- ANOZIE, A. N., LAYOKUN, S. K., and OKEKE, C. U., 2005. An Evaluation Of A Batch Pilot- Scale Digester for Gas Production from Agricultural Wastes. *Energy Sources*, 27:1301-1311.
- ARDIÇ, İ., ve TANER, F., 2005. Biyokütleden Biyogaz Üretimi I: Anaerobik Artımın Temelleri. III. Yenilenebilir Enerji Kaynaklan Sempozyumu, 19-21 Ekim, Mersin, s.242-245.
- ARIKAN, B., 2008. Organik Evsel Katı Atıklardan Anaerobik Ortamda Biyogaz Üretiminin Verimliliğinin Araştırılması. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 155s.
- ASPLUND, S., 2005. The Biogas Production Plant at Umea Dairy Evaluation of Design and Start-Up. Linköpings Universitet Institute of Technology, Master Thesis, Linköpings, 87p.
- BATSTONE, D. J., KELLER, J., ANGELIDAKI, I., KALYUZHNY, S. V., PAVLOSTATHIS, S. G., ROZZI, A., SANDERS, W. T. M., SIEGRIST, H., and VAVILIN, V. A., 2002. Anaerobic Digestion Model No. 1 (ADM1), IWA Publishing, London, UK. 142p.
- BATSTONE, D. J., KELLER, J., NEWELL, R. B., and NEWLAND, M., 2000. Modelling Anaerobic Degradation of Complex Wastewater I: Model Development. *Bioresource Technology*, 75:67-74.
- BJORNSSON, L., 2000. Intensification of the Biogas Process by Improved Process Monitoring and Biomass Retention. Lund University, Department of Biotechnology, Doctoral Dissertation, Swedish, 57p.

- BUĞUTEKİN, A., ve BİNARK, A. K., 2004. Dünyada ve Ülkemizde Biyogaz Çalışmaları, Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, 26-28 Mayıs, İstanbul, s.593-600.
- CALLAGHAN, F. J., WASE, D. A. J., THAYANITHY, K., and FORSTER, C. F., 2001. Continuous Codigestion of Cattle Slurry With Fruit and Vegetable Wastes and Chicken Manure. *Biomass and Bioenergy*, 27:71-77.
- CHYI, Y. T., and DAGUE, R. R., 1994. Effects of Particulate Size in Anaerobic Acidogenesis Using Cellulose As A Sole Carbon Source. *Water Environment Research*, 66:670-678.
- CONVERSE, A. O., and OPTEKAR, J. D., 1993. A Synergistic Kinetics Model for Enzymatic Cellulose Hydrolysis Compared to Degree-of-Synergism: Experimental Results. *Biotechnology and Bioengineering*, 42:145-148.
- CROWE, M., NOLAN, K., COLLINS, C., CARTY, G., and DONLON, B., 2002. Biodegradable Municipal Waste Management in Europe. Part 1: Strategies and Instruments. European Environment Agency, Copenhagen, 48p.
- CROWE, M., NOLAN, K., COLLINS, C., CARTY, G., and DONLON, B., 2002. Biodegradable Municipal Waste Management in Europe, Part 3: Technology and Market Issues. European Environment Agency, Copenhagen, p32.
- CUILI, Z., GAIHE, Y., GUANGXIN, R., LILI, C., YONGZHONG, F., and DONGSHENG, B., 2008. Effects of Temperature On Biogas Production Efficiency and Fermentation Time of Four Manures. *Transactions of The Chinese Society of Agricultural Engineering*, 24:209-212.
- ÇETİNKAYA, M., ve KARAOSMANOĞLU, F., 2004. Biyogaz ve Türkiye İçin Seçenekler. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, 26-28 Mayıs, İstanbul s.627-644.
- DENİZ, Y., 1987. Türkiye’ de Biyogaz Potansiyeli ve Biyogazın Sağlayacağı Yararlar. T.C. Tarım Orman ve Köyşleri Bakanlığı, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Ankara Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, 41s.
- DE MES, T. Z. D., STAMS, A. J. M., REITH, J. H., and ZEEMAN, G., 2003. Methane Production by Anaerobic Digestion of Wastewater and Solid Wastes. In: Reith, J. H., Wijffels, R. H., Barten, H. (Eds.), *Bio-Methane & Bio-Hydrogen. Status and Perspectives of Biological Methane and Hydrogen Production*. Dutch Biological Hydrogen Foundation, Petten, The Netherlands, pp. 58-102.
- DEMİRER, G. N., DURAN, M., GÜVEN, E., UĞURLU, O., ERGÜDER, T. H., TEZEL, U., ŞEN, S., KORKUSUZ, E. A., ve VAROLAN, N., 2001. Organik Atıklardan Anaerobik Yöntemlerle Biyogaz Eldesi: Türkiye’de Uygulanabilirlik. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, 18-20, Ocak, İzmir, s.99-105.
- DEUBLEIN, D., and STEINHAUSER, A., 2008. *Biogas from Waste and Renewable resources. An Introduction*, Copyright, Wiley-VCH, Verlag GmbH & Co. KgaA, Weinheim, 443p.
- EKİNCİ, M. S., 2007. Tavuk Gübresinden Biyogaz Üretimi İçin En Uygun Koşulların Belirlenmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 125s.

- ERYAŞAR, A., 2007. Kırsal Kesime Yönelik Bir Biyogaz Sisteminin Tasarımı, Kurulumu, Testi ve Performansına Etki Eden Parametrelerin Araştırılması. Ege Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İzmir, 272s.
- EYİDOĞAN, M., 2008. Biyogazın Saflaştırılması ve Biyoyakıt Olarak Kullanılması. Kocaeli Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü, Mühendislik ve Makina Dergisi, 49:584.
- GHALY, A. E., 1996. A Comparative Study of Anaerobic Digestion of Acid Cheese Whey and Dairy Manure in A Two Stage Reactor. *Bioresource Technology* 58:61-72.
- GÖKÇAY C. F., DEMİRER, G. N., DURAN M. M., 2001. Anaerobik Biyoteknoloji Teorik Altyapı ve Uygulamalar, Eğitim Semineri Notları, IV. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, 7-10 Kasım, TMMOB Çevre Mühendisleri Odası, İçel, s.17.
- GUJER, W., and ZEHNDER, A. J. B., 1983. Conversion Process in Anaerobic Wastewater Treatment. *Wat. Sci. Tech.*, 15:127-167.
- GÜLEN, J., ve ARSLAN, H., 2004. Biyogaz. Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya Mühendisliği, Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 4:121-129.
- HENZEN, M., and HARREMOES, P., 1983. Anaerobic Treatment of Waste Water in Fixed Film Reactors-Literature Review. *Water Sci. Technol.* 15:1-102.
- HILLS, D. J., and ROBERTS, D. W., 1981. Anaerobic Digestion of Dairy-Manure and Field Crop Residues. *Agricultural Wastes*, 3:179-189.
- HWANG, S., 1995. Bioprocess Models to Control Production Of Short Chain Organize Acids From Cheese Processing Wastewater. Ph.D, Dissertation Submitted. Utah State University, Logan, Utah. pp. 47-62.
- HWU, C. S., and LETTINGA, G., 1997. Acute Toxicity of Oleate to Acetate-Utilizing Methanogens in Mesophilic and Thermophilic Anaerobic Sludges. *Enzyme and Microbial Technology*, 21: 297-301.
- İLERİ, R., 2000. Çevre Biyoteknolojisi. Değişim yayınları, Adapazarı, 661s.
- JIANGUA, J., JICHAO, S., SHIYAO, W., YING, Y., and LIMINIG, W., 2007. Prospects of Anaerobic Digestion Technology in China. *Tsinghua Science and Technology*, 12:435- 440.
- JUANGA, J. P., 2005. Optimizing Dry Anaerobic Digestion of Organic Fraction of Municipal Solid Waste. Asian Institute of Technology, Master Thesis, Thailand, 170p.
- KALIA, V. C., 2007. Microbial Treatment of Domestic and Industrial Wastes for Bioenergy Production. Microbial Biotechnology and Genomics Institute of Genomics and Integrative Biology, CSIR, Delhi University, Delhi, 31p.
- KARATAŞ, A., 2006. Tavuk Gübresinin Anaerobik Parçalanması için Uygun Koşulların Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, s.14-20.
- KARENA, O., 2004. Greening Waste: Anaerobic Digestion for Treating The Organic Fraction of Municipal Solid Wastes. Columbia University Department of Earth and Environmental Engineering Fu Foundation of School of Engineering and Applied Science, Master Thesis, 54p.
- KARIM, K., HOFFMANN, R., KLASSON, T. K., and AL-DAHMAN, M. H., 2005. Anaerobic Digestion of Animal Waste: Effect of Mode of Mixing. *Water Research*, 39:3597-3606.

- KASENG, K., IBRAHIM, K., PANEERSELVAM, S. V., and HASSAN, R. S., 1992. Extracellular Enzyme and Acidogen Profiles of A Saboratory-Scale Two-Phase Anaerobic Digestion System. *Process Biochemistry*, 27:43-47.
- KOBYA, M., 1992. Sığır Gübresinden Biyogaz Üretimi ve Erzurum Koşulları için Bir Biyogaz Tesis Tasarımı. Atatürk Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum, 68s.
- KRIEG, A., and FISHER, T., 2001. Planning and Construction of Biogas Plants. *in: International Congress, Renewable Energy Sources in the Verge of XXI Century*, 10.-11. Dezember, Warschau, pp. 3-4.
- LAY, J. J., LI, Y. Y., NOIKE, T., ENDO, J., and ISHIMOTO, S., 1997. Analysis of Environmental Factors Affecting Methane Production from High-Solids Organic Waste. *Water Science and Technology*, 36:493-500.
- LEITAO, R. C., VAN HAANDEL, C., ZEEMAN, G., and LETTINGA, G., 2005. The Effects of Operational and Environmental Variations on Anaerobic Wastewater Treatment Systems: A Review *Bioresource Technology*, 97:1105-1118.
- LIAO, B. Q., KRAEMER, J. T., and BAGLEY, D. M., 2006. Anaerobic Membrane Bioreactors: Applications and Research Directions. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 36:489-530.
- LOEHR, R.C., 1984. *Pollution Control for Agriculture*. Academic Press, New York, USA, pp. 23-37.
- LUSK, P., 1997. Anaerobic Digestion and Opportunities for International Technology Transfer, The Third Biomass Conference of the Americas, Pergamon Pres, Montréal, Québec, UK, pp. 1211-1220.
- LUSK, P., 1998. Methane Recovery from Animal Manures. The Current Opportunities Casebook. NREL, Golden, Colorado. pp. 7-3.
- MAHANTA, P., SAHA, U. K., DEWAN, A., and KALITA, P., 2004. The Influence of Temperature and Total Solid Concentration on The Gas Production Rate of A Biogas Digester. *Journal of Energy in Southern Africa*, 15:112-117.
- MCCARTHY, P. L., 1982. One Hundred Years Of Anaerobic Treatment. In: Hughes et al., (eds) *Anaerobic Digestion*, Elsevier Biomedical, Amsterdam, pp. 3-22.
- MIGNONE, N. A., 2005. Biological Inhibition / Toxicity Control in Municipal Anaerobic Digestion Facilities. *Journal Water Pollution Control Federation*, 37: 392-406.
- MISI, S. N., and FORSTET, C. F., 2001. Batch Co-Digestion of Multi-Component Agrowastes. *Bioreource Technology*, Elsevier Science Ltd, pp. 19-28.
- MONNET, F., 2003. *An Introduction to Anaerobic Digestion of Organic Wastes*, Final Raport, Remada, Scotland, 48p.
- NAMIK, A. K., 2008. Organik Katı Atıkların Biyometanizasyonu ile Enerji ve Organik Gübre Eldesini Öncelemek. 7. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, 17-19 Aralık, İstanbul, s.363-374.
- NORDBERG, A., and EDSTROM, M., 1997. Co-Digestion of Ley Crop Silage, Straw and Manure, In: *The Future of Biogas in Europe*, Bio Pres, Herning Denmark, pp. 74-81.
- OERTHER, D. B., 2006. Anaerobic Treatment in the 21st Century. *Water Environment Research*, 78: 459.



- OJOLO, S. J., OKE, S. A., ANIMASAHUN, K., and ADESUYI, B. K., 2007. Utilization Of Poultry, Cow and Kitchen Wastes For Biogas Production: A Comparative Analysis, *Iranian Journal Of Environmental Health Science & Engineering* 4:223-228.
- ÖZTÜRK, E., 2007. Peyniraltı Suyunun Anaerobik Arıtma Çamuru Reaktöründe Arıtımında En Uygun Koşulların Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, s.34-79.
- ÖZTÜRK, İ., 1999. Anaerobik Biyoteknoloji ve Atık Arıtımındaki Uygulamaları. İ.T.Ü İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Su Vakfı Yayınları, İstanbul, 320s.
- ÖZTÜRK, M., 2005. Hayvan Gübresinden Biyogaz Üretimi, Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara, 53s.
- PARAWIRA, W., MURTO, M., READ, J. S., and MATTIASSON, B., 2005. Profile of Hydrolases and Biogas Production During Two-Stage Mesophilic Anaerobic Digestion of Solid Potato Waste. *Process Biochemistry*, 40:2945-2952.
- PARK, C., LEE, C., KIM, S., CHEN, Y., and CHASE, H. A., 2005. Upgrading of Anaerobic Digestion by Incorporating Two Different Hydrolysis Processes. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 100: 164–167.
- PARK, Y. D., LIM, J. H., and PARK, N. J., 1981. Study On Biogas Generation From Animal Wastes. *Energy Resource and Management*, 21:61-68.
- PIND, P., ANGELIDAKI, I., and AHRING, B. K., 2003. Dynamics Of The Anaerobic Process: Effects Of Volatile Fatty Acids. *Biotech, Bioeng*, 82:791-801.
- RAJESHWARI, K. V., BALAKRISHNAN, M., KANSA, A., LATA, K., and KISHORE, V. V. N., 2000. State-of-the-Art of Anaerobic Digestion Technology for Industrial Wastewater Treatment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 4:135-156.
- RAO, M. S., SINGH, S. P., SINGH, A. K., and SODHA, M. S., 2000. Bioenergy Conversion Studies of The Organic Fraction of MSW: Assessment of Ultimate Bioenergy Production Potential of Municipal Garbage. *Applied Energy*, 66:75–87.
- SASSE, L., KELLNER, C., and KIMARO A., 1991. Improved Biogas Unit for Developing Countries, A Publication of the Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien, GATE in: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, 84p.
- SINGH, S. K., SINGH, A., and PANDEY, G. N., 1993. Methaonogenesis of Water Hyacinty in The Presence of Boron Compounds. *Renewable Energy*, 3:45-47.
- SOUBES, M., 1994. Microbiologia de La Digestion Anaerobia. Taller e Seminario Latinoamericano, 3. Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales. Montevideo, Uruguay, pp. 15 - 27.
- SÖZER, S., ve YALDIZ, O., 2006. Sığır Gübresi ve Peynir Altı Suyu Karışımlarından Biyogaz Üretimi Üzerine Bir Araştırma. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 19:179-183.
- SPEECE, R. E., 1995. A Survey of Municipal Anaerobic Sludge Digester and Diagnostic Activity Assays, *Wat. Res.*, 22:365-372.
- SPEECE, R. E., 1996. *Anaerobic Biotechnology for Industrial Waste Water Treatment*, Archae Press, Nashville, Tennessee, 393p.

- TCHOBANOGLIOUS, G., BURTON, F. L., STENSEL, H. D., 2003. Wastewater Engineering (Treatment and Reuse). (4th ed.). Metcalf & Eddy Inc., Mc Graw Hill, New York, USA, 1819p.
- TOLAY, M., YAMANKARADENİZ, H., YARDIMCI, S., ve REITER, R., 2008. Hayvansal Atıklardan Biyogaz Üretimi, Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, 17-19 Aralık, İstanbul, s.259-264.
- TÜRKER, M., 2008. Anaerobik Biyoteknoloji ve Biyogaz Üretimi Dünya’da ve Türkiye’de Eğilimler. 7. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, 17-19 Aralık İstanbul, s.305-312.
- TÜRKER, M., 2005. Biyoreaksiyon Mühendisliği: Biyolojik Proseslerin Kinetiği ve Modellenmesi, Su Vakfı Yayınları, İstanbul, 479s.
- UZODINMA, E. O. U., OFOEFULE, A. U., EZE, J. I. ONWUKA, N. D., 2007. Optimum Mesophilic Temperature of Biogas Production from Blends of Agro-Based Wastes. Trends in Applied Sciences Research, 2:39-44.
- VAVILIN, V. A., LOKSHINA, L. Y., FLOTATS, X., and ANGELIDAKI, I., 2007. Anaerobic Digestion of Solid Material: Multidimensional Modeling of Continuous-Flow Reactor with Non-Uniform Influent Concentration Distributions. Biotechnology And Bioengineering, 97: 354–366.
- VAN HAANDEL, A. C., and LETTINGA, G., 1994. Anaerobic Sewage Treatment. A Practical Guide for Regions with A Hot Climate. John Wiley & Sons Ltd., Chichester, England, 226p.
- VAN HAANDEL, A. C., and LETTINGA, G., 1994. Anaerobic Sewage Treatment. A Practical Guide for Regions with A Hot Climate. John Wiley & Sons Ltd., Chichester, England, 226p.
- VERMA, S., 2002. Anaerobic Digestion of Biodegradable Organics in Municipal Solid Wastes, Submitted in Partial Fullfillment of The Requirements for Master of Science Degree, In Earth Resources Engineering, Columbia University, Newyork, USA, 56p.
- YADVIKA, SREEKRISHAN, SANTOSH, T. R., and KOHLI, S., 2007. Effect Of HRT And Slurry Concentration on Biogas Production in Cattle Dung Based Anaerobic Bioreactors. Environmental Technology, 28:433-442.
- YILMAZ, A. H., ve ATALAY, F. S., 2004. Çeşitli Organik Katı Atıkların Anaerobik Fermantasyonu ve Modelleme Çalışmaları. 5. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, 26-28 Mayıs, İstanbul, s.619-626.
- YİĞİT, N., 2007. Peyniraltı Suyundan Sürekli Sistemde Biyogaz Üretimi için Uygun Koşulların Belirlenmesi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 113s.
- ZAHER, U., GRAU, P., BENEDETTI, L., AYESA, E., and VANROLLEGHEM, P. A., 2007. Transformers for Interfacing anaerobic digestion models to pre- and post-treatment processes in a plant-wide modelling. Environmental Modelling and Software, 22:40-58.

## Ö Z G E Ç M İ Ş

1981 yılında Diyarbakır'da doğdu. İlköğrenimini Diyarbakır Başdeğirmen İlkokulunda, ortaöğrenimini Diyarbakır Çatakköprü Ortaokulunda, lise öğrenimini Batman Fatih Lisesi'nde tamamladı. 2000 yılında Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü'ne girdi ve 2004 yılında mezun oldu. 2006 yılında Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim dalında yüksek lisansa başladı. Halen yüksek lisan öğrenimine devam etmektedir.

## ÖZET

Organik atıkların anaerobik şartlarda fermantasyonuyla biyogaz elde edilebilmesine karşın bu atıkların biyogaz üretiminde değerlendirilmesi henüz yeterli düzeylere ulaşılmamıştır. Kırsal kesimlerde hayvansal atıklardan biyogaz üretimini yaygınlaştırmak için birim kütleden elde edilen biyogaz miktarını arttırmaya ihtiyaç vardır. Bu çalışmada, mikrobiyal aktiviteler üzerine olumlu etkileri olduğu bilinen bor bileşiklerinin hayvansal atıklardan biyogaz üretimi üzerine etkileri araştırılmıştır. Sığır gübresi 1:1 oranında musluk suyu ile seyreltildi, daha sonra 250 mL hacminde laboratuvar ölçeğinde biyogaz reaktörlerine transfer edildi ve 35 gün boyunca inkübe edildi. Reaktörlere; amonyum tetraborat tetrahidrat (ATT), boraks, borik asit, potastum tetraborat tetrahidrat (PTT) ve lityum tetraborat tetrahidrat (LTT) aritmetik dozlarda eklendikten sonra 37 °C inkübe edildi. 37 °C’ de maksimum biyogaz üretimi için optimum bor bileşikleri konstrasyonları tespit edildi ve sırasıyla 25 ve 50 °C’ deki analizler için kullanıldı. 37 °C’ de kontrole (19.28 L) göre en yüksek biyogaz verimi (59.24 L) boraksın 0.86 g/L dozunda; 25 °C’ de kontrole (19.28 L) göre biyogaz üretiminde en yüksek verimi (19.28 L) ATT’ nin 0.50 g/L dozunda sağlandı. 50 °C’ deki inkübasyonda biyogaz üretiminde pozitif veya negative etkiler tespit edilmedi. Çalışmamızda elde edilen sonuçlara göre sakrofilik ve mezofilik koşullar altında biyogaz üretiminde uygun dozlarda bor bileşiklerinin kullanımının biyogaz veriminde yararlı olacağını öneriyoruz.

## SUMMARY

Although organic wastes can be used for biogas production by anaerobic fermentation, the organic wastes were not used for biogas production in appropriate levels. To popularize the biogas production from animal waste in rural areas, it is needed to increase the biogas production from unit biomass. In this study, the effects of the boron compounds, which are known to have positive effects on microbial activities, on biogas production from animal waste, were investigated. Cattle dung were diluted in ratio 1:1 with tap water, then transferred to lab-scale biogas reactors in 250 ml batch and incubated for 35 days. Ammonium tetraborate tetra hydrate (ATT), borax, boric acid, potassium tetraborat tetra hydrate (PTT) and lithium tetraborat tetra hydrate (LTT) were added to the reactors in arithmetical doses, and then incubated at 37 °C. The optimum boron compound concentration for maximum biogas production at 37 °C were determined and used for subsequent analysis at 25 and 50 °C. Borax in dose 0.86 g/L were providing maximum biogas production (59.24 L) at 37 °C with respect to control group (49.76 L) while ATT in dose 0.50 g/L (25.12 L) at 25 °C with respect to control group (19.28 L). There are no positive or negative effects were detected in production of biogas at 50 °C incubation. According to results obtained from our study, we suggest that the uses of boron compounds in appropriate doses at biogas production will have been beneficial for biogas yield under psychophilic and mesophylic conditions.