

**FARKLI KARIŞIM ORANLARINDAKİ SİĞİR GÜBRESİ  
VE MISIR SİLAJINDAN MEZOFİLİK  
FERMANTASYONLA ÜRETİLEBİLECEK BİYOGAZ  
MİKTARLARININ BELİRLENMESİ ÜZERİNE BİR  
ARAŞTIRMA**

**Aslı AYHAN**



T.C.

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI KARIŞIM ORANLARINDAKİ SİĞİR GÜBRESİ VE MISIR SİLAJINDAN  
MEZOFİLİK FERMANTASYONLA ÜRETİLEBİLECEK BİYOGAZ  
MİKTARLARININ BELİRLENMESİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA**

**Aslı AYHAN**

Prof. Dr. Kamil ALİBAŞ  
(Danışman)

DOKTORA TEZİ

TARIM MAKİNALARI ANABİLİM DALI

BURSA-2013

**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ ONAYI

Aslı AYHAN tarafından hazırlanan “Farklı Karışım Oranlarındaki Sığır Gübresi Ve Mısır Silajından Mezofilik Fermantasyonla Üretilebilecek Biyogaz Miktarlarının Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalı’nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Prof. Dr. Kamil ALİBAŞ

**Başkan:** Prof. Dr. Musa AYIK

**Üye:** Prof. Dr. Musa AYIK

**Üye:** Prof. Dr. Ufuk ALKAN

**Üye:** Doç. Dr. Halil ÜNAL

**Üye:** Doç. Dr. Yahya ULUSOY

**Yukarıdaki sonucu onaylarım**

**Prof. Dr. Ali Osman DEMİR**  
**Enstitü Müdürü**

.././....

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

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

**beyan ederim.**

.././.....

**Aslı AYHAN**

## ÖZET

Doktora Tezi

FARKLI KARIŞIM ORANLARINDAKİ SIĞIR GÜBRESİ VE MISIR SİLAJINDAN  
MEZOFİLİK FERMANTASYONLA ÜRETİLEBİLECEK BİYOGAZ  
MİKTARLARININ BELİRLENMESİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

**Aslı AYHAN**

Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Tarım Makinaları Anabilim Dalı

**Danışman:** Prof. Dr. Kamil ALİBAŞ

Bu çalışmanın amacı; mezofilik şartlarda biyogaz üretiminde süt sığırları gübresi ve mısır silajını farklı karışım oranlarında kullanarak elde edilecek biyogaz miktarlarını belirlemektir. Laboratuvar ölçekli anaerobik fermantasyon deneme süresi 120 gündür. Laboratuvar ölçekli anaerobik fermantasyon denemelerinde 3 farklı kuru madde oranı, 3 farklı gübre:silaj oranı ve 2 farklı aşılama oranı kullanılmıştır.

Laboratuvar ölçekli anaerobik fermantasyon deneme sonuçları göstermiştir ki, süt sığırları gübresi ve mısır silajının birlikte fermantasyonu biyogaz üretimi ve metan içeriğine pozitif etki etmektedir. En yüksek biyogaz üretimi 443,44 mL/gKM'dir. Bu üretim % 6 kuru madde oranına sahip, aşılama oranı % 30, gübre:silaj oranı 3:1 olan uygulamada elde edilmiştir. En yüksek metan verimi ise % 71,7 ile en yüksek silaj miktarına sahip, gübre:silaj oranı 1:3 olan karışımda elde edilmiştir.

500 litre kapasiteli fermantörlerde gerçekleştirilen anaerobik fermantasyon denemelerinde, laboratuvar ölçekli denemeler sonucunda belirlenen, en yüksek biyogaz üretimine sahip karışım içeriği kullanılmıştır. 500 litre kapasiteli fermantörlerde gerçekleştirilen anaerobik fermantasyon denemeleri 45 gün boyunca sürdürülmüştür. En yüksek günlük biyogaz üretimi 1742,36 L/kgKM olarak ölçülmüştür. Denemeler sonunda üretilen toplam biyogaz miktarı 13008 L ve en yüksek metan oranı % 66,6 bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Anaerobik fermantasyon, biyogaz, süt sığırları gübresi, mısır silajı

**2013, viii + 74 sayfa.**

## **ABSTRACT**

Phd Thesis

**A RESEARCH ON DETERMINATION OF BIOGAS QUANTITY FROM CATTLE  
MANURE AND MAIZE SILAGE AT DIFFERENT MIXING RATIO UNDER  
MESOPHILIC CONDITIONS**

**Aslı AYHAN**

Uludag University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Agricultural Machinery

**Supervisor:** Prof. Dr. Kamil ALİBAŞ

The objectives of this study were to determine the biogas quantity from dairy cattle manure and maize silage with different mixing ratio under mesophilic conditions. Laboratory scale anaerobic fermentation experiments were carried out for 120 days. Laboratory scale experiments were performed at three different total solid content, three different manure:silage mixtures and two different inoculum ratio.

The results showed that co-digestion of dairy cattle manure and maize silage have positive effects on biogas production and methane content of biogas. The highest biogas production was 433,44 mL/gDM. The highest biogas production was measured at the 6% total solid content, inoculum ratio 30% and the manure:silage ratio 3:1. The highest methane content was 71,7%. Also the highest methane content was measured at the manure:silage rate which was 1:3.

As a result of the laboratory-scale experiments, the mixture with the highest biogas production was used at the anaerobic fermentation experiments with a capacity of 500 liters digester. Anaerobic fermentation experiments carried out with a capacity of 500 liters digesters was continued for 45 days. The highest daily biogas production was measured as 1742,36 L/kgDM. At the end of the experiments, total amount of biogas production was 13008 L and the highest methane content was 66,6%.

**Key words:** Anaerobic digestion, biogas, dairy cattle manure, maize silage

**2013, viii + 74 pages.**

## TEŞEKKÜR

Tez alıőmamda, bilgi ve tecrübesiyle bana her zaman destek olan tez danıőmanım Prof. Dr. Kamil ALİBAŞ'a, tez izleme komitemde yer alarak değerli fikirleriyle katkıda bulunan Prof. Dr. Ufuk ALKAN ve Doç. Dr. Halil ÜNAL'a, tez çalıőmamın bir bölümünü Çin Halk Cumhuriyeti'nde yürütmeme imkan veren Yükseköğretim Kurulu'na, yurtdıőındaki çalıőmalarımda bilgi ve tecrübesiyle bana her zaman destek olan Prof. Dr. Liu QINGYU ve çalışma ekibine, fermantör olarak kullanılan 500 litre kapasiteli üç adet elik tüpü veren Aygaz A.Ő.'ye, bu tüpleri modifiye ederek fermantör haline dönüőtüren İőbay Makina İmalat Ticaret Limited Őirketi adına Hasan İŐBAY'a, SÜTAŞ Süt Ürünleri AŞ'nin anaerobik-aerobik atık su arıtma tesisi çalıőanlarına ve Serkan ANACAK'a, maddi manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen çok değerli aileme en içten duygularımla teşekkür ederim.

Aslı AYHAN

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	2
2.1. Dünya’da ve Türkiye’de Enerji.....	2
2.2. Anaerobik Fermantasyon.....	9
2.2.1. Anaerobik fermantasyon kademeleri.....	9
2.2.2. Anaerobik fermantasyon bakterileri.....	11
2.2.3. Anaerobik fermantasyon çeşitleri.....	11
2.2.4. Anaerobik fermantasyonu etkileyen faktörler.....	12
2.2.4.1. Fermantasyon sıcaklığı.....	12
2.2.4.2. Hidrolik bekleme süresi.....	13
2.2.4.3. Organik yükleme hızı.....	15
2.2.4.4. Organik maddenin pH’sı.....	15
2.2.4.5. Organik maddenin C/N oranı.....	16
2.2.4.6. Anaerobik fermantasyonda toksisite.....	18
2.3. Biyogazın Tanımı ve Üretim Döngüsü.....	19
2.3.1. Biyogazın özellikleri.....	20
2.3.2. Biyogaz üretiminde kullanılabilen organik hammaddeler.....	21
2.4. Kaynak Özetleri.....	23
3. MATERYAL-YÖNTEM.....	32
3.1. Materyal.....	32
3.1.1. Laboratuvar ölçekli anaerobik fermantasyon materyalleri.....	32
3.1.2. 500 litre kapasiteli anaerobik fermantasyon materyalleri.....	34
3.1.3. Anaerobik fermantasyon denemelerinde kullanılan ölçüm ve analiz cihazları.....	41
3.2. Yöntem.....	45
3.2.1. Laboratuvar ölçekli anaerobik fermantasyon denemeleri yöntemi.....	45
3.2.2. 500 litre kapasiteli anaerobik fermantasyon denemeleri yöntemi.....	47
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	50
4.1. Laboratuvar Ölçekli Anaerobik Fermantasyon Deneme Sonuçları.....	50
4.2. 500 Litre Kapasiteli Anaerobik Fermantasyon Deneme Sonuçları.....	63
5. SONUÇ.....	67
KAYNAKLAR.....	69
ÖZGEÇMİŞ.....	74



## SİMGE VE KISALTMALAR

### Simgeler

C  
CH<sub>3</sub>CO<sub>2</sub>H  
CH<sub>4</sub>  
CO  
CO<sub>2</sub>  
H<sub>2</sub>  
H<sub>2</sub>S  
K  
N  
NaOH  
NMVOCs  
N<sub>2</sub>O  
NO<sub>x</sub>  
O<sub>2</sub>  
O<sub>3</sub>  
P

### Açıklamalar

Karbon  
Asetik asit  
Metan  
Karbonmonoksit  
Karbondioksit  
Hidrojen  
Hidrojen Sülfür  
Potasyum  
Nitrojen (Azot)  
Sodyumhidroksit  
Metan Dışı Uçucu Organik Bileşikler  
Diazotmonoksit  
Azot oksitler  
Oksijen  
Ozon  
Fosfor

### Kısaltmalar

A  
ADF  
ADL  
AO  
BEÜ  
BIÜ  
°C  
Cel  
cm  
C/N  
cosφ  
d  
g  
G:S  
GWh  
ha  
HBS  
Hem  
Hz  
kg  
KM  
KOİ  
kPa

### Açıklamalar

Amper  
Asit Deterjant Lif  
Lignin  
Aşılama Maddesi Oranı  
Birim Elektrik Üretimi  
Birim Isı Üretimi  
Santigrat Derece  
Selüloz  
Santimetre  
Karbon:Azot Oranı  
Aktif Güç Çarpanı  
Dakika  
Gram  
Süt Sığırısı Gübresi: Mısır Silajı Karışım Oranı  
Gigawattsaat  
Hektar  
Hidrolik Bekleme Süresi  
Hemi-Selüloz  
Hertz  
Kilogram  
Kuru Madde  
Kimyasal Oksijen İhtiyacı  
Kilopaskal

kWh	Kilowattsaat
L	Litre
m <sup>3</sup>	Metreküp
mL	Mililitre
mm	Milimetre
MW	Megawatt
NDF	Nötral Deterjant Lif
OECD	Ekonomik Kalkınma Ve İşbirliği Örgütü
OYH	Organik Yükleme Hızı
ppm	Milyonda bir
TJ	Terajoule
TWh	Terawattsaat
UK	Uçucu Katı
UYA	Uçucu Yağ Asidi
V	Volt
XA	Kül
XL	Ham Yağ
XP	Protein
XS	Nişasta
XZ	Çözünebilir Şeker

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1.	2011 yılı Türkiye enerji üretiminin kaynaklara göre dağılımı.... 2
Şekil 2.2.	Anaerobik fermantasyon kademeleri..... 10
Şekil 2.3.	Doğadaki biyogaz döngüsü..... 20
Şekil 3.1.	Laboratuvar ölçekli anaerobik fermantasyon düzeneği..... 33
Şekil 3.2.	Su banyosu ve ısıtıcısı..... 33
Şekil 3.3.	Laboratuvar ölçekli anaerobik fermantasyon düzeneği ve su banyosu..... 34
Şekil 3.4.	500 litre hacimli fermantörlerin modifiye edilmeden önceki hali 35
Şekil 3.5.	500 litre hacimli fermantörlerin modifiye edildikten sonraki hali..... 36
Şekil 3.6.	Karıştırıcı mil ve kanatlar..... 37
Şekil 3.7.	Karıştırıcı mil, redüktör ve elektrik motoru..... 38
Şekil 3.8.	Kumanda panosu..... 38
Şekil 3.9.	Fermantör materyal girişi..... 39
Şekil 3.10.	Fermantör materyal çıkışı..... 40
Şekil 3.11.	Fermantör gaz çıkış borusu ve sayaç bağlantısı..... 41
Şekil 3.12.	Plastik gaz torbası ve biyogaz analiz cihazı..... 42
Şekil 3.13.	Deneme ve analizlerde kullanılan tartılar..... 42
Şekil 3.14.	Analizlerde kullanılan etüvler ve kül fırınları..... 43
Şekil 3.15.	Ham lif ekstraktörü..... 44
Şekil 3.16.	pH-metre ve pH kağıdı..... 44
Şekil 3.17.	Fermantöre besleme öncesi materyalin karıştırıldığı tank ve karıştırma işlemi..... 48
Şekil 4.1.	Laboratuvar ölçekli anaerobik fermantasyon denemesi biyogaz üretimi..... 53
Şekil 4.2.	Kuru madde oranı % 10 olan karışımların toplam biyogaz üretimi..... 54
Şekil 4.3.	Kuru madde oranı % 8 olan karışımların toplam biyogaz üretimi 55
Şekil 4.4.	Kuru madde oranı % 6 olan karışımların toplam biyogaz üretimi 55
Şekil 4.5.	Gübre:silaj oranı 1:1 olan karışımların toplam biyogaz üretimi... 56
Şekil 4.6.	Gübre:silaj oranı 3:1 olan karışımların toplam biyogaz üretimi... 57
Şekil 4.7.	Gübre:silaj oranı 1:3 olan karışımların toplam biyogaz üretimi... 57
Şekil 4.8.	Aşılama oranı % 20 olan karışımların toplam biyogaz üretimi... 58
Şekil 4.9.	Aşılama oranı % 30 olan karışımların toplam biyogaz üretimi... 59
Şekil 4.10.	N11, N12 ve N9 uygulamalarının biyogaz üretimi..... 60
Şekil 4.11.	Organik maddenin fermantör giriş ve çıkış pH değişimi..... 64
Şekil 4.12.	500 litre kapasiteli anaerobik fermantasyon denemesinde günlük beslenen organik madde dikkate alınarak belirlenen günlük biyogaz üretimi..... 65
Şekil 4.13.	500 litre kapasiteli anaerobik fermantasyon denemesi toplam biyogaz üretimi..... 66

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 2.1. OECD ülkelerinin 2006-2010 yıllarına ait kurulu güçleri ile elektrik üretim ve tüketim değerleri.....	3
Çizelge 2.2. Türkiye elektrik enerjisi üretiminin enerji kaynaklarına göre gelişimi.....	5
Çizelge 2.3. 2005 ve 2009 yılları Türkiye, Dünya ve OECD ülkelerinin yenilenebilir ve atıklardan elde ettikleri enerji miktarı.....	6
Çizelge 2.4. Türkiye'nin 1990-2011 yıllarına ait sera gazı emisyonları...	7
Çizelge 2.5. Türkiye'de sera gazı salınımına sebep olan başlıca faaliyetler ve sera gazı emisyon değerleri.....	8
Çizelge 2.6. Fermantasyon sıcaklığına göre metan bakterileri.....	11
Çizelge 2.7. Mezofilik şartlarda bazı hayvan gübrelerinde ortalama HBS	14
Çizelge 2.8. Organik maddelerin C/N oranı.....	17
Çizelge 2.9. Amonyakın metan üretimi üzerine etkisi.....	18
Çizelge 2.10. Anaerobik arıtmada çeşitli engelleyicilerin engelleme seviyesi.....	19
Çizelge 2.11. Biyogazı oluşturan maddeler ve oranları.....	20
Çizelge 2.12. Biyogazın bazı özellikleri.....	21
Çizelge 2.13. 1 m <sup>3</sup> biyogazın bazı yakıtlar cinsinden eşdeğeri.....	21
Çizelge 3.1. Laboratuvar ölçekli anaerobik fermantasyon deneme uygulama içerikleri.....	46
Çizelge 4.1. Laboratuvar ölçekli anaerobik fermantasyon denemesi hammadde özellikleri.....	50
Çizelge 4.2. Laboratuvar ölçekli anaerobik fermantasyon deneme sonuçları.....	51
Çizelge 4.3. Kuru madde oranı (KM), süt sığırı gübresi:mısır silajı karışım oranı (G:S) ve aşılama maddesi oranının (AO) biyogaz üretimine zamana bağlı etkileri.....	61
Çizelge 4.4. Kuru madde oranı (KM), süt sığırı gübresi:mısır silajı karışım oranı (G:S) ve aşılama maddesi oranının (AO) biyogaz üretimine zamana bağlı etkileri – İnteraksiyonlar...	62
Çizelge 4.5. 500 litre kapasiteli anaerobik fermantasyon denemelerinde kullanılan karışım materyalinin özellikleri.....	63

## 1. GİRİŞ

İş yapabilme yeteneğine enerji denir. Günümüzde bir ülkenin gelişimi, refahı güçlü bir ekonomiye sahip olmasına bağlıdır. Bu da ülke endüstrisinin gelişmişliği ile yakından ilgilidir. Enerjinin olmadığı yerde ise endüstriden söz edilemez.

Ülkemizde ve dünyada enerji ihtiyacı gelişen teknolojiye bağlı olarak her geçen gün artmaktadır. Fosil kökenli konvansiyonel enerji kaynaklarından enerji üretimi çevre-hava kirliliğine ve küresel ısınmaya yol açmaktadır. Ayrıca konvansiyonel enerji kaynakları sonsuz değildir. Bu yüzden enerji günümüzde en pahalı üretim girdilerinden birisi haline gelmiştir.

Konvansiyonel enerji kaynakları dışında kalan, sınırlı rezervi olmayan, belli sürelerle yenilenebilen enerjiler “Yenilenebilir Enerji” olarak isimlendirilmektedir.

Ülkemiz için olduğu kadar, dünyamızın en önemli sorunlarından; enerji ihtiyacı probleminin çözüm basamaklarından olan yenilenebilir enerji kaynaklarından bir tanesi de biyogazdır.

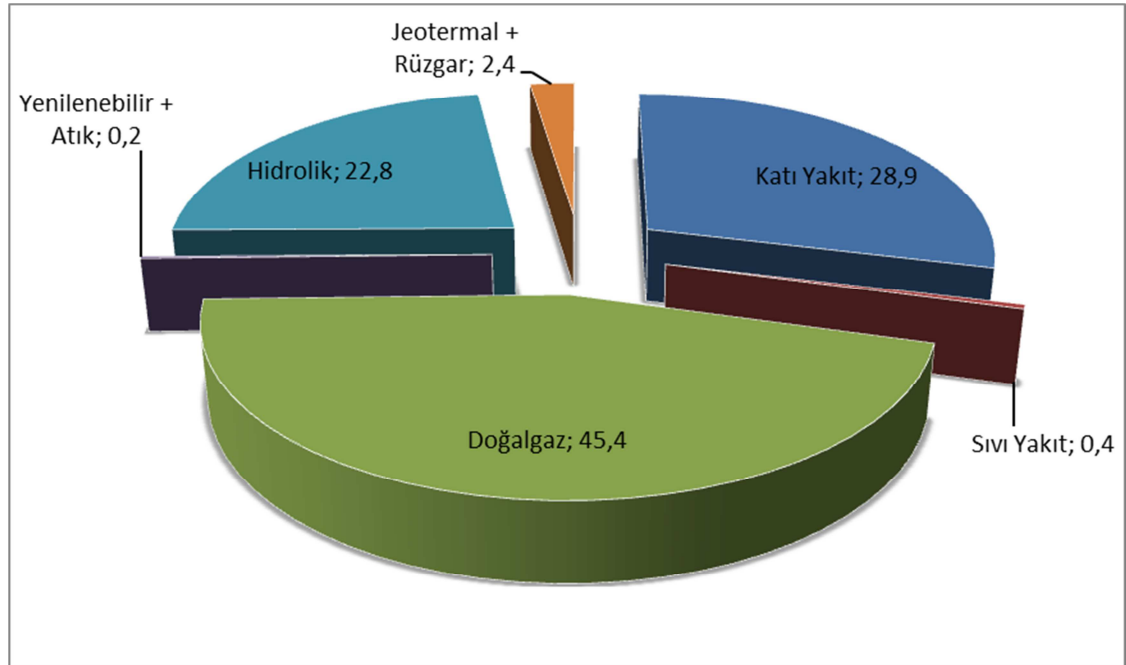
Tarım ve hayvancılık, ülkemiz için önemli ekonomik faaliyetler arasında yer almaktadır. Fakat tarımsal işletmelerin enerji ihtiyacının çok büyük bir bölümü halen birincil enerji kaynakları ile karşılanmaktadır. Tarımsal işletmelerde enerji ihtiyacının karşılanmasında çevre dostu olan, üretim girdilerini düşüren biyogaz eldesi ve kullanımı önem kazanmaktadır. Tarımsal işletmelerde biyogaz kaynağı olarak hayvan gübresi, çeşitli enerji bitkileri ve tarımsal atıklar kullanılabilir. Bu hem işletmenin verimliliğini arttıracak, hem de çevreye yaydığı sera gazı emisyonlarını azaltarak çevreye verdiği zararı azaltacaktır.

Bu çalışmanın amacı; biyogaz üretiminde süt sığırları gübresi ve mısır silajını farklı karışım oranlarında kullanarak elde edilecek biyogaz miktarlarının ve biyogaz üretimi açısından en uygun karışım oranının belirlenmesidir.

## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1. Dünya’da ve Türkiye’de Enerji

Tüm dünyada endüstrinin gelişmesi, nüfusun artması gibi nedenlerle enerji ihtiyacı giderek artmaktadır. OECD (Ekonomik Kalkınma Ve İşbirliği Örgütü) ülkelerinin 2006-2010 yılları arasına ait kurulu güçleri ile elektrik üretim ve tüketim değerleri Çizelge 2.1’de verilmiştir (Anonim 2013a). Ülkemizin enerji ihtiyacı da gelişen sanayi ve ekonomisine bağlı olarak her geçen gün artmaktadır. Türkiye elektrik enerjisi üretiminin 1990-2011 yılları arasındaki gelişimi Çizelge 2.2’de verilmiştir. 2011 yılı itibari ile ülkemizin kurulu elektrik gücü 52911,1 MW, brüt enerji üretimi 229395,1 GWh, brüt enerji tüketimi 230306,3 GWh’tir (Anonim 2013a). 2011 yılı Türkiye enerji üretiminin, enerji kaynaklarına göre dağılımı ise Şekil 2.1’de gösterilmiştir (Anonim 2013a). 2011 yılı enerji üretiminde en büyük pay % 45,4 ile doğalgazdır. Bunu % 28,9 ile katı yakıtlar ve % 22,8 ile hidrolik takip etmektedir. Ülkemiz enerji üretiminde en düşük paylara ise sırasıyla % 2,4 ile jeotermal + rüzgar, % 0,4 ile sıvı yakıtlar ve % 0,2 ile yenilenebilir + atıklar sahiptir.



Şekil 2.1. 2011 yılı Türkiye enerji üretiminin kaynaklara göre dağılımı (Anonim 2013a)

**Çizelge 2.1.** OECD ülkelerinin 2006-2010 yıllarına ait kurulu güçleri ile elektrik üretim ve tüketim değerleri (Anonim 2013a)

Ülkeler	Kurulu Güç (GW)					Elektrik Üretimi (TWh)					Net Tüketim (TWh)				
	2006	2007	2008	2009	2010	2006	2007	2008	2009	2010	2006	2007	2008	2009	2010
Avusturalya	51,3	53,5	55,5	56,9	58,8	251,6	254,9	257,2	260,9	241,5	219,8	220,8	223,0	213,8	201,2
Avusturya	19,2	19,4	20,8	20,8	21,1	63,5	63,4	67,1	68,9	71,1	60,0	59,6	61,0	58,8	61,2
Belçika	16,2	16,3	16,7	17,5	18,3	85,6	88,8	84,9	91,2	95,1	86,3	86,1	85,9	77,3	83,3
Kanada	125,8	124,7	127,6	131,4	131,7	612,5	639,8	651,3	603,2	607,9	527,8	539,0	547,9	477,4	470,0
Şili	-	-	-	15,5	16,2	-	-	-	60,7	60,4	-	-	-	53,9	53,7
Çek Cumhuriyeti	17,5	17,5	17,7	18,3	20,0	84,3	88,2	83,5	82,2	85,9	59,5	59,7	60,4	54,9	57,2
Danimarka	13,0	12,6	12,5	13,4	13,7	45,7	39,1	36,3	36,3	38,7	34,9	34,5	34,3	31,6	32,1
Estonya	-	-	-	2,6	2,7	-	-	-	8,7	12,9	-	-	-	6,7	7,0
Finlandiya	16,5	16,7	16,6	16,3	16,6	82,3	81,2	77,4	72,0	80,6	86,8	87,3	83,8	77,1	83,4
Fransa	116,1	116,5	117,8	119,1	121,0	574,4	569,8	574,8	542,1	569,1	446,1	448,3	462,2	423,4	444,1
Almanya	131,5	132,6	139,2	146,9	160,0	636,7	637,1	637,2	592,4	628,9	542,5	543,3	540,8	495,6	530,0
Yunanistan	13,5	13,7	14,2	14,2	15,1	60,7	63,5	63,7	61,3	57,3	54,8	57,4	58,7	54,7	53,1
Macaristan	8,6	8,5	8,6	8,8	9,0	35,8	39,9	40,0	35,9	37,3	36,6	37,3	37,4	33,2	34,2
İzlanda	1,7	2,3	2,5	2,5	2,5	9,9	11,9	16,4	16,8	17,0	9,2	11,1	15,4	15,7	15,8
İrlanda	6,4	7,4	7,4	7,6	8,5	28,0	28,2	29,6	28,2	28,6	25,7	26,2	26,1	25,0	25,3
İsrail	-	-	-	12,1	15,4	-	-	-	55,0	58,5	-	-	-	45,0	49,6
İtalya	89,4	93,5	98,6	101,4	106,4	314,1	313,8	319,1	292,6	302,0	317,5	318,9	319,1	290,0	299,3
Japonya	278,7	279,1	280,5	284,4	238,2	1100,3	1133,7	1082,0	1047,9	1119,2	994,0	1023,6	978,9	934,2	1001,8
Kore	70,0	73,3	79,8	80,6	84,7	404,0	427,3	446,4	454,5	499,5	371,3	393,3	409,3	405,5	449,6
Lüksemburg	1,6	1,6	1,6	1,7	1,7	4,3	4,0	3,5	3,8	4,5	6,6	6,7	6,6	6,1	6,7
Meksika	53,7	56,2	57,2	59,3	62,0	249,6	257,4	258,9	261,0	270,9	197,5	202,9	207,5	199,3	207,4
Hollanda	22,9	23,8	24,8	25,9	26,0	98,3	103,2	107,6	113,5	118,1	111,3	112,1	114,5	104,0	106,8
Yeni Zelanda	8,9	9,1	9,3	9,4	9,7	43,5	43,8	43,7	43,4	44,8	38,8	39,1	38,9	38,5	39,9
Norveç	29,5	30,3	30,7	31,1	30,1	121,6	137,4	142,6	132,7	124,5	111,1	114,3	115,4	105,3	114,7
Polonya	32,3	32,5	32,6	33,0	33,3	161,7	159,3	156,1	151,7	157,6	121,2	124,7	127,7	112,7	118,5
Portekiz	14,4	14,9	15,7	17,3	18,9	49,0	47,2	45,9	50,2	54,0	48,5	49,7	49,2	47,9	49,9
Slovakya	8,2	7,3	7,3	7,1	7,8	31,4	28,0	28,9	26,1	27,8	25,0	25,9	25,9	23,1	24,2
Slovenya	-	-	-	3,0	3,1	-	-	-	16,4	16,4	-	-	-	11,3	12,0
İspanya	82,1	88,9	93,5	96,2	99,0	303,0	303,2	313,7	293,8	303,0	256,8	266,6	271,9	255,2	260,1
İsveç	34,1	34,3	33,9	35,2	36,0	143,3	148,8	150,0	136,7	148,6	133,5	133,8	131,5	123,4	131,1

**Çizelge 2.1.** OECD ülkelerinin 2006-2010 yıllarına ait kurulu güçleri ile elektrik üretim ve tüketim değerleri (Anonim 2013a) (devam)

Ülkeler	Kurulu Güç (GW)					Elektrik Üretimi (TWh)					Net Tüketim (TWh)				
	2006	2007	2008	2009	2010	2006	2007	2008	2009	2010	2006	2007	2008	2009	2010
İsviçre	19,1	19,3	19,4	19,5	18,0	64,0	67,9	68,9	68,4	67,8	57,7	57,5	58,7	57,5	59,7
Türkiye	40,5	40,8	41,8	44,7	49,5	176,3	191,5	198,4	194,8	211,2	144,1	155,3	161,9	154,8	169,8
İngiltere	83,1	84,5	85,6	88,0	93,4	398,3	396,1	389,3	375,6	381,1	351,3	350,5	350,5	322,4	328,3
ABD	1077,6	1089,4	1011,6	1026,8	1041,0	4300,1	4348,8	4369,1	4188,2	4378,4	3816,8	3921,1	3908,1	3642,2	3801,9
Oecd Toplamı	2484,8	2521,5	2482,2	2569,9	2541,2	10534,9	10718,4	10744,9	10468,5	10921,7	9291,9	9506,2	9512,6	9238,5	9383,2



**Çizelge 2.2.** Türkiye elektrik enerjisi üretiminin enerji kaynaklarına göre gelişimi (GWh) (Anonim 2013a)

Yıllar	Katı	Sıvı	Doğalgaz	Yenilenebilir + Atık	Termik Toplam	Hidrolik	Jeotermal + Rüzgar	Genel Toplam
1990	20181,3	3941,7	10192,3	-	34315,3	23147,6	80,1	57543
1991	21561,5	3293,2	12588,6	38,4	37481,7	22683,3	81,3	60246,3
1992	24570,8	5273	10813,7	47,1	40704,6	26568	69,6	67342,2
1993	23759,9	5174,5	10788,2	56,4	39779	33950,9	77,6	73807,5
1994	28234,7	5548,8	13822,3	50,9	47656,7	30585,9	79,1	78321,7
1995	28046,9	5772	16579,3	222,3	50620,5	35540,9	86	86247,4
1996	30413,6	6539,6	17174,2	175,4	54302,8	40475,2	83,7	94861,7
1997	33860	7157,3	22085,6	294	63396,9	39816,1	82,8	103295,8
1998	35687,5	7923,3	24837,5	254,6	68702,9	42229	90,5	111022,4
1999	37030,9	8079,5	36345,9	204,7	81661	34677,5	101,4	116439,9
2000	38186,3	9310,8	46216,9	220,2	93934,2	30878,5	108,9	124921,6
2001	38417,5	10366,2	49549,2	229,9	98562,8	24009,9	152	122724,7
2002	32149,1	10743,8	52496,5	173,7	95563,1	33683,8	152,6	129399,5
2003	32252,9	9196,2	63536	115,9	105101	35329,5	150	140580,5
2004	34447,6	7670,3	62241,8	104	104463,7	46083,7	150,9	150698,3
2005	43192,5	5482,5	73444,9	122,4	122242,3	39560,5	153,4	161956,2
2006	46649,5	4340,4	80691,2	154	131835,1	44244,2	220,5	176299,8
2007	53430,9	6526,8	95024,8	213,7	155196,2	35850,83	511,1	191558,1
2008	57715,6	7518,5	98685,3	219,9	164139,3	33269,8	1008,9	198418
2009	55685,1	4803,52	96094,7	340,1	156923,4	35958,4	1931,1	194812,9
2010	55046,4	2180	98143,7	457,5	155827,6	51795,5	3584,6	211207,7
2011	66217,9	903,6	104047,6	469,2	171638,3	52338,6	5418,2	229395,1

Konvansiyonel enerji rezervlerinin sanayi devriminden itibaren bilinçsiz kullanımı sonucu gittikçe tükenmeye başladığı günümüzde enerji en pahalı üretim girdilerinden biri olmuştur. Bu yüzden çevre dostu, yenilenebilir enerjilere talep artmış, buna bağlı olarak yenilenebilir enerji teknolojilerindeki gelişme hızlanmıştır (Klassen ve ark. 2005). Bugün dünyada nükleer enerjinin yanı sıra yeni ve temiz enerji kaynakları olarak adlandırılan jeotermal, güneş, rüzgar ve biyokütle (biyogaz, biyodizel ve biyolojik kütle enerjileri) gibi enerji çeşitleri son yıllarda önem kazanmış ve bir çoğu ekonomik olarak

kullanıma girmiş enerji kaynaklarını oluşturmaktadır. Çizelge 2.3'te 2005 ve 2009 yıllarında Türkiye, Dünya geneli ve OECD ülkeleri için yenilenebilir ve atıklardan elde edilen enerji miktarı gösterilmiştir (Anonim 2013b).

**Çizelge 2.3.** 2005 ve 2009 yılları Türkiye, Dünya ve OECD ülkelerinin yenilenebilir ve atıklardan elde ettikleri enerji miktarı (Anonim 2013b)

		TÜRKİYE		OECD		DÜNYA	
		2005	2009	2005	2009	2005	2009
<b>Kentsel Atık</b>	BEÜ	0	0	48323	55179	50961	58152
	BIÜ	0	0	157600	194484	157807	194484
<b>Endüstriyel Atık</b>	BEÜ	88	88	10736	10006	13386	12698
	BIÜ	0	0	8223	15983	83503	99434
<b>Birincil Katı Biyokütle</b>	BEÜ	5	30	108422	131199	136523	174596
	BIÜ	0	0	199833	259456	280780	334944
<b>Biyogaz</b>	BEÜ	29	222	21744	37627	21841	37856
	BIÜ	0	0	12569	14065	12673	14154
<b>Sıvı Biyoyakıt</b>	BEÜ	0	0	2985	4811	2985	4811
	BIÜ	0	0	3014	7826	3014	7826
<b>Jeotermal</b>	BEÜ	94	436	37304	42074	57579	66672
	BIÜ	0	0	10122	12473	11569	12581
<b>Güneş Enerjisi</b>	BEÜ	0	0	596	842	1107	842
	BIÜ	0	0	55	108	139	109
<b>Su</b>	BEÜ	39561	35958	1337195	1386150	2993892	3328627
	BIÜ	-	-	-	-	-	-
<b>Güneş Pili</b>	BEÜ	0	0	1605	19534	1636	20155
	BIÜ	-	-	-	-	-	-
<b>Gel Git Dalga</b>	BEÜ	0	0	565	530	565	530
	BIÜ	-	-	-	-	-	-
<b>Rüzgar</b>	BEÜ	59	1495	93711	223105	101259	273153
	BIÜ	-	-	-	-	-	-

BEÜ: Birim elektrik üretimi (GWh)

BIÜ: Birim ısı üretimi (TJ)

Enerji ihtiyacının fosil yakıtlarla karşılanması sera gazları emisyonunu arttırarak, çevre-hava kirliliğine ve küresel ısınmaya yol açmaktadır (Chang ve ark 2003). Küresel ısınmaya sebep olan gazlar; doğrudan sera gazları olan su buharı, karbondioksit (CO<sub>2</sub>), ozon (O<sub>3</sub>), metan (CH<sub>4</sub>), diazotmonoksit (N<sub>2</sub>O) ve F-gazları ile dolaylı sera gazları azot

oksitler (NO<sub>x</sub>), metan dışı uçucu organik bileşikler (NMVOCs) ve karbonmonoksit (CO) emisyonlarını kapsamaktadır (Anonim 2012, Anonim 2013c).

Türkiye'nin 1990-2011 yılları arasına ait sera gazı emisyon değerleri incelendiğinde Türkiye sera gazı emisyon değerinin % 124'lük bir artış gösterdiği görülmektedir (Çizelge 2.4).

**Çizelge 2.4.** Türkiye'nin 1990-2011 yıllarına ait sera gazı emisyonları (milyon ton CO<sub>2</sub> eşdeğeri) (Anonim 2013c)

	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	F Gazları	Toplam	1990 yılına göre artış yüzdesi (%)
<b>1990</b>	141,56	34,05	12,22	0,60	188,43	-
<b>1991</b>	148,55	38,19	13,17	0,74	200,65	6,48
<b>1992</b>	154,17	41,64	15,23	0,68	211,73	12,36
<b>1993</b>	162,76	43,90	15,74	0,69	223,08	18,39
<b>1994</b>	161,01	44,28	12,64	0,60	218,53	15,97
<b>1995</b>	174,09	47,39	16,82	0,52	238,82	26,74
<b>1996</b>	192,20	49,85	17,00	0,89	259,94	37,95
<b>1997</b>	205,37	51,14	15,54	1,13	273,17	44,97
<b>1998</b>	204,50	52,44	17,19	1,18	275,31	46,11
<b>1999</b>	203,85	53,67	17,47	1,03	276,02	46,48
<b>2000</b>	225,61	53,81	17,14	1,66	298,21	58,26
<b>2001</b>	209,15	53,20	15,19	1,70	279,25	48,19
<b>2002</b>	218,19	50,81	15,80	2,41	287,22	52,42
<b>2003</b>	232,80	52,01	16,16	2,80	303,77	61,21
<b>2004</b>	243,58	49,75	16,48	3,46	313,27	66,25
<b>2005</b>	259,77	52,82	14,67	3,73	330,98	75,65
<b>2006</b>	276,88	53,76	16,05	4,05	350,74	86,13
<b>2007</b>	308,07	55,90	12,85	4,13	380,95	102,16
<b>2008</b>	297,28	54,36	12,05	3,51	367,21	94,87
<b>2009</b>	299,27	54,11	13,00	3,64	370,01	96,36
<b>2010</b>	326,55	57,59	13,08	4,89	402,10	113,39
<b>2011</b>	344,69	58,81	12,65	6,26	422,42	124,17

Türkiye'de sera gazı salınımına sebep olan başlıca faaliyetler ve sera gazı emisyon değerleri Çizelge 2.5'te gösterilmiştir. Türkiye sera gazı emisyonu salınımının en büyük sorumlusu enerji sektörüdür. Bunu sırasıyla endüstriyel işlemler, atık yönetimi ve

tarımsal faaliyetler takip etmektedir. 2011 yılı metan emisyonlarındaki en büyük payı atıktan kaynaklanan emisyonlar oluşturmaktadır. Metan emisyonlarının % 58'i atık bertarafından, % 32'si tarımsal faaliyetlerden ve % 9'u ise enerjiden kaynaklanmıştır. N<sub>2</sub>O emisyonlarındaki en büyük payı tarımsal faaliyetler oluşturmaktadır. N<sub>2</sub>O emisyonlarının % 77'sinin tarımsal faaliyetlerden, % 15'inin atıktan ve % 8'inin ise enerjiden (yakıt yanmasından) kaynaklandığı görülmüştür (Anonim 2013c).

**Çizelge 2.5.** Türkiye’de sera gazı salınımına sebep olan başlıca faaliyetler ve sera gazı emisyon değerleri (milyon ton CO<sub>2</sub> eşdeğeri) (Anonim 2013c)

	<b>Enerji</b>	<b>Endüstriyel Faaliyetler</b>	<b>Tarımsal Faaliyetler</b>	<b>Atık</b>
<b>1990</b>	132,88	15,44	30,39	9,72
<b>1991</b>	138,82	17,73	30,97	13,13
<b>1992</b>	145,12	18,93	30,94	16,74
<b>1993</b>	151,56	20,92	31,10	19,50
<b>1994</b>	149,38	19,25	29,77	20,13
<b>1995</b>	161,50	24,21	29,23	23,88
<b>1996</b>	179,68	24,32	29,65	26,29
<b>1997</b>	192,12	24,14	28,17	28,74
<b>1998</b>	191,34	24,75	28,86	30,36
<b>1999</b>	191,30	23,93	29,12	31,68
<b>2000</b>	213,20	24,37	27,85	32,79
<b>2001</b>	196,62	23,32	26,42	32,89
<b>2002</b>	204,59	25,55	24,94	32,14
<b>2003</b>	218,56	26,30	25,79	33,12
<b>2004</b>	227,98	28,52	25,44	31,33
<b>2005</b>	242,34	28,78	26,28	33,58
<b>2006</b>	259,15	30,70	26,95	33,94
<b>2007</b>	289,29	29,26	26,76	35,64
<b>2008</b>	278,33	29,83	25,47	33,57
<b>2009</b>	278,95	31,69	26,10	33,27
<b>2010</b>	285,07	53,94	27,13	35,97
<b>2011</b>	301,25	56,21	28,83	36,13

## **2.2. Anaerobik Fermantasyon**

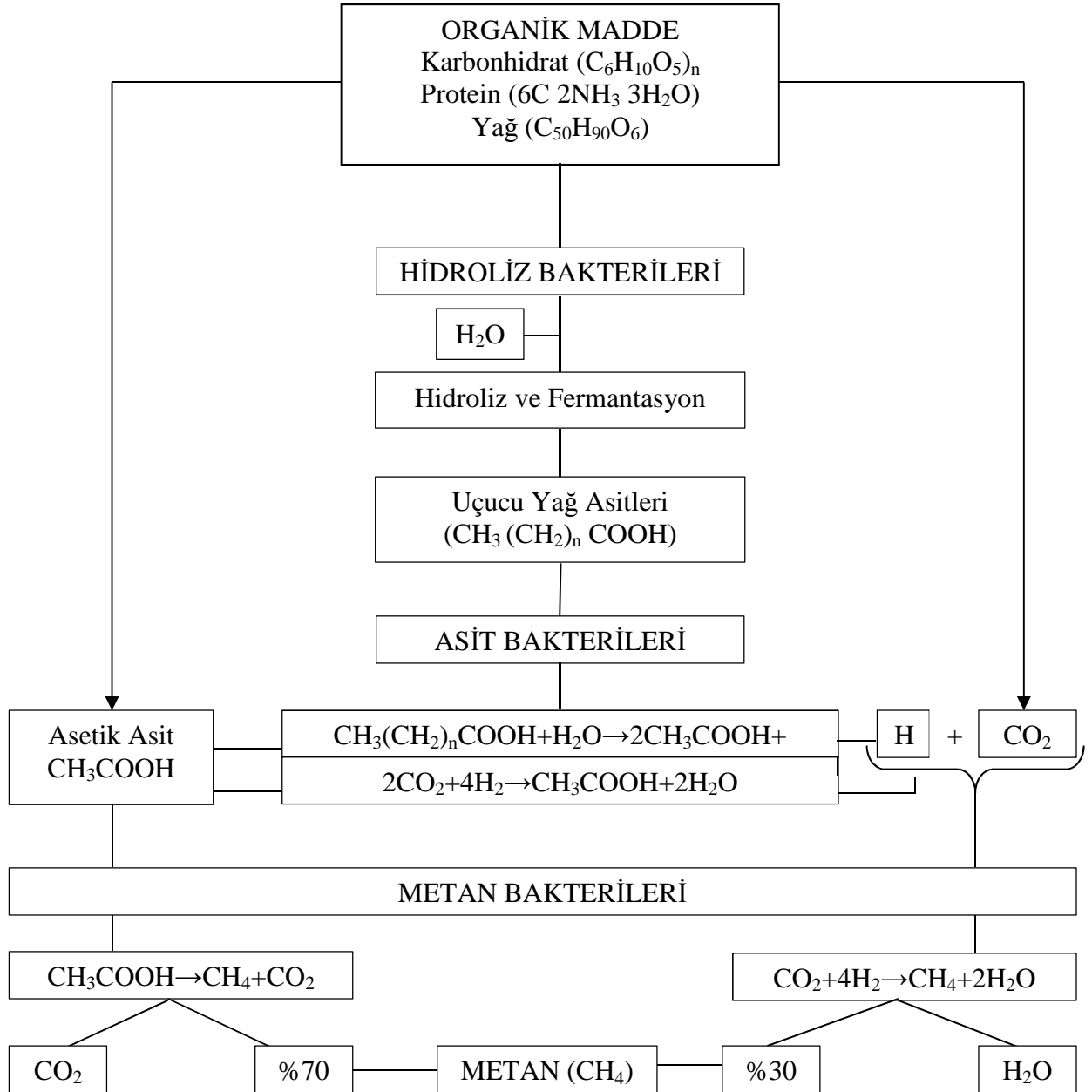
Anaerobik fermantasyon organik maddenin oksijensiz ortamda, çok sayıda ve çeşitli mikroorganizma popülasyonları sayesinde ayrışmasına dayanır. Bu mikroorganizmalar çok genel bir şekilde aerobik, fakültatif ve anaerobik olarak sınıflandırılabilirler. Aerobik mikroorganizmaların yaşamlarını sürdürebilmeleri için moleküler oksijene ihtiyaç vardır. Bunun için yalnız havalı ortamda var olabilirler. Bunların tam tersine “anaerobik” mikroorganizmalar oksijensiz ortamda yaşamakta, enerji ihtiyaçlarını organik maddelerden karşılamaktadır. “Fakültatif” mikroorganizmalar ise hem havalı hem de havasız ortamda yaşayabilmektedir.

### **2.2.1. Anaerobik fermantasyon kademeleri**

Anaerobik arıtım, organik maddelerin anaerobik şartlarda mikroorganizmalar yardımıyla biyokimyasal fermentasyona uğraması sonucu 3 kademede olmaktadır. Şekil 2.2’de de görüldüğü gibi bu kademeler;

1. Hidroliz,
2. Asit oluşumu,
3. Metan oluşumudur.

Birinci kademe olan hidrolizde; çamur içindeki çözünür olmayan organik maddeler mikroorganizmaların salgıladığı enzimlerle çözünür hale dönüştürülür. Bakteriler; uzun zincirli kompleks karbonhidratları, proteinleri, yağları ve lipitleri kısa zincirli yapıya dönüştürürler. Uzun zincirli polisakkaritler monosakkaritlere, proteinler ise peptidlere ve amino asitlere dönüşürler. Selüloz ve lignin gibi kompleks maddeler zor hidrolize olurlar veya hiç hidrolize olmazlar. Bu tür maddelerin bozunma reaksiyon hızı çok düşüktür. Bu kademede metan gazı üretimi meydana gelmez.



**Şekil 2.2.** Anaerobik fermantasyon kademeleri (Alibaş 1996)

İkinci kademe olan asit oluşumunda; asit oluşturuçu bakteriler, çözüñür hale dönüşmüş organik maddeleri uçucu yağ asitleri sayesinde, başta asetik asit (CH<sub>3</sub>CO<sub>2</sub>H) olmak üzere, hidrojen (H<sub>2</sub>) ve karbondioksit (CO<sub>2</sub>) gibi daha küçük yapılı maddelere dönüştürürler. Bu bakteriler anaerobiktir ve asidik şartlarda büyürler. Asetik asit gibi uçucu yağ asit bakterilerinin büyümesi ve çoğalması için oksijene ve karbona ihtiyaçları vardır. Asit oluşturuçu bakteriler metan oluşturuçu bakteriler için anaerobik şartlar oluşturuçurlar. Uçucu yağ asitlerden başka asit bakterileri ise organik bileşikleri daha

düşük moleküllü alkollere, organik asitlere, aminoasitlere, karbondioksite, hidrojen sülfüre ve esas miktarda metana dönüştürürler.

Son kademe olan metan oluşumunda ise; metan oluşturucu bakteriler, asetik asiti parçalayarak ve/veya hidrojen (H<sub>2</sub>) ile karbondioksitin (CO<sub>2</sub>) sentezi sonucu biyogaza dönüştürürler. Metan bakterileri çeşitlidir ve her çeşit metan bakterisi farklı maddeler kullanır. Formik asit ve metanol kullanan bakterilerin hızlı çoğalmasına karşın, asetik asit ve propiyonik asiti kullanan, metan oluşumunda en önemli olan bakteriler yavaş çoğalırlar. Havasız şartlarda üretilen metanın yaklaşık % 30'u hidrojen gazı ile karbondioksit gazından, % 70'i ise asetik asitin parçalanmasından oluşur. Tüm uçucu organik asitler ve çözünen organik bileşikler biyogaza dönüşmez. Bazı organik maddeler artırılmadan deşarj olur (Öztürk 2005).

### 2.2.2. Anaerobik fermantasyon bakterileri

Anaerobik fermantasyonda metan üretim süreci yavaştır. Havasız arıtmada hız sınırlayıcı safha olarak kabul edilmektedir. Metan oluşturucu bakterilerin kullanılacakları besin maddeleri oldukça sınırlı olup bunlar asetik asit, hidrojen (H<sub>2</sub>) ve tek karbonlu bileşiklerdir. Metan oluşturucu bakteriler, ikinci kademedeki asidojenik ve asetojenik bakterilerin aksine çevresel şartlara karşı çok hassastırlar. Ayrıca metan oluşumunu sağlayan metan bakterileri, fermentasyon ortamının sıcaklığına göre üç gruba ayrılır (Alibaş 1996). Bunlar Çizelge 2.6'da görülmektedir.

**Çizelge 2.6.** Fermantasyon sıcaklığına göre metan bakterileri

Bakteri Çeşidi	Optimum Faaliyet Sıcaklığı (°C)
Sakrofilik (Psikrofilik)	12-30
Mezofilik Bakteriler	20-40
Termofilik Bakteriler	40-65

### 2.2.3. Anaerobik fermantasyon çeşitleri

Anaerobik fermantasyon, fermantörün yeni materyalle beslenme biçimine göre de çeşitlenmektedir. Bu açıdan fermantörde gerçekleşen anaerobik fermantasyonu; sürekli

fermantasyon, beslemeli kesikli fermentasyon ve kesikli fermentasyon olmak üzere 3 grupta incelemek mümkündür.

Sürekli fermentasyon, bu fermentasyon biçiminde organik madde fermentöre hergün belirli miktarlarda verilmekte ve aynı oranda fermante olmuş materyal günlük olarak fermentörden alınmaktadır. Bu fermentasyon şeklinde gaz üretimi sürekli olmaktadır.

Beslemeli kesikli fermentasyon, burada fermentör başlangıçta belirli oranda organik madde ile doldurulmakta ve geri kalan hacmi fermentasyon süresine bölünerek günlük miktarlarla tamamlanmaktadır. Burada, fermentörden fermante olmuş materyal günlük olarak alınmamaktadır. Bu fermentasyon şekli, kesikli fermentasyona göre, fermentasyon süresinin uzamasını sağlamaktadır. Belirli fermentasyon süresi sonunda fermentör tamamen boşaltılarak yeniden doldurulmaktadır.

Kesikli fermentasyon, burada fermentör başlangıçta organik madde ile tamamen doldurulmakta, fermentasyon süresi sonunda fermentör boşaltılarak yeniden doldurulmaktadır. Fermentasyon süresi organik madde çeşidine göre değişmektedir (Alibaş 1996).

#### **2.2.4. Anaerobik fermentasyonu etkileyen faktörler**

Anaerobik fermentasyon ile biyogaz üretimi oldukça önemli bir biyolojik süreçtir. Bu nedenle tüm şartların eksiksiz sağlanması gereklidir. Aksi durumda gaz üretiminden istenen verimin sağlanamayacağı açıktır. Biyogaz üretimini etkileyen temel faktörler; fermentasyon sıcaklığı, hidrolik bekleme süresi, organik yükleme hızı, organik maddenin pH'sı, organik maddenin C/N oranı ve anaerobik fermentasyonda toksisitedir.

##### **2.2.4.1. Fermentasyon sıcaklığı**

Fermentasyon sırasında oluşan olaylar enzimler tarafından kontrol edilirler veya enzimler katalizör görevi görürler. Enzimlerin etkilerinin veya enzim miktarının sıcaklığa bağımlı olması biyogaz fermentasyonunun sıcaklığa bağımlı olmasına neden olmaktadır. Fermentasyon sırasında bileşiklerin parçalanma hızı enzimlerin zarar görmeyeceği sıcaklık sınırına kadar artarken, bu sınırdan sonra hızla azalır. Metan



oluşturucu bakteriler sıcaklık değişimine karşı çok hassastırlar ve anaerobik fermantasyon; sakrofilik, mezofilik ve termofilik olmak üzere 3 farklı sıcaklık aralığında gerçekleşebilir (Çizelge 2.6).

Biyokimyasal reaksiyonla metan üretim hızı, sıcaklık artışı ile artar. Termofilik sıcaklık şartlarında, mezofilik sıcaklık şartlarına göre biyokimyasal reaksiyonlar daha hızlı gerçekleşir. Termofilik şartlarda metan üretim hızı, mezofilik şartlara göre 2 kat daha fazladır. Dolayısıyla fermantör hacmi mezofilik şartlara göre yarı yarıya daha küçüktür. Termofilik şartlarda mezofilik şartlara göre aynı hidrolik bekleme süresinde daha yüksek organik yükleme yapılabilir. Ancak fermantörü termofilik şartlarda çalıştırmak için yüksek sıcaklık nedeniyle ilave ısıya ihtiyaç vardır. Yüksek sıcaklıkta çalışıldığı zaman sıcaklık artışı ile serbest amonyak miktarı artacağından bu da fermantör performansını olumsuz yönde etkileyebilir. Fermantasyonda bu olumsuzluğun göz önüne alınması gereklidir.

Fermantör sıcaklığının ani olarak değişmesi bakteri faaliyetlerini olumsuz yönde etkiler. Bunun sonucunda biyokimyasal reaksiyon yavaşlar. Ani sıcaklık değişikliklerini önlemek için fermantör mutlaka yalıtılmalıdır. Ayrıca biyogaz tesisi yeraltına kurulursa çevre şartlarının, gece ve gündüz arasındaki sıcaklık dalgalanmalarının olumsuz etkileri minimum düzeye indirilebilir (Öztürk 2005).

#### **2.2.4.2. Hidrolik bekleme süresi**

Organik maddelerin bakteriler tarafından çürütülmesi sonucu biyogazın üretilmesi için gerekli olan süreye hidrolik bekleme süresi (HBS) denir. Hidrolik bekleme süresi aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilmektedir.

$$HBS = \frac{\text{Fermantör Hacmi (m}^3\text{)}}{\text{Günlük Besleme Miktarı(m}^3\text{/gün)}}$$

Seçilen hidrolik bekleme süresi içinde organik maddelerin % 70-80 oranında reaksiyona girerek çürüdüğü kabul edilir. Biyogaz tesislerinde işletme sıcaklığına bağlı olarak hidrolik bekleme süresi 20 ile 120 gün arasında değişir. Tropikal bölgelerde HBS 40-50 gündür. Çin'in soğuk bölgelerinde bu süre takriben 100 gündür. Sürekli beslemeli

sistemlerde, bakterilerin fermantörlerden kaçmasını önlemek ve bakterilerin iki katına çıkmasını temin için HBS süresi daha uzun seçilebilir.

HBS süresinin düşürülmesi, çürütülecek materyale bağlı olarak değişir. Hidrolik bekleme süresi yeterli olmazsa fermantörden bakteriler daha hızlı kaçır ve uçucu yağ asidi konsantrasyonu artar. Bu da biyogaz üretiminin düşmesine neden olur. Fermantasyon tam olarak gerçekleşmez. Bu problem, tarımsal biyogaz tesislerinde nadiren gerçekleşir.

Hayvan atıklarında HBS'ni etkileyen en önemli basamak hidroliz kademesidir. Hayvan gübresinde bulunan organik maddelerin çürümesi;

- Karbonhidratlar
- Yağlar
- Proteinler
- Hemi-selüloz
- Selüloz

sırasıyla gerçekleşerek hızlanır. Karbonhidratlar ve yağlar daha kolay hidrolize olurken, selülozlar daha zor hidrolize olurlar (Öztürk 2005).

Mezofilik şartlarda, bazı hayvan gübreleri için ortalama hidrolik bekleme süreleri Çizelge 2.7'de görülmektedir.

**Çizelge 2.7.** Mezofilik şartlarda bazı hayvan gübrelerinde ortalama HBS (Öztürk 2005)

<b>Materyal</b>	<b>HBS (gün)</b>
Sıvı sığır gübresi	12 – 30
Saman yataklı sığır gübresi	18 – 36
Sıvı domuz gübresi	10 – 25
Bitki ile karıştırılmış sığır gübresi	50 – 80
Sıvı tavuk gübresi	20 – 40

#### 2.2.4.3. Organik yükleme hızı

Organik yükleme hızı (OYH), birim hacim (m<sup>3</sup>) reaktörlere günlük olarak beslenen organik madde miktarı (Kimyasal oksijen ihtiyacı veya uçucu katı madde olarak da ifade edilir) olarak tarif edilir. Anaerobik arıtmada bakteriler organik yükleme hızına karşı oldukça hassastırlar. Organik yükleme hızı, fermantöre yüklenen günlük organik kuru madde miktarının, toplam fermantör hacmine bölümü ile hesaplanmaktadır. Materyalin içerdiği organik kuru madde oranı, günlük yüklenen materyal miktarı ile çarpılarak yüklenen organik kuru madde miktarı bulunur. Yükleme hızı aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır.

$$OYH = \frac{\text{Günlük Organik Kuru Madde Miktarı (kg Uçucu Madde)}}{\text{Fermantör Hacmi (m}^3\text{)}}$$

Mezofilik şartlarda çalışan bir fermantörde sığır gübresi için optimum OYH 2,5-3,5 kgUçucuMadde/m<sup>3</sup>gün; ilave besin maddeli sığır gübresi için 5,0-7,0 kgUçucuMadde/m<sup>3</sup>gün ve domuz gübresi için 3,0-3,5 kgUçucuMadde/m<sup>3</sup>gün alınır.

Anaerobik arıtma esnasında mümkünse optimum organik yükleme hızı korunmalıdır. Organik yükleme hızı yüksek olduğunda fermantör içinde asit birikmesi olur ve pH düşer. pH'ın düşmesi metanojenik bakterilerin faaliyetlerini olumsuz yönde etkiler. Bu da gaz üretim hızını düşürür. Hatta durdurur. Benzer şekilde organik besleme hızı düştüğü zaman gaz üretim hızı düşer (Öztürk 2005).

#### 2.2.4.4. Organik maddenin pH'sı

Metan oluşturucu bakteriler nötr veya hafif alkali ortamda yaşarlar. Fermantasyon işlemi anaerobik şartlarda kararlı olarak devam ederken ortamın pH'sı 7-7,5 arasında değişir. Eğer fermantörün pH'sı 6,7'nin altına düşerse, bu durum metan oluşturucu bakteriler üzerinde toksik etki yapar. Anaerobik arıtma için ideal pH aralığı 6,8-7,8'dir. pH 6,5 altına düştüğü zaman gaz üretimi tamamen düşer. pH düştüğünde asit oluşturucu bakteri konsantrasyonunda artma olur. Fermantörde yağ asidi konsantrasyonu belli değerlerin üzerine çıktığında metan oluşumu tamamen durur. Bu durum özellikle aşırı organik yükleme ve sıcaklığın şok olarak düşmesinden dolayı meydana gelir.

Fermantörlerde pH düştüğü zaman iki yaklaşım uygulanır. Birinci yaklaşımda organik madde beslemesi kesilmelidir. Böylece ortamda metanojenik mikroorganizmaların konsantrasyonu artırılarak yağ asidi konsantrasyonu azaltılabilir. pH kabul edilebilir seviyeye yükseldikten sonra (pH=6,8 gibi) çamur beslenmesine tekrar devam edilir. İkinci yaklaşım pH'yı yükseltmek ve tamponlama kapasitesini artırmak için ortama kimyasal maddeler ilave etmektir. Kimyasal madde ilave etmenin en önemli avantajı pH'ın derhal kararlı hale gelmesidir. Dengesiz popülasyonlar hızlı şekilde kendisini düzeltmeye çalışırlar. Kimyasal madde olarak sönmüş kireç (kalsiyum hidroksit) ve soda (sodyum bi karbonat) çözeltileri ilave edilebilir. Her iki madde de Türkiye'de bol olarak bulunmaktadır (Öztürk 2005).

#### **2.2.4.5. Organik maddenin C/N oranı**

Tüm besin maddeleri, hayvan gübreleri, insan atıkları, mutfak atıkları vb. belli oranlarda karbon, azot ve oksijen içerirler. Organik maddelerdeki karbon, anaerobik bakterilerin enerji ihtiyacı için gereklidir. Karbondan başka en önemli besin maddeleri azot ve fosfordur. Azot, bakterilerin büyümesi ve çoğalması için gereklidir.

Besin maddesinde azot bulunmasının iki faydası vardır. Birincisi, amino asitlerin, proteinlerin ve nükleik asitlerin sentezi için gerekli elementi sağlar. İkincisi, amonyağa dönüşen azot, uçucu yağ asitlerini tamponlayarak pH'ın düşmesini önler. Böylece metan oluşturuucu bakterilerin büyümesi için uygun pH şartları sağlanır.

Besin maddesindeki bileşikler, fermantörde mevcut farklı bakteriler tarafından kullanılırlar. Metabolik işlemler için gerekli C/N oranı bakteriler için uygun olmalıdır. C/N oranı 23/1'den büyük olduğunda optimum çürüme için uygun değildir. Yine C/N oranı 10/1'den küçük olduğunda bakteriler üzerinde engelleyici etki yapmaktadır.

Patates kabuğu ve mutfak atığında C/N oranı 25 iken, yulaf samanı ve şeker kamışında bu oran sırasıyla 120 ve 150'dir. Hayvan gübresinden biyogaz üretiminde C/N oranı 15/1 ila 30/1 arasında değişir. Çalışmalar göstermiştir ki hayvan gübresinde azot (N) kaynağı idrardır. Çoğu taze hayvan gübreleri bu oranı sağlar. C/N oranı 15/1 ila 30/1'i sağlıyorsa hayvan gübresini ayrıca ayarlamaya gerek yoktur (Öztürk 2005). Werner ve ark. (1989) silaj gibi bitkisel atıkların karbon miktarlarının yüksek iken, azot

miktarlarının düşük olduğunu bildirmektedir (Arıcı 2009). Çeşitli hayvan gübrelere ve evsel, tarımsal atıklara ait kuru bazda C, N, C/N oranı ve nem miktarları Çizelge 2.8’de verilmiştir.

**Çizelge 2.8.** Organik maddelerin C/N oranı (Öztürk 2005)

	C Oranı (%)	N Oranı (%)	C/N Oranı	Taze Gübredeki Nem Oranı (%)	Su ile Seyreltme
<b>Hayvansal Atıklar</b>					
Sığır Gübresi	30	1,66	18	80-85	1:1
Koyun Gübresi	83,6	3,80	22	75-80	1:1
Kümes Havyanı Gübresi	87,5	6,55	14	70-80	1:3
Domuz Gübresi	76	3,8	20	75-80	1:2
At Gübresi	33,4	2,3	15	80-85	2:3
Kaz Gübresi	54	2	27	70-80	2:3
Güvercin Gübresi	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	
Kesimhane Atığı	64	8	8	55-75	
Çiftlik Gübresi	42	3	14	75-80	
<b>Evsel Ve Tarımsal Atıklar</b>					
İnsan Dışkısı	48	6,0	8	50-70	3:7
İdrarlı İnsan Dışkısı	70	7,0	10	50-70	
Patates Kabuğu	37,5	1,5	25	50-60	
Mutfak Atığı	62,5	2,5	25	5-15	
Ekmek	50	2	25	50-60	
Gazete	40	0,05	800	5-15	
Taze çim	48	4	12	40-60	
Yulaf samanı	50,4	1,05	120	20-40	
Pirinç samanı	18	0,3	60	20-40	
Yapraklar	55	1,0	55	25-40	
Yer fıstığı 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	
Su sümbülü	30,4	1,9	16	85-90	

#### 2.2.4.6. Anaerobik fermantasyonda toksisite

Mineral iyonlar, ağır metaller ve deterjanlar anaerobik arıtmada mikroorganizmaların büyümelerini engelleyerek toksik etki yaparlar. Az miktardaki mineral iyonlar (sodyum, potasyum, kalsiyum, magnezyum, amonyum ve kükürt) bakterilerin büyümelerini geliştirirken, ağır metaller toksik etki yaparlar. 50-200 mg/L amonyum bakterilerin büyümesini ilerletirken, 1500 mg/L amonyum bakteriler üzerinde toksik etki yapar. Anaerobik arıtmada metan üretimi üzerine amonyak konsantrasyonunun olumlu ve olumsuz etkisi Çizelge 2.9’da verilmiştir.

**Çizelge 2.9.** Amonyanın metan üretimi üzerine etkisi (Öztürk 2005)

<b>Konsantrasyon (mg NH<sub>3</sub>/L)</b>	<b>Etkisi</b>
5-200	Faydalı
200-1000	Ters etkisi yok
1500-3000	Yüksek pH değerlerinde muhtemelen engelleyici
>3000	Toksik

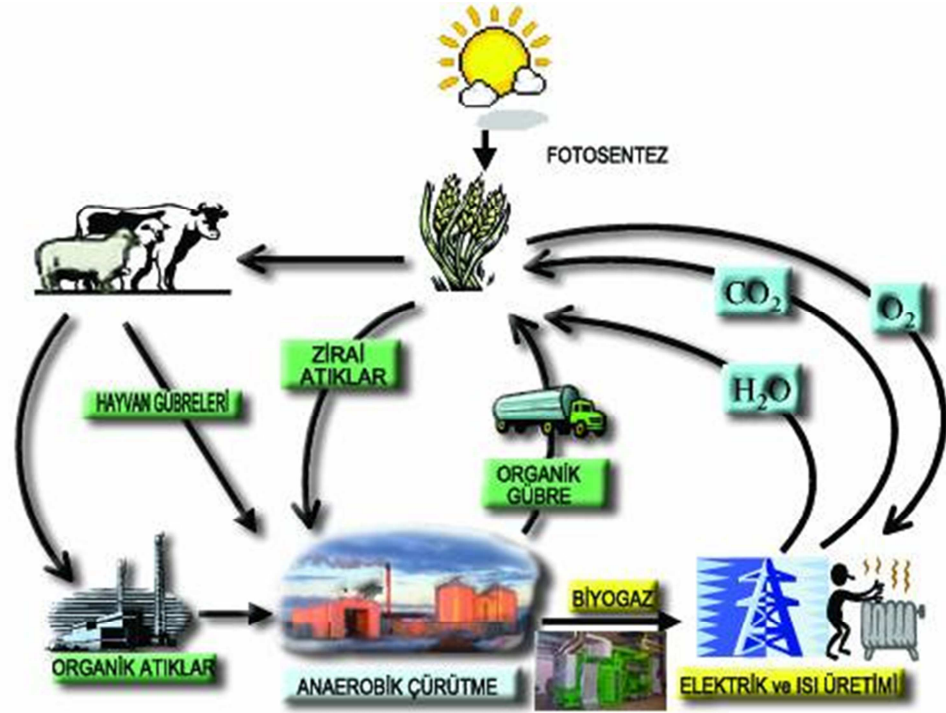
Benzer şekilde bakır, nikel, krom, çinko, kurşun gibi ağır metaller çok düşük konsantrasyonlarda bakterilerin gelişmesinde olumlu etki yaparken yüksek konsantrasyonlarda toksik etki yaparlar. Sabun gibi deterjanlar, antibiyotikler, dezenfektanlar, organik solventler bakterilerin metan üretim kapasitelerini düşürürler. Bu maddelerin hayvan gübresine karışması önlenmelidir (Öztürk 2005). Bakterilerin büyümesinde toksik etki yapan bazı maddelerin inhibisyona başlama seviyeleri Çizelge 2.10’da verilmiştir.

**Çizelge 2.10.** Anaerobik arıtmada çeşitli engelleyicilerin engelleme seviyesi (Öztürk 2005, Arıcı 2009)

<b>Engelleyiciler</b>	<b>Engelleme Seviyesi (mg/L)</b>
Sülfat (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> )	5000
Sodyum klorür ve genel tuzlar (NaCl)	40000
Nitrat (N olarak hesaplanmış)	0,05
Bakır (Cu <sup>+2</sup> )	100-300
Krom (Cr <sup>+3</sup> )	200-500
Nikel (Ni <sup>+2</sup> )	200-1000
Sodyum (Na <sup>+1</sup> )	3500-60000
Potasyum (K <sup>+1</sup> )	2500-5000
Kalsiyum (Ca <sup>+2</sup> )	2500-7000
Magnezyum (Mg <sup>+2</sup> )	1000-2400
Mangan (Mn <sup>+2</sup> )	1500 üzeri
Çinko (Zn)	250-600
Kadmiyum (Cd)	70-600
Kurşun (Pb)	8-340

### **2.3. Biyogazın Tanımı ve Üretim Döngüsü**

Günümüzde sadece bir atık arıtma metodu olarak görülmeyen organik materyalin anaerobik fermantasyonu, atmosfere direk kontrolsüz metan salınımını önleyen, temiz - yenilenebilir enerji kaynağı olan biyogaz üretim tekniğidir. Biyogaz; organik materyalin anaerobik koşullar altında biyokimyasal fermantasyonu sonucu oluşan, yanıcı, renksiz ve kokusuz, havadan hafif, oktan sayısı 110 olan, birleşiminin büyük bir kısmını metan ve karbondioksit gazlarının oluşturduğu parlak mavi bir alevle yanan bir gazdır (Alibaş 1996, Anonim 2007, Koçar ve ark 2007, Anonim 2009a). Şekil 2.3'de doğada biyogaz döngüsü görülmektedir.



Şekil 2.3. Doğadaki biyogaz döngüsü (Anonim 2013d)

### 2.3.1. Biyogazın özellikleri

Biyogaz diğer yanıcı gazlar gibi kendine has özelliklere sahiptir ve çeşitli gazların belirli oranlarda karışımından oluşmaktadır. Çizelge 2.11’de biyogazı oluşturan gazlar ve oranları verilmiştir.

**Çizelge 2.11.** Biyogazı oluşturan maddeler ve oranları (Alibaş 1996, Bilgin 2003, Selimoğlu 2008, Öztuncay 2009)

Bileşen	Karışımındaki Oranı
Metan	% 40-75
Karbondioksit	% 60-25
Su Buharı	% 0-10
Azot	% 0-5
Oksijen	% 0-5
Hidrojen	% 0-1
Amonyak	% 0-1
Hidrojen Sülfür	% 0-1

Biyogaz, hidrojen dışında diğer gaz formunda bulunan enerji kaynaklarına göre daha düşük enerji içeriğine sahiptir. Hava içerisinde tabana çökmez. CO<sub>2</sub> içeriğinden dolayı



hava içinde yanma hızı düşüktür. Çizelge 2.12’de ise biyogazın bazı özellikleri verilmiştir.

**Çizelge 2.12.** Biyogazın bazı özellikleri (Anonim 2009b)

Özellik	Açıklama
Yoğunluk	1,2 kg/m <sup>3</sup>
Isıl değeri	14400-27000 kJ (Metan oranına göre değişir)
Tutuşma sıcaklığı	700 °C
Tutuşma oranı (Hava-gaz karışımı)	% 6-12
Yanma için gerekli hava	5,7 m <sup>3</sup> hava/m <sup>3</sup> biyogaz (teorik)
Koku	Çürük yumurta kokusunda (Hidrojen sülfürden arındırılmış biyogaz kokusuzdur)

Biyogaz çeşitli yakıtlarla karşılaştırıldığında, Çizelge 2.13’teki değerler elde edilmektedir.

**Çizelge 2.13.** 1 m<sup>3</sup> biyogazın bazı yakıtlar cinsinden eşdeğeri (Bilgin 2003)

<b>1 m<sup>3</sup> biyogaz</b>	=	0,66 L motorin
	=	0,75 L benzin
	=	0,25 m <sup>3</sup> propan
	=	0,2 m <sup>3</sup> bütan
	=	1,18 m <sup>3</sup> havagazı
	=	0,85 kg kömür
	=	3,47 kg odun
	=	12,30 kg tezek

### 2.3.2. Biyogaz üretiminde kullanılabilen organik hammaddeler

Metanca zengin biyogaz kentsel, endüstriyel, tarımsal gibi çok çeşitli ve her türlü organik kaynaktan anaerobik fermantasyon yoluyla üretilmektedir. Biyogaz üretiminde kullanılacak hammaddelerden bazıları şunlardır;

- Hayvancılık atıkları
- Tarımsal atıklar
- Enerji bitkileri
- Orman endüstrisi atıkları
- Deri ve tekstil endüstrisi atıkları

- Kağıt endüstrisi atıkları
- Gıda endüstrisi atıkları
- Yağ endüstrisi atıkları
- Yemek atıkları
- Şeker endüstrisi atıkları
- Evsel katı atıklar
- Atık su arıtma tesisi atıkları
- Alglar

Son yıllarda bütün dünyada enerji bitkileri ve hayvan gübresinden biyogaz üretimi artan bir öneme sahiptir. Hayvan gübresinin anaerobik fermantasyonu ile sera gazları salınımı gibi çevreye zararları azalmakta ve fermante olmuş gübrenin, gübre kalitesi artmaktadır. Ayrıca gübreden anaerobik fermantasyonda aşılama maddesi olarak da yararlanılmaktadır.

Mısır (*Zea mays L.*), otlar (*Poaceae*), yonca (*Trifolium*), sorgum (*Sorghum sudanense*), pancar (*Beta vulgaris*) ve benzerleri enerji bitkisi olarak kullanılabilir (Tong ve ark. 1990, Chynoweth ve ark. 1993, Gunaseelan 1997, Weiland 2003, Amon ve ark. 2007a). Mısır, enerji bitkileri içinde mekanizasyona uygunluğu ve yüksek tarla verimi nedeniyle biyogaz üretiminde kullanılan en yaygın hammaddelerden biridir.

Biyogaz üretiminde kullanılan hammaddelerin ve özelliklerinin verime önemli etkisi vardır. Organik materyallerden metan üretimi başlıca, içerdikleri metan (CH<sub>4</sub>) ve karbondioksit (CO<sub>2</sub>) ayrışabilen maddelere bağlıdır. Hayvan gübresi ve enerji bitkilerinin bileşimi ve ayrışabilirliği metan veriminde anahtar faktörlerdir. Ham protein, ham yağ, lif, selüloz, hemiselüloz, nişasta ve şeker metan oluşumunda belirgin biçimde etkilidir.

Hayvan beslemesi metan verimi ve biyogaz üretimini etkiler. Sığır beslemesinde karbona dönüşebilen maddelerin çoğunluğu işkembe ve bağırsakta sindirilir. Bundan dolayı sığır gübresi, domuz ve kümes hayvanları gübresine göre biyogaz üretiminde daha düşük potansiyele sahiptir. Sığır gübresinden üretilen biyogazda metan (CH<sub>4</sub>) konsantrasyonu daha düşüktür (Weiland 2001). Amon ve ark. (2007a) anaerobik

fermantasyon sırasında yüksek protein seviyesine sahip gübrenin daha yüksek metan verimine sahip olduğunu bildirmişlerdir. Gübredeki lignin spesifik metan verimini düşürmektedir.

Mısır çeşidi, hasat zamanı ve teknolojisi ve silaj yapımı biyogaz üretiminde ve metan verimliliğinde etkilidir. Metan verimi, mısır tam olgunluğa ulaştığında düşmektedir (Amon ve ark. 2007b). Anaerobik fermentasyon, 10-30 arasında C/N oranı gerektirmektedir (Schattauer ve Weiland, 2004). C/N oranı sınır değerler dışında olduğunda, karbon metana optimum olarak dönüştürülemez ve metan üretim potansiyelinden tam olarak yararlanılamamaktadır. Mısır tam olgunlukta hasat edildiğinde, maksimum metan verimi üretimi için gerekli olan optimum C/N oranı sınır değerleri dışındadır. Hammaddelerin birlikte fermentasyonu, bu olumsuzluğun aşılmasına yardımcı olmaktadır (Amon ve ark. 2007a, Amon ve ark. [http://www.ramiran.net/doc04/Proceedings%2004/T\\_Amon.pdf](http://www.ramiran.net/doc04/Proceedings%2004/T_Amon.pdf), 2010). Fermentasyon verimliliği hammaddelerin birlikte kullanılması ile yükseltilir. Silaj prosesi sırasında laktik asit, asetik asit, metanol, alkoller ve formik asit, H<sup>+</sup> ve CO<sub>2</sub> oluşturulur. Bunlar metan oluşumunun önemli öncüleridir. (Madigan ve ark 2000). Metan veriminin yükselmesinin diğer bir nedeni, silaj yapımı işleminde metanojenik metabolizmaların besin maddeleri yarayışlılığının artmasına neden olan, liflerin ön ayrışması olabilir. Maksimum metan verimi mısır bitkisinin tümünün fermentasyonu ile olur. Tane-koçan karışımı, sadece tane mısır ya da tanesi ve koçanı olmayan mısırın fermentasyonu, mısır bitkisinin tümünün fermentasyonuna göre hektar başına metan verimini % 43-70 düşürmüştür. (Amon ve ark. 2007a, Amon ve ark. [http://www.ramiran.net/doc04/Proceedings%2004/T\\_Amon.pdf](http://www.ramiran.net/doc04/Proceedings%2004/T_Amon.pdf), 2010).

#### **2.4. Kaynak Özetleri**

Hammad ve ark. (1999) tarafından dört değişik hayvan gübresi (sığır, koyun, at, kümes hayvanları) ve iki değişik bitkisel ürün (zeytin, arpa) atığını kullanmak üzere tasarlanan 16 m<sup>3</sup>'lük aktif hacme sahip fermentör inşa edilmiş ve üretilen biyogaz biriktirilip bir kırsal kesim evindeki ev aletlerinde kullanılmıştır. Gaz kullanılarak elektrik üretilmiş, su ısıtılmış ve yemek pişirilmiştir. Fermentör ısıtılmadığı için ortam sıcaklığı; biyogaz miktarı, metan yüzdesi gibi performans parametreleri üzerinde kontrol edici bir etki

göstermiştir. Sonuçlar göstermektedir ki her cins atık için 35 °C'de gaz üretimi maksimum değere ulaşmakta, sıcaklık bu değerin altına düşer veya üstüne çıkarsa üretim miktarları azalmaktadır.

Koyun ve keçi atıklarının belirli oranlarda zeytin küspesi ile karıştırılmasının biyogaz üretimine etkilerinin araştırıldığı çalışmada anaerobik fermantasyon denemeleri 40 gün boyunca 30 °C'de sürdürülmüştür. En yüksek gaz üretimi 29-40 günleri arasında gözlenmiştir. Koyun ya da keçi atıklarını içeren fermantasyon ortamındaki zeytin küspesi arttıkça gaz üretimi önemli miktarda azalmıştır. Gaz üretimindeki değişikliklerin, pH, elektrik iletkenliği ve toplam çözülmemiş katı değerlerindeki değişikliğe ve fermantasyon süreci boyunca toplam ve uçucu katıların azalma değişiklerine bağlı olduğu bildirilmiştir (Al-masri 2001).

Amon ve ark. (2006) araştırmalarının ilk kısmında süt ineği gübresinin metan verimini belirlemek için deneyler yapmışlar, ikinci kısmında ise mısır silajı, domuz gübresi ve kolza küspesinden oluşan karışıma artan miktarlarda gliserin katmışlardır. Daha yüksek protein seviyesine sahip olan süt ineği gübresi daha yüksek metan verimi sağlamıştır. Gübrenin içinde bulunan lignin, özgül metan verimini azaltmıştır. En yüksek konsantre yem oranı ve süt verimi, lignin içeriği artışı nedeniyle, metan veriminde en büyük düşüğe neden olmuştur. Gliserin takviyesi, her seferinde metan üretiminde bir artışla sonuçlanmıştır. Gliserin katılmış temel karışımın (mısır silajı ve domuz gübresi karışımı) metan verimi, her iki hammaddenin ayrı ayrı fermantasyonundan elde edilen metan verimlerinin toplamından daha yüksek bulunmuştur. Gliserinin, protein ağırlıklı hammaddelerin (mısır silajı, kolza küspesi ve domuz gübresi) anaerobik fermantasyonundan elde edilecek metan verimini arttırdığı anlaşılmıştır. Kararlı bir fermantasyon süreci için gliserin miktarı % 6'yı geçmemesi gerektiği bildirilmiştir.

Süt sığırı gübresi, mısır ve yoncanın anaerobik fermantasyonunun optimizasyonu için yapılan çalışmada, farklı yem besleme kompozisyonları ile beslenen ve farklı süt verimine sahip süt sığırlarından alınan gübrelerden anaerobik fermantasyonla üretilen metan verimine bakılmıştır. Aynı şekilde erkenden geçe olgunlaşan 13 mısır çeşidi yetiştirilerek, vejetasyon dönemi boyunca, tüm çeşitler için besin kompozisyonu, süt

olgunluğundaki kuru madde ve organik kuru madde içeriği, özgül metan verimi ve biyogaz kalitesi, her hasat zamanı için hektar başına düşen metan verimi parametreleri belirlenmiştir. Buna ek olarak, metan veriminde hasat teknolojisinin verime etkisi de incelenmiştir. Tane, koçan, sap dahil tüm bitki ve sadece tane ve tane-koçan karışımı anaerobik olarak fermante edilmiş ve metan verimleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca silaj yapmanın işlem görmemiş mısıra göre metan verimine etkilerini görmek için mısır, silaj yapılarak anaerobik fermantasyonda kullanılmıştır. Yonca ise metan veriminde optimum hasat zamanının belirlenmesi için 3 farklı vejetasyon zamanında hasat edilmiştir. 38 °C'de gerçekleştirilen anaerobik fermantasyon deneyleri sonucunda yüksek ham protein seviyelerine sahip gübrelere göre daha yüksek metan verimi elde edilmiştir. Gübredeki lignin ise metan verimini düşürmektedir. En yüksek besleme yoğunluğu ve süt verimi, gübrenin lignin içeriğindeki artışa bağlı olarak metan veriminde azalma ile sonuçlanmıştır. Mısır tam olgunluğa yaklaştıkça metan verimi azalmıştır. Hektar başına en yüksek metan verimine mısırın bütününe fermantasyonuyla ulaşılmıştır. Sadece mısır tanelerinin ya da koçan karışımının fermantasyonu, hektar başına metan veriminde sırasıyla % 70 ve % 43 azalmaya sonuçlanmıştır. Silaj yapmak metan verimini yaklaşık % 25 arttırmaktadır. Yoncanın başaklanma oluşumunda hasat edilmesi en yüksek metan verimi ile sonuçlanmıştır (Amon ve ark. 2007a, Amon ve ark. [http://www.ramiran.net/doc04/Proceedings%2004/T\\_Amon.pdf](http://www.ramiran.net/doc04/Proceedings%2004/T_Amon.pdf), 2010).

Anaerobik fermantasyon denemelerinde 7 mısır, 2 kışlık buğday, 2 tritikale, 1 kışlık çavdar, 2 ayçiçeği ve 6 otlak çim çeşidi kullanılarak büyüme periyodunda, biyokütle verimi ve biyokütle kompozisyonuna bakılmıştır. Bütün enerji bitkileri silaj formunda kullanılmıştır. Denemeler 38 °C'de, 1 litrelik fermantörlerde yapılmıştır. Sonuçlar enerji bitkilerinin anaerobik fermantasyon için çok uygun hammaddeler olduğunu göstermiştir. En yüksek metan verimi ( $m^3/ha$ ), en yüksek biyokütleyle sahipken hasat edilen mısır çeşitlerinde elde edilmiştir (Amon ve ark. 2007b).

Yapılan biyogaz üretimi çalışmasında ana materyal olarak çeşitli sebze artıkları, yağ küspesi ve peynir altı suyu kullanılmıştır. Denemeler 40 °C'de, 10 litrelik fermantörlerle gerçekleştirilmiştir. Metan üretiminde yağ, protein, karbonhidrat ve karışım

konsantrasyonunun etkilerini anlamak için, deneysel çalışmalar çeşitli parametrelerle yürütülmüştür. Metan üretiminin bütün bu parametrelere anlamlı olarak bağlı olduğu vurgulanmıştır. Metan üretiminin, karışım konsantrasyonundaki ilk artışla azaldığı belirtilmiştir. Karışım konsantrasyonunun sabit tutulduğu hallerde, başlangıç karbonhidrat ve protein konsantrasyonundaki artışa karşılık metan konsantrasyonun yine düştüğü belirtilmiştir. Yağ asitlerinin mevcudiyetine bağlı olarak metan konsantrasyonu, 1 kg/m<sup>3</sup>lük bir yağ konsantrasyon artışına kadar paralel olarak artmıştır. Buna karşın karbonhidrat ve protein konsantrasyonundaki artışın biyogaz üretim hızını arttırdığı vurgulanmıştır (Biswas ve ark. 2007).

Fernandez ve ark. (2008) yaptıkları çalışmada deniz yosunundan yenilenebilir enerji kaynağı olarak yararlanma olanağını incelemişlerdir. *Macrocystis pyrifera*, *Durvillea antarctica* ve bunların 1:1 oranında karışımlarının anaerobik fermantasyonu, iki aşamalı anaerobik parçalanma sisteminde değerlendirilmiştir. Sistemde toplam biyogaz üretiminin % 70'i yukarı akışlı anaerobik fermantörde üretilmiştir ve her yosun türü % 65 dolayında metan konsantrasyonu ile aynı biyogaz üretimine sahiptir. Yosun karışımının anaerobik fermantasyonunda aynı metan içeriği gözlenmesine rağmen düşük biyogaz verimine sahiptir.

Süt ineği gübresi, evsel katı atıklar ve çırçır atıklarının anaerobik sindirimi, iki aşamalı, pilot ölçekli anaerobik fermantasyon sistemi ile araştırılmıştır. Evsel katı atıklar ve süt ineği gübresi tek başlarına ve kombine olarak fermante edilmiştir. Süt ineği gübresinin tek başına fermantasyonu, 62 m<sup>3</sup>metan/ton kurumadde ile sonuçlanmıştır. Evsel katı atıkların tek başına fermantasyonunda ise 37 m<sup>3</sup>metan/ton kurumadde üretilmiştir. Evsel katı atıkların ve süt ineği gübresinin birlikte fermantasyonu 172 m<sup>3</sup>metan/ton kurumadde ile sonuçlanmıştır. Çırçır atıklarının ve süt ineği gübresinin birlikte fermantasyonu 87 m<sup>3</sup>metan/ton kurumadde üretmiştir. Atıkların tek başlarına fermantasyonu, birlikte fermantasyonları ile karşılaştırıldığında, birlikte fermantasyonun yüksek metan gazı verimi ile sonuçlandığı görülmüştür. Buna ek olarak evsel katı atıkların ve süt ineği gübresinin birlikte fermantasyonu, fermantasyon sonrası düşük ağırlık ve hacimde atık ile yüksek kütle dönüşümüyle sonuçlanmıştır (Macias-Corral ve ark. 2008).

Parawira ve ark. (2008) pancar yaprağı ile patatesi (soyulmuş ve soyulmamış) tek başlarına ve birlikte anaerobik fermantasyona tabi tutmuşlardır. Deneyler sonucunda enerji verimi; pancar yaprakları, patates ve soyulmuş patates için 2,1-2,5 ve 3,4 kWh/kg UK olarak bulunmuştur sırasıyla. Karışım fermantasyonun enerji verimi ise ortalama olarak her iki deneyde, tek hammadde deneylerine dayalı olarak tahmin edilenden % 60 daha yüksek olan 3,9 kWh/kg UK bulunmuştur.

Satyanarayan ve ark. (2008) sığır gübresi fermantörlerinde hardal yağı küspesi ile biyogaz üretiminin geliştirilmesi amacıyla yaptıkları çalışmada, başlangıçta sığır gübresine % 10 oranında hardal yağı küspesi eklemişler ve fermantörlere beslemişlerdir. Daha sonra hardal yağı küspesi konsantrasyonu yavaş yavaş % 15, % 20, % 25 ve % 30'a çıkarılmıştır. Hardal yağı küspesinin nitrojen miktarı sığır gübresinden daha fazladır. Hardal küspesi konsantrasyonu artırıldığında, uçucu asit konsantrasyonları da güvenli limitler içerisinde yavaşça artmıştır, pH ise 6,7 ile 7,7 arasında değişmiştir. Sadece sığır gübresi kullanılan kontrol fermantörüne kıyasla gaz üretimindeki maksimum yüzde artışına, % 63,44 ile sığır gübresi ve % 30 hardal yağı küspesi bileşiminde ulaşılmıştır.

Mısırdan anaerobik fermantasyonla metan üretiminde hasat zamanı ve kaliteye etkisini belirlemek için yapılan çalışmada 5 farklı çeşit mısır kullanılmıştır. Adapte edilmiş orta-erken melezlerle karşılaştırıldığında, düşük dane verimi ve yüksek lif konsantrasyonuna sahip geç enerji mısırı prototipleri, metan üretimi açısından olumsuz olarak etkilenmemiştir. Buna ek olarak, enerji mısır prototipleri adapte edilmiş mezellere kıyasla hektar başına daha yüksek metan verimi sergilemiştir (Schittenhelm 2008).

Alvarez ve Liden (2009) yaptıkları anaerobik fermantasyonla biyogaz üretimi deneylerinde lama, koyun ve inek gübresi karışımlarını kullanmışlardır. İlk aşamada 5 farklı organik yükleme oranında (0,5-3-4-6 ve 8 kgUK m<sup>-3</sup>gün<sup>-1</sup>), 18 ve 25 °C'de test edilmiştir. Bu çalışmada her biri 1,8 L çalışan hacimli 10 reaktör kullanılmıştır. İkinci aşamada ise 25 °C'de en uygun organik yükleme oranında değişik oranlarda lama, inek ve koyun gübresi ile yapılmıştır. Yüksek organik yükleme oranlı, düşük hidrolik bekleme süreli ve yüksek uçucu katı içerikli beslemenin anaerobik fermantasyon

işleminin kararlı halde kalmasında zorluklara neden olduğu bulunmuştur. Gübre karışımının fermantasyonunda günlük biyogaz üretimi 290-570 mL, metan konsantrasyonu ise % 44-60 aralığında bulunmuştur. Gübre karışımının metan verimi, sadece lama gübresinin metan veriminden % 35 daha yüksek bulunmuştur.

Arıcı (2009) yüksek lisans tezinde, farklı tarımsal atıkların, aynı sıcaklık koşullarındaki anaerobik fermantasyon performanslarını incelemiştir. Sığır, tavuk, koyun, keçi atığı ile silaj, çim ve biyodizel üretim prosesi artığı olan gliserinden oluşan atıkların farklı konsantrasyonlardaki karışımlarının ürettiği biyogaz, kesikli reaktörlerde ve 37 °C’de, 69 gün boyunca takip edilmiştir.

Yaklaşık olarak katı madde oranlarının %10 olduğu reaktörlerde, en yüksek metan verimi, 325 mL CH<sub>4</sub>/gUK değeri ile % 50 sığır atığı ve % 50 silaj karışımından elde edilmiştir. En fazla biyogaz verimi ise 560 mL biyogaz/gUK değeri ile % 50 sığır, % 25 koyun ve % 25 silaj karışımından elde edilmiştir. Ayrıca en yüksek KOİ giderimi % 51,12 oranı ile sığır atığı ve silaj karışımından elde edilmiştir. Gliserin, sığır atığı ve silaj karışımından oluşan reaktörlerde fermente sığır atığı eklenmesi ve pH ayarlaması yapılmasına rağmen biyogaz üretimi gözlenmemiştir. Sonuç olarak tüm reaktörlerde, ürettikleri biyogaz ile orantılı bir şekilde toplam karbonhidrat, toplam katı, uçucu katı ve KOİ değerlerinde bir azalma gözlenmiştir. En fazla uçucu katı giderimi, % 50 sığır ve % 50 tavuk atığı karışımında % 40 olarak gerçekleştiği bildirilmiştir.

Bayır’ın (2009) yüksek lisans tezinin amacı şeker pancarı ve mısırı kullanarak biyogaz üretimi sağlayan sistemlerin performansını değerlendirmektir. Ayrıca, en etkili biyogaz üretiminin gerçekleştiği en uygun toplam katı madde oranı her bitki için incelenmiştir. Bu amaç doğrultusunda, enerji bitkisi içeren 11 adet laboratuvar ölçekli reaktör düzenli olarak gözlemlenmiştir. Denemelerde şeker pancarı ve mısır ayrı ayrı aşılama ile karıştırılmıştır. Aşılama oranı 1 ve 1,5 olarak ayarlanmıştır, ayrıca karışımların kuru madde oranı % 10 ve % 12’dir. Anaerobik ortamda çürütülmüş granül çamur, reaktörlere ilave edilmiş ve reaktörler sıcaklık kontrolü bulunan su banyolarına yerleştirilmiştir. Hammadde kaynağı olarak mısır ile yürütülen deneyler sırasında ayrıca aşılama/hammadde oranının sistemin biyogaz üretimi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda, % 12 toplam katı madde oranına sahip, mısır ile aşı çamuru



içeren ve aşılama/hammadde oranı 1,5 olan reaktörün; biyogaz üretimi, biyogaz verimi ve metan verimi açısından en etkili reaktör olduğu belirlenmiştir. Diğer taraftan, aynı oranda toplam katı madde oranına sahip ancak aşılama/hammadde oranı 1 olan reaktörde metan oluşumu gözlenememiştir. Bu sonuç, biyolojik parçalanma sonucunda meydana gelen yüksek miktardaki uçucu yağ asitleri konsantrasyonuna dayandırılmıştır. Aşı çamurunun, reaktör içinde yüksek miktarda bulunan organik maddelerin parçalanması sonucu oluşan organik asitleri nötralize edecek miktardan az olduğu belirtilmiştir.

Durmuş'un (2009) yüksek lisans tezinde kurulan biyogaz sistemi, mekanik karıştırıcılı besleme materyali ön hazırlama tankı, biyogaz reaktörü, biyogaz depolama tankı ve fermante gübre boşaltma tanklarından oluşmaktadır. Biyogaz reaktörü 1,2 m<sup>3</sup> hacimli (çalışma hacmi 1 m<sup>3</sup>), çift cidarlı, mekanik ve hidrolik karıştırılmalı, mekanik köpük kırıcılı, silindirik dik tiptir. Reaktörde, pH kontrolü ve tamponlama süresinin ölçümü, yükleme-boşaltma ve sıcaklık denemeleri yapılmıştır. Denemelerde PLC ile on/off kontrol yöntemi uygulanmış, SCADA sistemi ile sensörler, elektro-valfler, pompa ve motorlar izlenmiş, kontrol edilmiş ve veriler kaydedilmiştir.

Farklı atık miktarlarında yükleme-boşaltma denemeleri yapılarak, sistemin hassasiyeti ölçülmüş ve iletim organlarında oluşan arızaların nedenleri araştırılmıştır. Yükleme ve boşaltma miktarlarının set noktasında görülen aşımaları, SCADA yazılımında pompanın çalışma durma zamanı ayarlanarak giderilebileceği görülmüştür. Reaktörün pH seviyesi (pH başlangıç değeri =7,78) 1 molar NaOH çözeltisi ile pH =8,2 seviyesine çıkarılarak, sistemin bu sürede verdiği tepki izlenmiştir. İstenilen pH değerine 11,3 saat sonra ulaştığı bildirilmiştir.

Sıcaklık denemeleri iki ayrı şekilde gerçekleştirilmiştir. Birinci grupta, yükleme-boşaltmanın, ikinci grupta ise yalnızca düzenli karıştırmanın reaktör sıcaklık dengesine olan etkileri izlenmiştir. Yapılan denemelerde, eğer reaktör ve ısı iletim elemanları yeterince iyi yalıtılırsa ve sistemdeki uzun süreli arızalar önlenilebilirse, on/off yöntemle yapılan kontrolün, sıcaklığın set değerinde küçük salınımlarla dengede kalmasında başarılı olacağı bildirilmiştir.

Arpa (*Hordeum vulgare*), çavdar (*Secale cereale*), tritikale (*X Triticosecale*), yonca (*Medicago sativa*), kenevir (*Cannabis sativa*), yerelması (*Helianthus tuberosus*) ve mısırın (*Zea mays*) biyogaz üretimine uygunluğunun araştırıldığı çalışmada, bitkiler farklı olgunluk zamanlarında hasat edilmiştir. Mısır hariç diğer bitkiler hem taze hem de silaj formunda kullanılmıştır. Mısır sadece silaj formatında kullanılmıştır. Deneyler 35 °C'de yapılmıştır, köpük tabakasının önlenmesi için fermantörler günde 1 kez çalkalanmıştır. 28 günlük deneme süresi boyunca biyogaz miktarı günlük olarak ölçülmüştür. Hasat zamanı, biyokütle verimliliğini etkilemesinin yanı sıra sindirilebilir bileşenlerin miktarını da etkilemektedir. Kuru madde içeriğinin silaj hazırlığında temel faktörlerden biri olması dolayısıyla hasat zamanı ayrıca materyalin depolanmasını da etkiler.

En yüksek biyogaz verimi süt olumunda hasat edilen arpa ve çavdarda gözlenmiştir. Genel olarak silaj yapılmış materyallerin biyogaz verimi taze olanlara göre daha yüksektir ve en yüksek metan verimi % 62 ile tritikalede gözlenmiştir. Kullanılan bütün bitkiler anaerobik fermantasyon için uygun bulunmuştur (Heiermann ve ark. 2009).

Lomborg ve ark. (2009) sığır ve domuz gübresi ile mısır silajının fermantasyonu sırasında uçucu yağ asitlerini ve kuru madde içeriğini yakın kızılötesi ve akustik kemometri ile gözlemlenmişlerdir. Bu çalışma verilerine göre mısır silajının gübre ile fermantasyonu sonucunda olağan olmayan yüksek yağ asidi konsantrasyonları altında biyogaz üretiminde istenilen C/N oranının elde edilebileceği bildirilmiştir. Böylece yüksek gaz verimi sağlanabileceği, fakat fermantöre mısır silajının eklenmesinin çok sıkı bir şekilde takip edilmesi gerektiğini bildirilmiştir. Yüksek konsantrasyonların süreci kararsızlığa götürerek, anaerobik fermantasyonu olumsuz etkilediği belirtilmiştir.

Neureiter ve ark. silaj katkı maddelerinin, tam ürün mısır silajına olan etkilerini ve anaerobik fermantasyon tesislerinde enerji bitkilerinden metan üretimini artırma potansiyelini test etmişlerdir. Silaj katkısı olarak 6 farklı katkı maddesi kullanılmıştır ve silaj yapılan mısır 44 veya 110 gün sonra açılarak anaerobik fermantasyon deneyinde kullanılmıştır. Kullanılan katkı maddelerinin, şahit katkısız mısır silajı ile

karşılaştırılması sonucu, depolamada kaliteyi arttırdığı fakat metan oluşumunu geliştirmede gözlenmiştir

(<http://www.iea-biogas.net/Dokumente/memberpublications/Neureiter.pdf>, 2010).

Heiermann ve Plöchl yaptıkları laboratuvar ölçekli anaerobik fermantasyon deneylerinde arpa, triticale ve çavdarı hem taze hem de silaj halinde, mısırı ise sadece silaj olarak kullanmışlardır. Denemeler 1,4 kg çalışan hacimli fermantörlerde, 35 °C'de 2 tekerrürlü olarak yapılmıştır. Hasat zamanının biyogaz verimini etkilediği belirlenmiştir. Taze materyalin fermantasyonunda en düşük gaz verimi hamur olum aşamasında gözlenmiştir. Tahılları silaj yapmak, taze materyale göre yüksek biyogaz verimi ve daha hızlı fermantasyon süreci ile sonuçlanmıştır. Metan içeriği fermantasyonun başlangıcında taze ve silaj halindeki tahıllar için sırasıyla % 46 ve % 47 bulunmuş ve daha sonra % 71'e kadar yükselmiş ve fermantasyon sürecinin ortasında % 63-68 değerleri arasında ölçülmüştür (<http://www.atb-potsdam.de>, 2011).

Anacak (2012) yüksek lisans tezinde, Tarfaş Tarımsal Faaliyetler AŞ'den alınan büyükbaş hayvan dışkısı ve Sütaş Süt Ürünleri AŞ'den alınan atıksu arıtma çamurlarının birlikte anaerobik olarak arıtılabilmesi için gerekli optimum hidrolik bekleme süresi ile mezofilik ve termofilik koşullardaki arıtma verimlerini araştırmıştır. Arıtma çamuru ile hayvan dışkısı 1/5 oranında karıştırılarak denemeler yapılmıştır.

Çürütücünün devreye alınabilmesi için gerekli olan aşı çamuru Sütaş A.Ş'ye ait atıksu arıtma tesisinin anaerobik kısmından elde edilmiştir. Hayvan dışkısı ve arıtma çamurunun çürütülmesinde optimum hidrolik bekleme süresi 26 gün olarak bulunmuştur. Mezofilik ve termofilik koşullarda aynı şartlar altında gerçekleştirilen denemelerde termofilik reaktörde gaz veriminin % 4, organik katı madde gideriminin de % 2,26 daha yüksek olduğu bulunmuştur. Termofilik reaktörde pH'ın düşme eğiliminde olduğu buna rağmen denemeler boyunca metanojenik aktiviteyi engelleyecek seviyelere düşmediği belirtilmiştir.

### **3. MATERYAL-YÖNTEM**

#### **3.1. Materyal**

##### **3.1.1. Laboratuvar ölçekli anaerobik fermantasyon materyalleri**

Anaerobik fermantasyon ile biyogaz üretiminde materyal olarak süt sığırı gübresi ve mısır silajı kullanılmıştır.

Laboratuvar ölçekli denemelerde kullanılan süt sığırı gübresi ve mısır silajı Çin Halk Cumhuriyeti, Shenyang şehri yakınlarındaki (Yan Jia köyü, Li Xiang kasabası) Liaoning Huishan Limited şirketine ait “Tarımsal Park Mandıra Çiftliği” isimli yerel bir çiftlikten temin edilmiştir.

Gübre; mısır silajı, ot, saman gibi besinlerle beslenen Holstein cinsi süt sığırlarından temin edilmiştir.

Mısır silajı, Shenyang’da yetiştirilen Kuzeydoğu 510 cinsi mısır bitkisinin tümünün kullanılması ile yapılmıştır. Silaj yapılırken herhangi bir katkı maddesi kullanılmamıştır.

Aşılama maddesi, Shenyang şehri, Yan Jia köyündeki yerel bir çiftlikte bulunan süt sığırı gübresini fermente eden çalışan bir biyogaz tesisinden temin edilmiştir.

Laboratuvar ölçekli anaerobik fermantasyon denemeleri laboratuvar ortamında 1 litrelik cam fermantörlerde gerçekleştirilmiştir. Şişelerin ağzı biyogazın fermantörden dışarı tahliyesi için içinden cam boru geçen lastik tıplar ile kapatılmıştır. Biyogazı analiz edebilmek için fermantör biyogaz tahliye borusu üzerinde örnek alma kanalı oluşturulmuştur. Fermantörden dışarıya çıkan biyogaz su ile yer değiştirdiği bir örnekleme şişesine sürekli depolanarak hacimsel olarak biyogaz miktarı belirlenmiştir. Laboratuvar ölçekli anaerobik fermantasyon düzeneği Şekil 3.1’de gösterilmiştir.

Cam fermantörlerin ısıtılması 6 ve 8 şişe kapasiteli termostatlı, dijital göstergeli su banyosu ile yapılmıştır (Changzhou Guohua Electric Appliance Co. Ltd.). Su banyosu ölçüleri 6 şişe kapasiteli için 640x330x240 mm, 8 şişe kapasiteli için 750x370x160 mm’dir. Su banyosunun ısıtıcı gücü 1 kW’tır, sıcaklık kontrolü  $\pm 0,1$  °C hassasiyetinde

yapılmaktadır. Isının homojen dağılımı için su banyosu içerisinde manyetik karıştırıcı bulunmaktadır. Şekil 3.2’de araştırmada kullanılan su banyosu ve ısıtıcısı gösterilmiştir.



**Şekil 3.1.** Laboratuvar ölçekli anaerobik fermantasyon düzeneği



**Şekil 3.2.** Su banyosu ve ısıtıcısı

Laboratuvar ölçekli anaerobik fermantasyon düzeneği su banyosu içine yerleştirilmiş halde Şekil 3.3.'de gösterilmiştir.



**Şekil 3.3.** Laboratuvar ölçekli anaerobik fermantasyon düzeneği ve su banyosu

### **3.1.2. 500 litre kapasiteli anaerobik fermantasyon materyalleri**

Laboratuvar ölçekli denemelerden sonra gerçekteştirilen anaerobik fermantasyon denemelerinde kullanılan gübre, Uludağ Üniversitesi Veteriner Fakóltesi Hayvan Sağlığı ve Hayvansal Üretim Araştırma Uygulama Merkezi'nde yetiştirilen, mısır silajı, ot, saman gibi besinlerle beslenen Holstein cinsi süt sığırlarından temin edilmiştir.

Laboratuvar ölçekli denemelerden sonra gerçekteştirilen anaerobik fermantasyon denemelerinde kullanılan mısır silajı ise Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakóltesi Tarımsal Uygulama Araştırma Merkezi'nden temin edilmiştir. Silaj, Sincero çeşidi mısır bitkisinin tümünün kullanılması ile ve herhangi bir katkı maddesi katılmadan yapılmıştır.

Aşılama maddesi elde etmek amacıyla bir adet 500 litre kapasiteli fermantör denemeler boyunca çalıştırılmıştır. Aşılama maddesi, Uludağ Üniversitesi Veteriner Fakóltesi Hayvan Sağlığı ve Hayvansal Üretim Araştırma Uygulama Merkezi'nden temin edilen

süt sığırı gübresinin, 500 litre kapasiteli fermantöre şarj edilerek anaerobik fermantasyonu ile temin edilmiştir.

Laboratuvar ölçekli denemelerden sonra gerçekleştirilen anaerobik fermantasyon denemeleri, 500 litre kapasiteye sahip çelik gövdeli üç adet fermantörle gerçekleştirilmiştir. Fermantörlerin gövdeleri ülkemizde faaliyet gösteren bir gaz firmasından hibe yoluyla temin edilmiş ve süt soğutma tankları imal eden bir başka firmamız tarafından da yine hibe yoluyla modifiye edilmiştir. Her bir fermantörün dış yüzeyi 5 cm kalınlığında cam yünü kullanılarak kaplanmış ve bu malzemenin üzeri 1 mm'lik galvaniz sacı ile kaplanarak ısı yalıtımı sağlanmıştır. Şekil 3.4'de 500 litrelik fermantörlerin modifiye edilmeden önceki hali, Şekil 3.5'te ise sonraki hali gösterilmiştir.



**Şekil 3.4.** 500 litre hacimli fermantörlerin modifiye edilmeden önceki hali



**Şekil 3.5.** 500 litre hacimli fermantörlerin modifiye edildikten sonraki hali



Her bir fermantörün içerisine, fermantasyon materyalinin fermantör tabanına çökmesini önleyerek organik madde karışımının homojenliğini sağlamak, fermantör üst kısmında kabuk oluşumunu engellemek ve homojen ısı dağılımını sağlamak amacıyla Şekil 3.6'da görülen, 4 kanatlı (2 kanat altta, 2 kanat üstte olacak şekilde) bir karıştırıcı yerleştirilmiştir. Karıştırıcı mil uzunluğu 940 mm'dir. Karıştırıcı kanat yüksekliği 110 mm'den 40 mm'ye uçlara doğru daralan bir yapıya sahiptir. Kanadın genişliği ise 170 mm'dir. Karıştırıcı, elektrik motorundan hareket alan redüktör ile tahrik edilmektedir. Motora direkt akuple edilmiş redüktör ile karıştırıcı 32 d<sup>-1</sup> devir ile döndürülmektedir. Karıştırıcıyı çalıştıran elektrik motorunun etiket değerleri; 380 V, 50 Hz, 1340 d<sup>-1</sup>, 0,64 A, cosφ 0,69, 0,18 kW ve koruma faktörü IP55'dir. Karıştırıcı mil, redüktör ve elektrik motoru fermantör üzerinde yer alan 420 mm çaplı flanşa cıvatalarla bağlanmıştır (Şekil 3.7). Flanşa fermantöre 8 adet cıvata ile bağlanmaktadır. Fermentör ile flanş arasında gaz kaçağını önlemek için bir sızdırmazlık contası yer almaktadır.



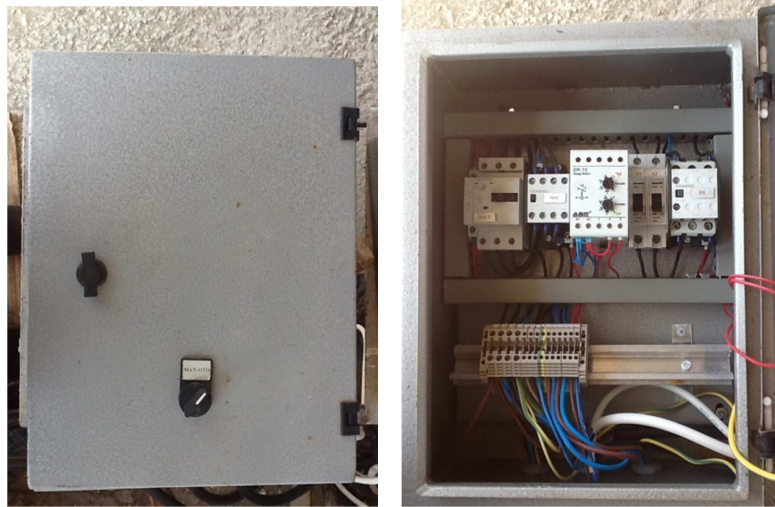
**Şekil 3.6.** Karıştırıcı mil ve kanatlar



**Şekil 3.7.** Karıştırıcı mil, redüktör ve elektrik motoru

Isı kaynağı olarak her bir fermantörde 2 adet 7,5 kW gücünde elektrikli ısıtıcı kullanılmaktadır. Fermantör iç sıcaklığı, fermantör tabanından 46 cm yüksekliğe yerleştirilen ibreli bimetale termometre ile ölçülmüştür.

500 litre kapasiteli fermantörlerde gerçekleştirilen anaerobik fermantasyon denemelerinde, sıcaklık ayarı termostat yardımıyla yapılmıştır. Karıştırıcının bekleme ve çalışma süresi ise bir zaman ayarlayıcı ile yapılmıştır. Karıştırıcı ve ısıtıcıların çalışabilmesi için gerekli elektrik enerjisi, üzerinde zaman ayarlayıcı bulunan panolardan iletilmiştir. Kumanda panosu Şekil 3.8’de görülmektedir.



**Şekil 3.8.** Kumanda panosu

Fermantörün materyal girişı çapı 3½” tir ve fermantörün üst kısmında yer almaktadır. Fermantöre besleme, bir karıştırma tankında ilk karıştırma yapıldıktan sonra giriş ağzından kendi ağırlığı ile yapılmaktadır. Beslemenin kolay yapılabilmesi için giriş borusunun üzerine 400 x 300 x 380 mm ölçülerinde prizmatik bir hazne yerleştirilmiştir. Besleme sırasında fermantördeki gaz kaçağının önlenmesi ve anaerobik şartların sağlanması amacıyla besleme ağzında küresel bir vana bulunmaktadır. Fermantör materyal girişı Şekil 3.9’da görölmektedir.



**Şekil 3.9.** Fermantör materyal girişı

Fermantörün materyal çıkış ağzı fermantörün alt kısmında yer almaktadır. Fermantör materyal çıkış ağzı çapı 1½” tir ve sızdırmazlığın sağlanması amacıyla çıkış ağzında küresel bir vana bulunmaktadır. Fermantör materyal çıkışı Şekil 3.10’da görülmektedir.



**Şekil 3.10.** Fermantör materyal çıkışı

Fermantör gaz çıkış borusu, fermantörün üst kısmında yer alan flanş üzerindedir. Fermantörden çıkan gaz buradan gaz sayacına gelmektedir. Fermantör gaz çıkış borusu çapı 1 ½” tir ve redüksiyonla 16 mm’ye düşürülerek, sayaç gaz girişi ve örnek gaz toplama torbasının giriş ağzına uygun hale getirilmiştir. Üretilen biyogaz, fermantör gaz çıkış borusundan, fermantör iç basıncı sayesinde gaz sayacına gelmektedir. Fermantör gaz çıkış borusu ve sayaç bağlantısı Şekil 3.11’de görülmektedir.

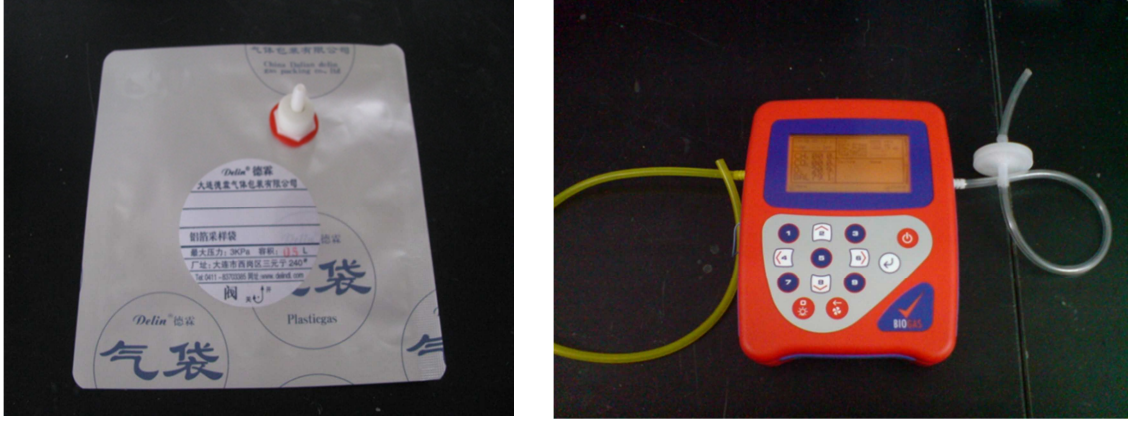


**Şekil 3.11.** Fermantör gaz çıkış borusu ve sayaç bağlantısı

### **3.1.3. Anaerobik fermantasyon denemelerinde kullanılan ölçüm ve analiz cihazları**

Biyogazın bileşimini analiz ettirmeye götürmek için, üretilen biyogazın doldurulması amacıyla, maksimum basıncı 3 kPa olan, ½ litrelik plastik gaz torbaları kullanılmıştır.

Biyogaz bileşimi ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{O}_2$ , diğer gazlar) Geotech marka, Biogas model, biyogaz analiz cihazı ile ölçülmüştür (Geotechnical Instrument Ltd., England). Şekil 3.12’de biyogaz analiz cihazı ve biyogazın analize götürülürken taşındığı plastik gaz torbası gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Plastik gaz torbası ve biyogaz analiz cihazı

Deneme materyallerinin ağırlıklarının ölçülmesinde ve analizlerde kullanılan tartılar Şekil 3.13'te gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Deneme ve analizlerde kullanılan tartılar

Kuru madde ve kül tayininde kullanılan etüvler ve kül fırınları ise Şekil 3.14'te gösterilmiştir.



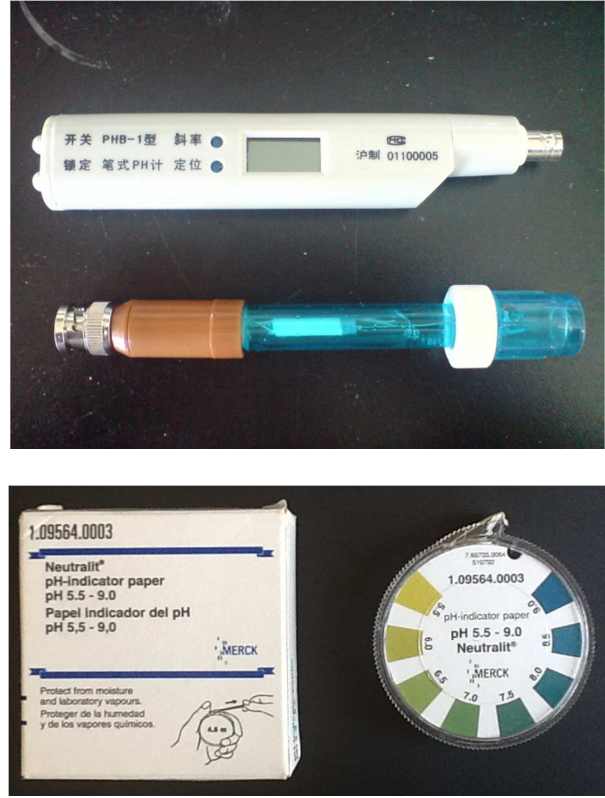
**Şekil 3.14.** Analizlerde kullanılan etüvler ve kül fırınları

Selüloz (Cel), hemi-selüloz (Hem), nötral deterjant lif (NDF), asit deterjant lif (ADF) ve lignin (ADL) analizleri Van Soest yöntemine göre ham lif ekstraktöründe (Velp Scientifica S.R.L., Italy) yapılmıştır (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. Ham lif ekstraktörü

Organik maddenin pH ölçümlerinde kullanılan pH-metre ve pH kağıdı Şekil 3.16’da görülmektedir.



Şekil 3.16. pH-metre ve pH kağıdı



## 3.2. Yöntem

### 3.2.1. Laboratuvar ölçekli anaerobik fermantasyon denemeleri yöntemi

Laboratuvar ölçekli anaerobik fermantasyon denemeleri mezofilik sıcaklık şartları altında ( $37\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1$ ), 3 tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir. Denemede kesikli fermantasyon yöntemi kullanılmıştır. Denemeler 120 gün boyunca sürdürülmüştür. Bu çalışmada 3 önemli faktör dikkate alınmıştır. 1. faktör; gübre:silaj karışım oranı, 2. faktör; karışımın kuru madde oranı ve 3. faktör ise aşılama maddesi oranıdır.

Gübre:Silaj (G:S) materyalinin karışım oranları sırasıyla 1:1, 3:1 ve 1:3'tür. Bu karışım oranları ayrı ayrı, karışımın kuru madde içeriğine göre su ile seyreltilerek kuru madde oranı % 6, % 8, % 10 olacak şekilde hazırlanmıştır. Bu katı içerik oranları, ıslak anaerobik fermantasyon olarak adlandırılmaktadır.

Deneme başlangıcında, karışımların pH'sı NaOH katılarak 6,83-7,02 değerleri arasında ayarlanmıştır. Fermantör tabanına çökelmeyi önleyerek karışımın homojenliğini sağlamak ve karışımın üst seviyesinde kabuk oluşumunu engellemek için fermantörler günde 3 kez, 1-2 dakika elle çalkalanmıştır.

Laboratuvar ölçekli anaerobik fermantasyon denemelerinde kullanılan karışım besleme materyali, her karışım oranı ve kuru madde içeriği için % 20 ve % 30 oranında sıvı aşılama maddesi ile aşılanmıştır. Laboratuvar ölçekli anaerobik fermantasyon deneylerinde 18 değişik kombinasyon kullanılmıştır. N1'den N18'e kadar olan bu kombinasyon içerikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Denemelerde kullanılan gübre ve mısır silajı hiçbir ön işleme tabi tutulmadan, temin edildiği gibi bekletilmeden kullanılmıştır. Denemelerde kullanılan materyallerin özelliklerini belirlemek amacıyla fermantasyondan önce tüm analizler standart metodlar kullanılarak yapılmıştır.

Kuru madde tayininde ham materyal kullanılmıştır. Yapılan diğer analizlerde materyaller  $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de kurutulup, öğütüldükten sonra kullanılmıştır.

Denemelerde istenilen kuru madde oranının sağlanması için, her bir materyalin kuru maddesi (KM) etüvde 105 °C’de sabit tartıma gelene kadar bekletilmesi ile belirlenmiştir. Kül (XA) ve uçucu katı (UK) tayini materyallerin 550 °C’de kül fırınında yakılması ile yapılmıştır (Karabulut ve Canbolat 2005).

**Çizelge 3.1.** Laboratuvar ölçekli anaerobik fermantasyon denemesi uygulama içerikleri

<b>Uygulama No</b>	<b>Kuru Madde İçeriği (%)</b>	<b>Gübre:Mısır Silajı Oranı</b>	<b>Aşılama Maddesi Oranı (%)</b>
N1	6	1:1	20
N2	6	3:1	20
N3	6	1:3	20
N4	8	1:1	20
N5	8	3:1	20
N6	8	1:3	20
N7	10	1:1	20
N8	10	3:1	20
N9	10	1:3	20
N10	6	1:1	30
N11	6	3:1	30
N12	6	1:3	30
N13	8	1:1	30
N14	8	3:1	30
N15	8	1:3	30
N16	10	1:1	30
N17	10	3:1	30
N18	10	1:3	30

Laboratuvar ölçekli anaerobik fermantasyon denemelerinde materyallerin pH’ları tek başlarına ve karışım halinde hassasiyeti  $\pm 0,1$  olan dijital bir pH-metre ile ölçülmüştür. Karbon (C) değeri yüksek sıcaklıkta yakma metodu ile belirlenmiştir. Nitrojen (N) ve protein (XP) değerinin belirlenmesinde kjeldahl yöntemi kullanılmıştır (Bremner

1965). Fosfor (P) analizi vanadium-molybden mavi kolorimetrik metodu ile (Watanabe ve Olsen 1965), potasyum (K) analizi flame fotometri (alev fotometresi) ile belirlenmiştir (APHA 1998). Nişasta (XS) ve çözünebilir şeker (XZ) analizinde, bakır indirgenmesinin direk titrasyonu yöntemi kullanılmıştır. Ham yağ (XL) soxhlet ekstraksiyon yöntemi ile yapılmıştır (Karabulut ve Canbolat 2005). Selüloz (Cel), hemiselüloz (Hem), nötr deterjant lif (NDF), asit deterjant lif (ADF) ve lignin (ADL) Van Soest yöntemine göre ham lif ekstraktöründe (Velp Scientifica S.R.L., Italy) yapılmıştır.

Biyogazın bileşimini analiz etmek için biyogaz, maksimum basıncı 3 kPa olan, ½ litrelik plastik gaz torbalarına toplanmıştır. Biyogaz bileşimi (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, O<sub>2</sub>, diğer gazlar) Geotech marka, Biogas model, biyogaz analiz cihazı ile ölçülmüştür (Geotechnical Instrument Ltd., England). Metan ve karbondioksit infra-red absorpsiyon ile, oksijen ve hidrojen sülfür kimyasal hücre ile ölçülmüştür.

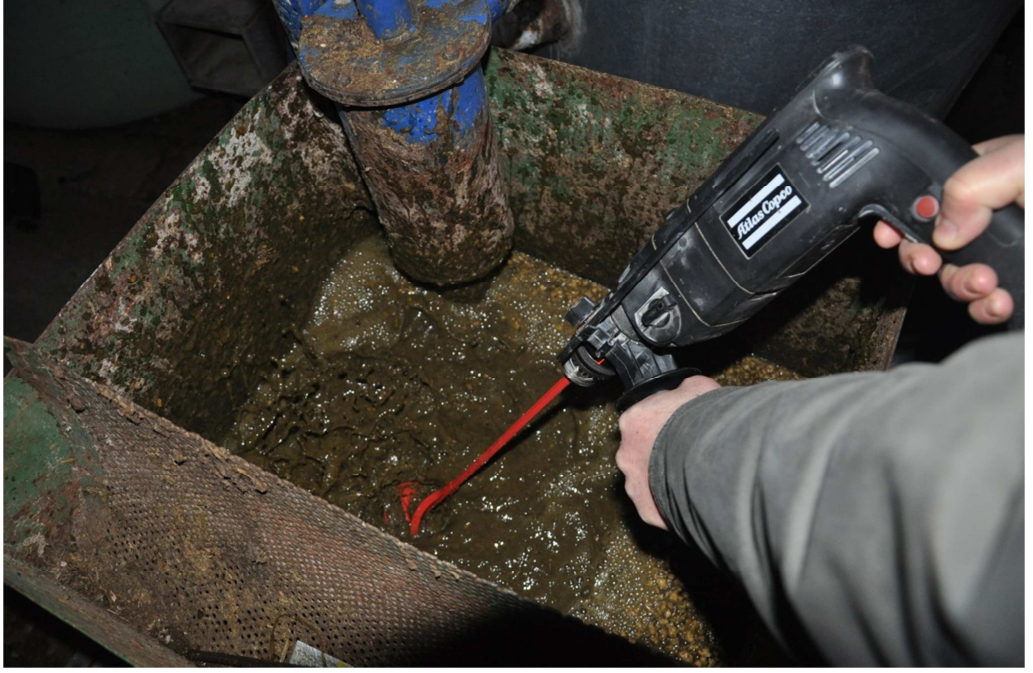
İstatistiksel analizler için JMP 7 (SAS Institute Inc., 2012) paket programı kullanılmıştır. Kuru madde, gübre:silaj ve aşılama maddesi oranlarının biyogaz üretiminde zamana bağlı etkilerini görebilmek için tek yönlü varyans analizi (Anova) uygulanmıştır. 120 günlük deneme süresi onbeşer günlük 8 periyoda bölünmüştür.

### **3.2.2. 500 litre kapasiteli anaerobik fermantasyon denemeleri yöntemi**

500 litre kapasiteli fermantörlerde gerçekleştirilen anaerobik fermantasyon denemelerinde, laboratuvar ölçekli denemeler sonucunda belirlenen, en yüksek biyogaz üretimine sahip karışım olan kuru madde oranı % 6, gübre:silaj oranı 3:1 ve aşılama oranı % 30 olan karışım içeriği kullanılmıştır.

Denemeler mezofilik sıcaklık şartları altında (37 °C ± 1), 3 tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir. Denemeler laboratuvar ölçekli denemeler sonucunda belirlenen, en yüksek biyogaz üretiminin elde edildiği üçüncü periyot bitimine kadar 45 gün boyunca sürdürülmüştür. Denemede sürekli fermantasyon yöntemi kullanılmıştır. Günlük olarak beslenen miktar kadar materyal, çıkış ağzından alınmıştır.

Süt sığırı gübresi, mısır silajı ve aşılama maddesinden oluşan fermantör besleme materyali, karıştırma tankında bir mikser ile homojen hale getirildikten sonra fermantöre elle beslenmiştir. Karıştırma tankı ve karıştırma işlemi Şekil 3.17’de görülmektedir.



**Şekil 3.17.** Fermantöre besleme öncesi materyalin karıştırıldığı tank ve karıştırma işlemi

Besleme materyali, fermantör içindeki karışımın pH’ının optimum değerlere yükseltilmesi amacıyla deneme başlangıcında ve günlük beslemeler esnasında, sönmüş toz kireç katılarak fermantöre yüklenmiştir.

Fermantör tabanına çökmeyi önleyerek karışımın homojenliğini sağlamak, karışımın üst seviyesinde kabuk oluşumunu engellemek ve homojen ısı dağılımı amacıyla 5 dakika çalışma ve 2 dakika bekleme süresine ayarlanmış fermantör karıştırıcısı denemeler boyunca kesintisiz olarak çalıştırılmıştır.

Aşılama maddesi elde etmek amacı ile denemeler boyunca fermantörlerden biri sadece gübre ile beslenerek çalıştırılmıştır.

Denemelerde kullanılan gübre ve mısır silajı hiçbir ön işleme tabi tutulmadan, temin edildiği gibi bekletilmeden kullanılmıştır. Denemelerde kullanılan materyallerin özelliklerini belirlemek amacıyla fermantasyondan önce tüm analizler standart metodlar kullanılarak yapılmıştır.

Kuru madde tayininde ham materyal kullanılmıştır. Yapılan diğer analizlerde materyaller 65 °C'de kurutulup, öğütüldükten sonra kullanılmıştır.

Denemelerde istenilen kuru madde oranının sağlanması için, her bir materyalin kuru maddesi (KM) etüvde 105 °C'de sabit tartıma gelene kadar bekletilmesi ile belirlenmiştir. Kül (XA) ve uçucu katı (UK) tayini materyallerin 550 °C'de kül fırınında yakılması ile yapılmıştır (Karabulut ve Canbolat 2005).

500 litre kapasiteli fermantörlerde gerçekleştirilen anaerobik fermantasyon denemelerinde, karışım materyalinin pH'ı fermantöre yükleme öncesinde ve fermantör çıkışında pH kağıdı ile ölçülmüştür. Karbon (C) analizinde yüksek sıcaklıkta yakma metodu kullanılmıştır. Nitrojen (N) ve protein (XP) analizinde kjeldahl yöntemi kullanılmıştır (Bremmer 1965). Uçucu yağ asidi (UYA) ölçümleri Hach Lange DR 2800 marka fotometre kullanılarak ölçülmüştür.

Biyogazın bileşimini analiz etmek için biyogaz, maksimum basıncı 3 kPa olan, ½ litrelik plastik gaz torbalarına toplanmıştır. Biyogaz bileşimi (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, O<sub>2</sub>, diğer gazlar) Geotech marka, Biogas model, biyogaz analiz cihazı ile ölçülmüştür (Geotechnical Instrument Ltd., England). Metan ve karbondioksit infra-red absorpsiyon ile, oksijen ve hidrojen sülfür kimyasal hücre ile ölçülmüştür.

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1. Laboratuvar Ölçekli Anaerobik Fermantasyon Deneme Sonuçları

Laboratuvar ölçekli anaerobik fermantasyon denemelerinde kullanılan süt sığırı gübresi ve mısır silajının, su ile seyreltilmemiş ve karışım haline gelmeden, anaerobik fermantasyondan önce ki özelliklerini belirlemek için yapılan analizlerin sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

**Çizelge 4.1.** Laboratuvar ölçekli anaerobik fermantasyon denemesi hammadde özellikleri

Parametreler	Süt Sığırı Gübresi	Mısır Silajı
Kuru Madde (%)	13,98	23,79
Uçucu Katı (% KM)	82,75	93,57
Kül (% KM)	17,24	6,42
C/N (% KM)	31,97	56,71
Protein (% KM)	15,4	9,91
Nişasta (% KM)	21,17	16,63
Çözünebilir Şeker (% KM)	1,79	2,86
Ham Yağ (% KM)	3,11	3,17
Selüloz (% KM)	21,84	28,42
Hemi-selüloz (% KM)	22,69	26,62
Nötr Deterjant Lif (% KM)	61,26	64,80
Asit Deterjant Lif (% KM)	38,74	38,23
Lignin (% KM)	11,97	6,96
Potasyum (% KM)	0,38	0,40
Fosfor (% KM)	0,10	0,37
pH	6,12	3,68

Banik ve Nandi (2004), Amon ve ark. (2007a), Heiermann ve ark. (2009), Amon ve ark. ([http://www.ramiran.net/doc04/Proceedings%2004/T\\_Amon.pdf](http://www.ramiran.net/doc04/Proceedings%2004/T_Amon.pdf), 2010), Heiermann ve Plöchl ([http://www.atb-potsdam.de,\\_2011](http://www.atb-potsdam.de,_2011)) çalışmalarında hammadde karakteristikleri için benzer sonuçlar bildirmişlerdir.

Laboratuvar ölçekli anaerobik fermantasyon denemeleri 120. günde sonlandırılmıştır. Denemelere ait sonuçlar Çizelge 4.2’de verilmiştir.

**Çizelge 4.2.** Laboratuvar ölçekli anaerobik fermantasyon deneme sonuçları

Uygulama No	Uygulama İçeriği	pH		Biyogaz Üretimi (mL/gKM)	Biyogazın Analiz Edilen Önemli Bileşenleri		
		Başlangıç	Bitiş		CH <sub>4</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (%)	H <sub>2</sub> S (ppm)
N1	KM %6 x 1G:1S x AO %20	6,94	7,62	369,80ab	62,30	27,07	0
N2	KM %6 x 3G:1S x AO %20	6,94	7,69	333,43bcd	61,57	22,67	0
N3	KM %6 x 1G:3S x AO %20	7,02	7,76	347,90b	54,53	15,50	0
N4	KM %8 x 1G:1S x AO %20	6,95	7,69	340,82bc	62,00	17,10	0
N5	KM %8 x 3G:1S x AO %20	6,94	7,68	366,38ab	60,73	26,93	0
N6	KM %8 x 1G:3S x AO %20	6,99	7,78	350,14b	59,90	23,60	0
N7	KM %10 x 1G:1S x AO %20	6,88	7,71	344,49b	64,20	22,33	0
N8	KM %10 x 3G:1S x AO %20	6,83	7,68	346,63b	61,40	26,57	0
N9	KM %10 x 1G:3S x AO %20	7,01	7,19	261,53d	68,30	23,47	0
N10	KM %6 x 1G:1S x AO %30	6,95	7,65	401,53ab	69,93	19,87	0
N11	KM %6 x 3G:1S x AO %30	6,90	7,52	443,55a	65,20	15,63	0
N12	KM %6 x 1G:3S x AO %30	7,02	7,57	327,89bcd	71,70	12,03	0
N13	KM %8 x 1G:1S x AO %30	6,88	7,67	344,88b	60,73	20,20	0
N14	KM %8 x 3G:1S x AO %30	6,91	7,57	357,26b	60,63	21,50	1,67
N15	KM %8 x 1G:3S x AO %30	6,85	7,13	366,08ab	68,87	18,93	0
N16	KM %10 x 1G:1S x AO %30	6,87	7,59	262,84d	67,93	19,40	0
N17	KM %10 x 3G:1S x AO %30	6,86	7,60	354,42b	66,33	23,33	0
N18	KM %10 x 1G:3S x AO %30	7,00	6,52	264,76cd	62,40	20,63	0

Aynı sütundaki farklı harfler % 5 düzeyinde önemlidir.

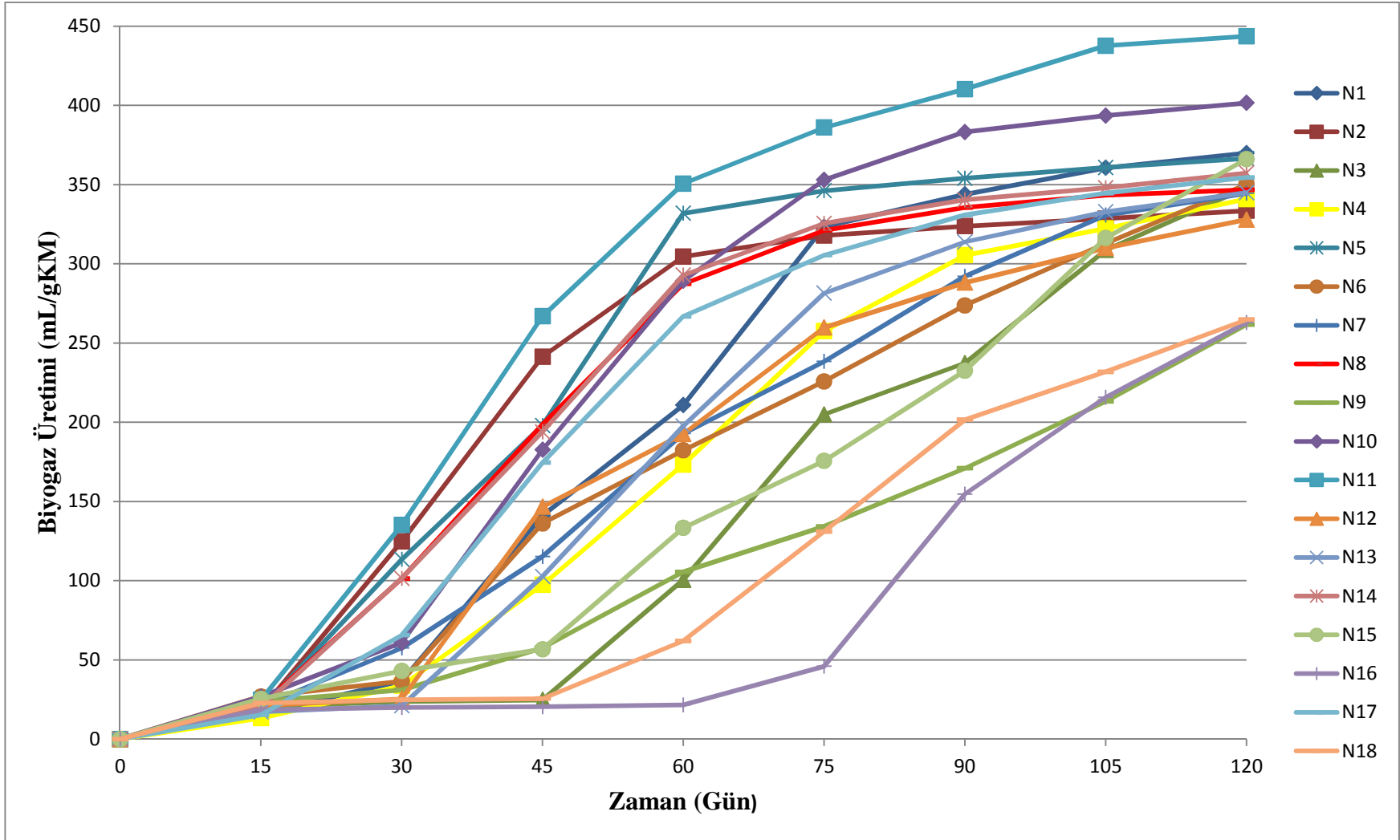
Denemelerde kullanılan mısır silajının pH’sı düşüktür. Gübrenin ki ise anaerobik fermantasyon için uygundur. Karışımların pH’sı 6,83-7,02 değerler arasında deneme başlangıcından önce NaOH katılarak ayarlanmıştır. Deneme sonunda ise N18 uygulaması hariç diğer tüm karışımların pH değerlerinde artış gözlenmiştir.

120 günün sonunda kuru madde oranı % 6, gübre:silaj oranı 3:1 ve aşılama oranı % 30 olan N11 uygulaması en yüksek biyogaz üretimini gerçekleştirmiştir. N11 uygulamasında 443,44 mL/gKM biyogaz elde edilmiştir. Kuru madde oranı % 10, gübre:silaj oranı 1:3 ve aşılama oranı % 20 olan N9 uygulaması 261,53 mL/gKM ile en düşük biyogaz üretimine sahiptir.

Arıcı (2009) tezinde katı madde oranı % 11,15 olan sığır gübresinden 41 günde 1215 mL biyogaz elde etmiştir, sığır gübresinden biyogaz üretimi 41. günde durmuştur. % 10 katı madde oranına sahip, % 50 sığır gübresi ve % 50 silaj karışımından ise 52 günde 7925 mL biyogaz elde etmiştir. Amon ve ark. (2006) yaptıkları çalışmada süt sığır gübresinin özgül metan verimini 125-166 NL CH<sub>4</sub>/kg UK değerleri arasında bulmuşlardır. Aynı çalışmada domuz gübresinin özgül metan verimi 412 NL CH<sub>4</sub>/kg UK ve mısır silajı, mısır taneleri ve domuz gübresinden oluşan karışımın özgül metan verimi ise 569 NL CH<sub>4</sub>/kg UK olarak bulunmuştur. Macias-Corral ve ark. (2008) iki aşamalı, pilot ölçekli anaerobik fermantasyon denemelerinde sığır gübresinin fermantasyonu sonucu % 72 metan oranına sahip 64,8 m<sup>3</sup> biyogaz elde etmiş ve sığır gübresi ile evsel katı atıkların birlikte fermantasyonundan ise % 73 metan oranına sahip 96,6 m<sup>3</sup> biyogaz üretmişlerdir. Sığır gübresi ve sığır gübresi-evsel katı atık karışımının metan verimi sırasıyla 0,08 ve 0,1 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ton KM'dir. Mısır silajı ile yapılan bir çalışmada özgül metan verimi 250 - 375 NL CH<sub>4</sub>/kg UK olarak bulunmuştur (Amon ve ark., [http://www.ramiran.net/doc04/Proceedings%2004/T\\_Amon.pdf](http://www.ramiran.net/doc04/Proceedings%2004/T_Amon.pdf), 2010). Amon ve ark. (2007a)'nın çalışmasında süt sığır gübresinin biyogaz verimi 208,2 – 267,7 NL /kg UK ve mısır silajının özgül metan verimi 268 - 366 NL CH<sub>4</sub>/kg UK olarak belirlenmiştir.

Deneme sonuçları yukarıda verilen literatür bilgileriyle örtüşmektedir. Deney sonuçları ve literatür; sığır gübresi ile mısır silajının birlikte fermantasyonunun gaz üretimini, materyallerin ayrı ayrı fermantasyonuna göre arttırdığını göstermiştir. Laboratuvar ölçekli anaerobik fermantasyon denemesine ait biyogaz üretimi tüm uygulamalar için aynı grafik üzerinde Şekil 4.1'de görülmektedir.

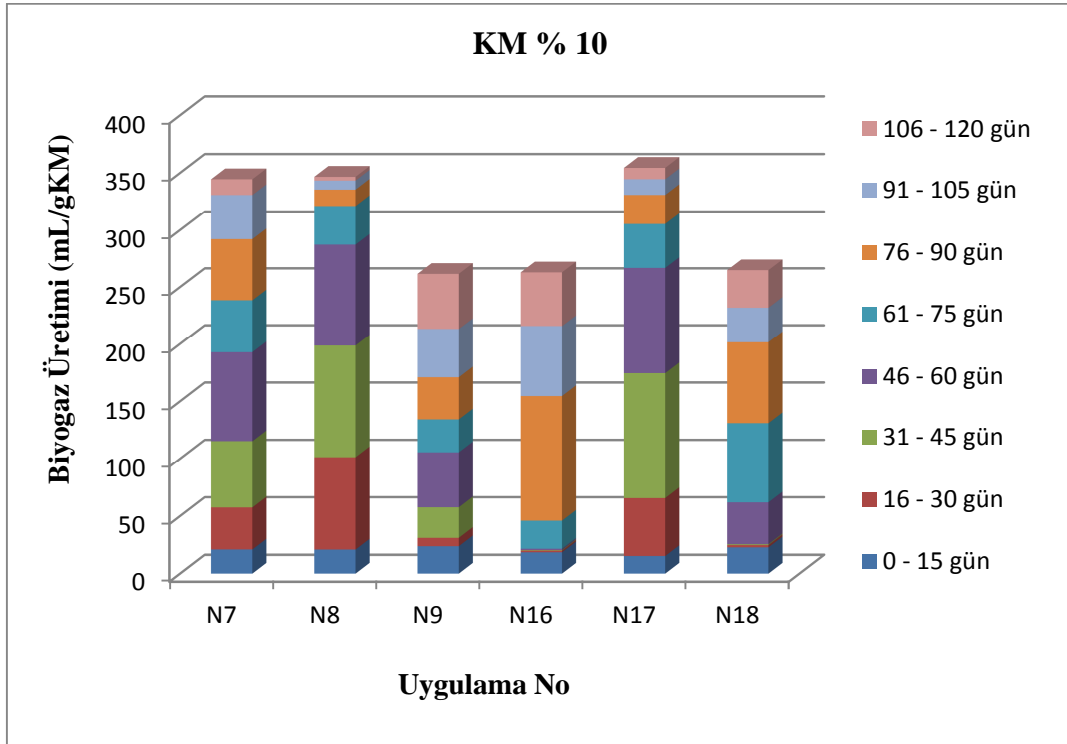




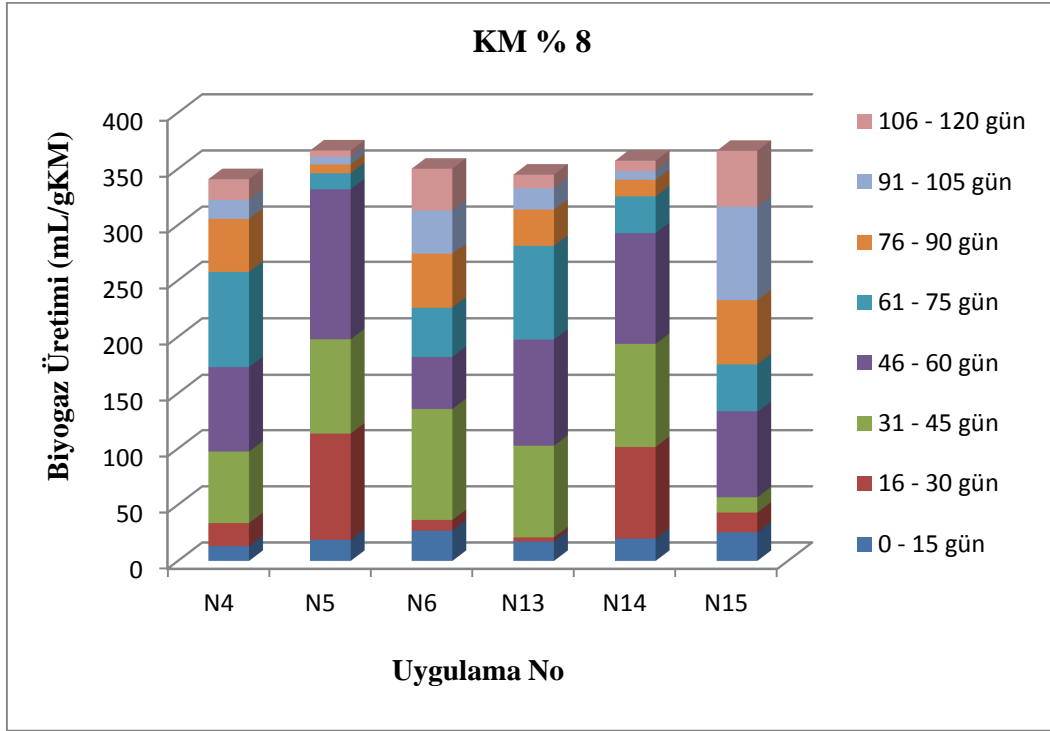
Şekil 4.1. Laboratuvar ölçekli anaerobik fermantasyon denemesi biyogaz üretimi

Laboratuvar ölçekli anaerobik fermantasyon denemelerinde kullanılan 3 farklı kuru madde oranı dikkate alındığında en yüksek biyogaz üretimi, % 6 kuru madde oranına sahip uygulamada elde edilmiştir.

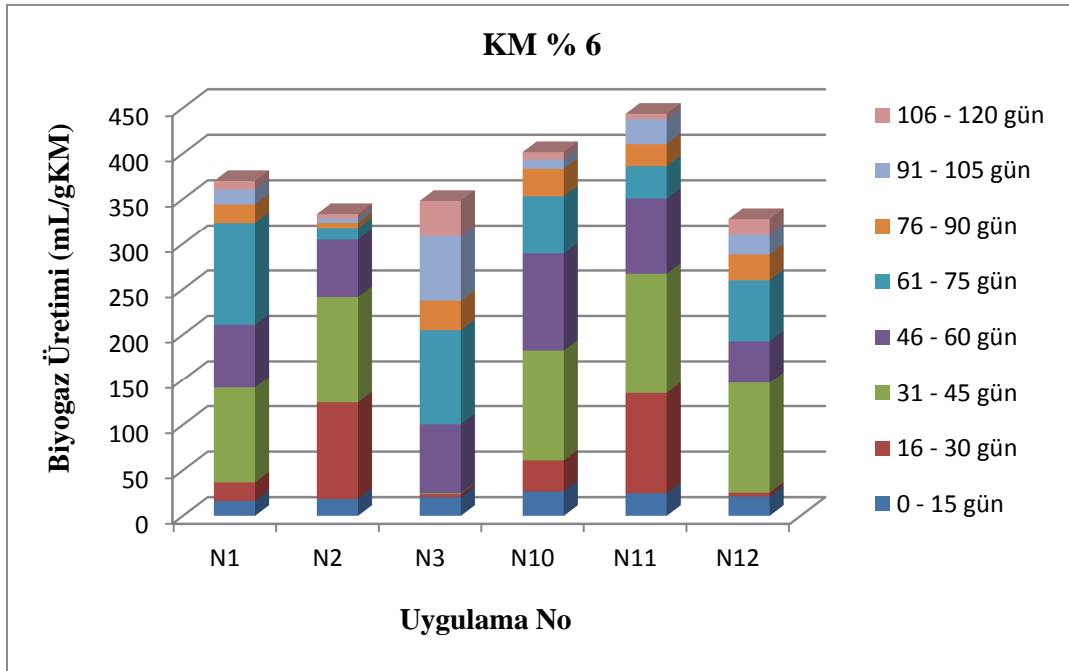
Kuru madde oranı % 10 olan 6 karışım içinde 346,63 mL/gKM ile en yüksek biyogaz üretimi; gübre:silaj oranı 3:1 ve aşılama oranı % 20 olan N8 uygulamasında, en düşük üretim ise 261,53 mL/gKM ile gübre:silaj oranı 1:3 ve aşılama oranı % 20 olan N9 uygulamasında görülmüştür. % 10 kuru madde oranına sahip karışımların 120 gün sonundaki toplam biyogaz üretimi Şekil 4.2’de de görülmektedir. Aynı şekilde kuru madde oranı % 8 ve % 6 için en yüksek biyogaz üretimi sırasıyla 366,38 ve 443,55 mL/gKM değerleri ile gübre:silaj oranı 3:1 ve aşılama oranı % 20 olan N5 ve gübre:silaj oranı 3:1 ve aşılama oranı % 30 olan N11 uygulamalarında, en düşük üretim ise sırasıyla 340,82 ve 327,89 mL/gKM değerleri ile gübre:silaj oranı 1:1 ve aşılama oranı % 20 olan N4 ve gübre:silaj oranı 1:3 ve aşılama oranı % 30 olan N12 uygulamalarında bulunmuştur. Kuru madde oranı % 8 ve % 6 olan uygulamaların biyogaz üretimi sırasıyla Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’te görülmektedir.



Şekil 4.2. Kuru madde oranı % 10 olan karışımların toplam biyogaz üretimi



Şekil 4.3. Kuru madde oranı % 8 olan karışımların toplam biyogaz üretimi

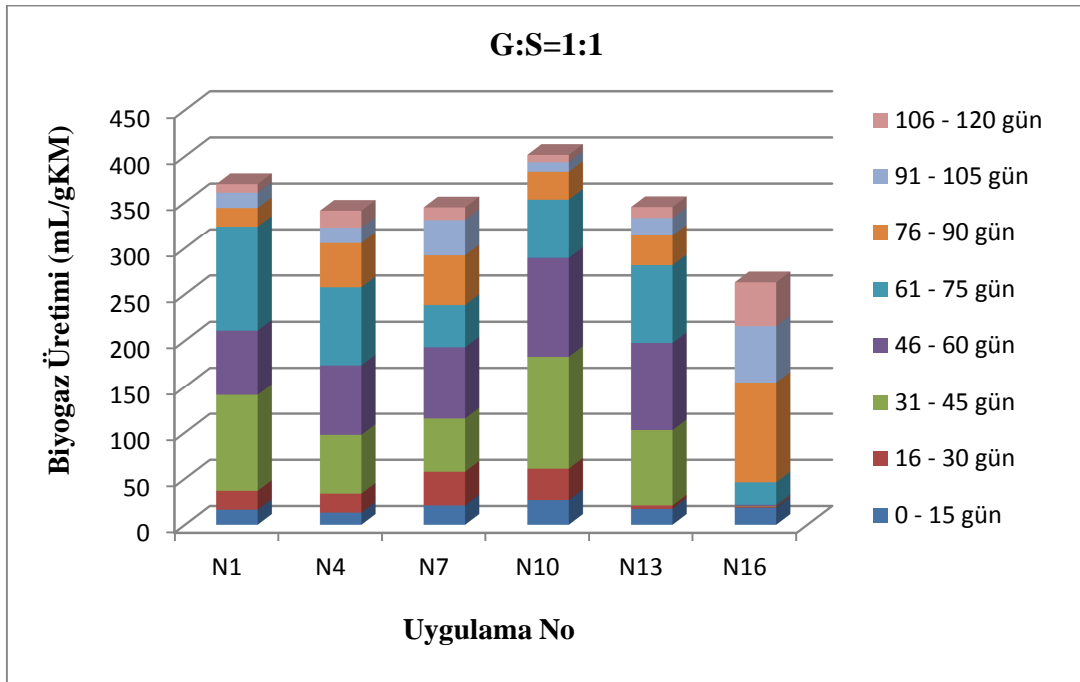


Şekil 4.4. Kuru madde oranı % 6 olan karışımların toplam biyogaz üretimi

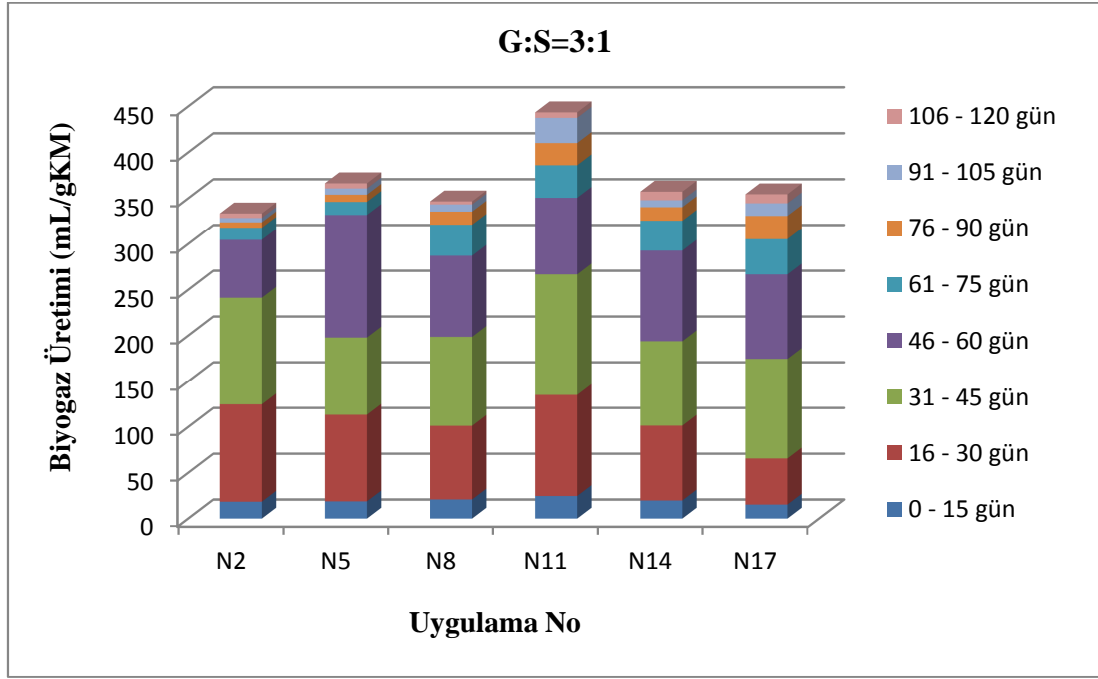
Gübre:silaj materyalinin karışım oranları (G:S) dikkate alındığında ise en yüksek biyogaz üretimi, gübre:silaj oranı 3:1 olan uygulamada elde edilmiştir.

Gübre:silaj materyalinin karışım oranının eşit olduğu 6 adet uygulamada en iyi sonuç N10 uygulamasında (401,53 mL/gKM), en kötü sonuç ise 262,84 mL/gKM biyogaz üretimiyle N16 uygulamasında belirlenmiştir (Şekil 4.5).

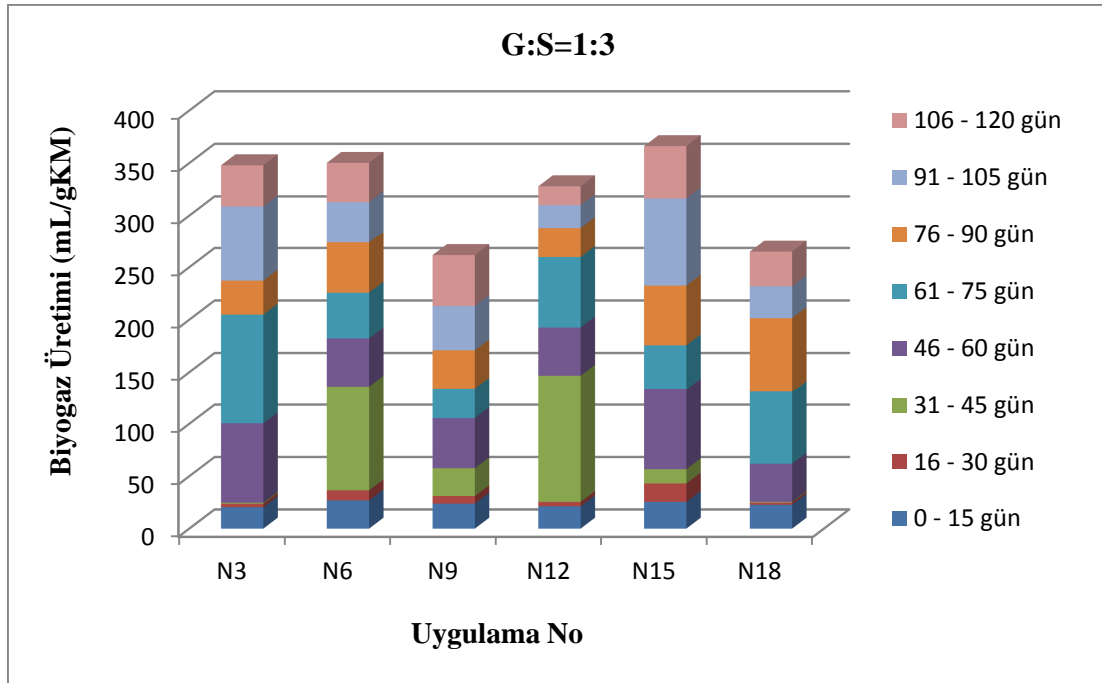
Gübre:silaj karışım oranı 3:1 olan 6 adet uygulamada ise en yüksek ve düşük biyogaz üretimi sırasıyla 443,55 ve 333,43 mL/gKM değerleri ile N11 ve N2 uygulamalarında elde edilmiştir. En yüksek silaj oranına sahip olan 1:3 uygulamasında ise en iyi sonucu 366,08 mL/gKM değeri ile N15 verirken, en düşük biyogaz üretimi 261,53 mL/gKM değeri ile N9'da gözlenmiştir. Gübre:silaj oranı 3:1 ve 1:3 olan uygulamaların biyogaz üretimi sırasıyla Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de görülmektedir.



**Şekil 4.5.** Gübre:silaj oranı 1:1 olan karışımların toplam biyogaz üretimi



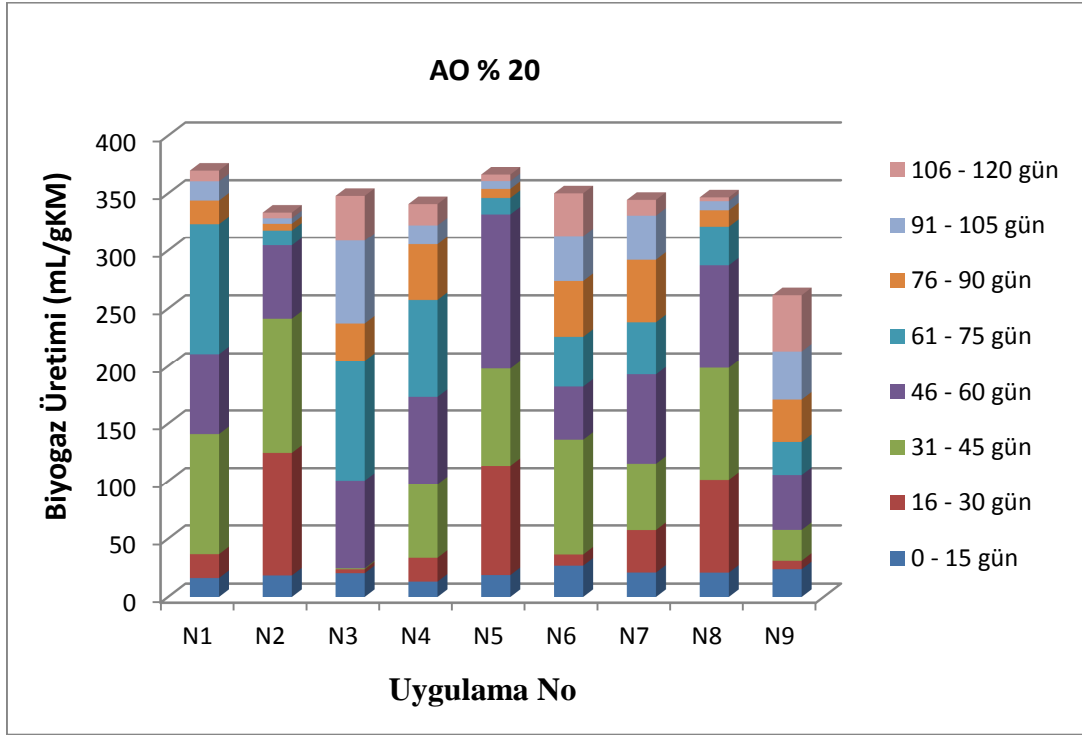
**Şekil 4.6.** Gübre:silaj oranı 3:1 olan karışımların toplam biyogaz üretimi



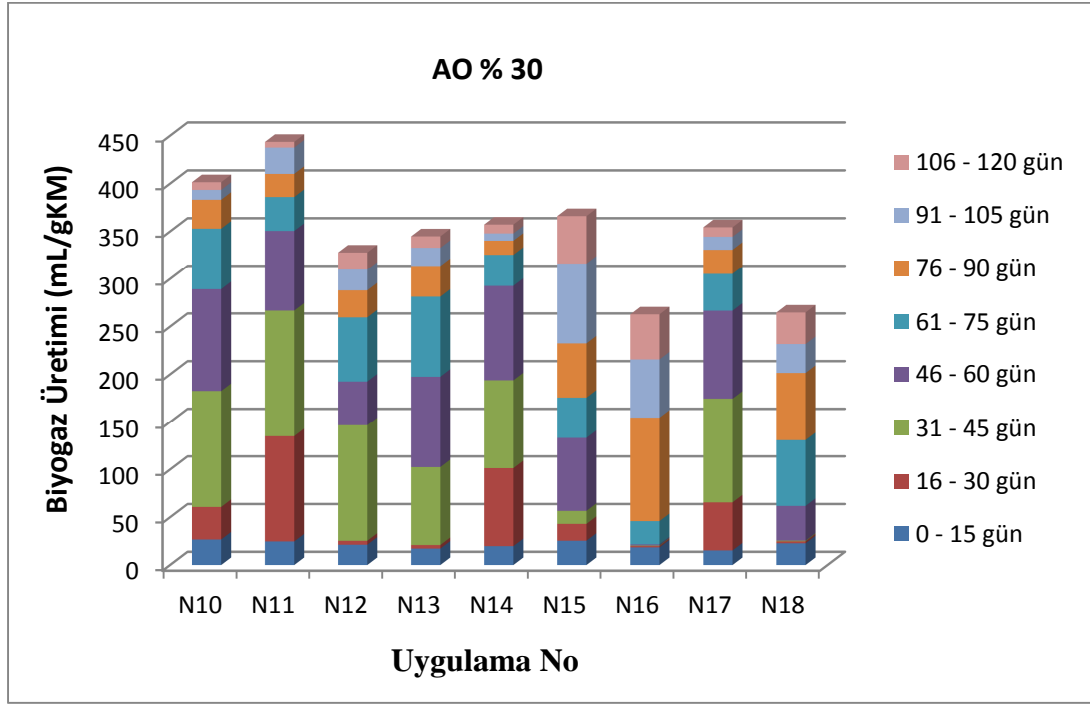
**Şekil 4.7.** Gübre:silaj oranı 1:3 olan karışımların toplam biyogaz üretimi

Laboratuvar ölçekli anaerobik fermantasyon denemelerinde aşılama oranları göz önüne alındığında 9 uygulama % 20 aşılama oranına sahipken, geri kalan 9 uygulamada % 30 aşılama oranına sahiptir. % 30 olan aşılama oranında en yüksek biyogaz üretimi elde edilmiştir. Bu uygulamaların biyogaz üretimi Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'da görülmektedir.

Sırasıyla % 20 ve % 30 aşılama oranı için en yüksek biyogaz üretimi 369,80 ve 443,55 mL/gKM değerleri ile sırasıyla N1 ve N11'de, en düşük biyogaz üretimleri ise 261,53 ve 262,84 mL/gKM ile N9 ve N16'da bulunmuştur.



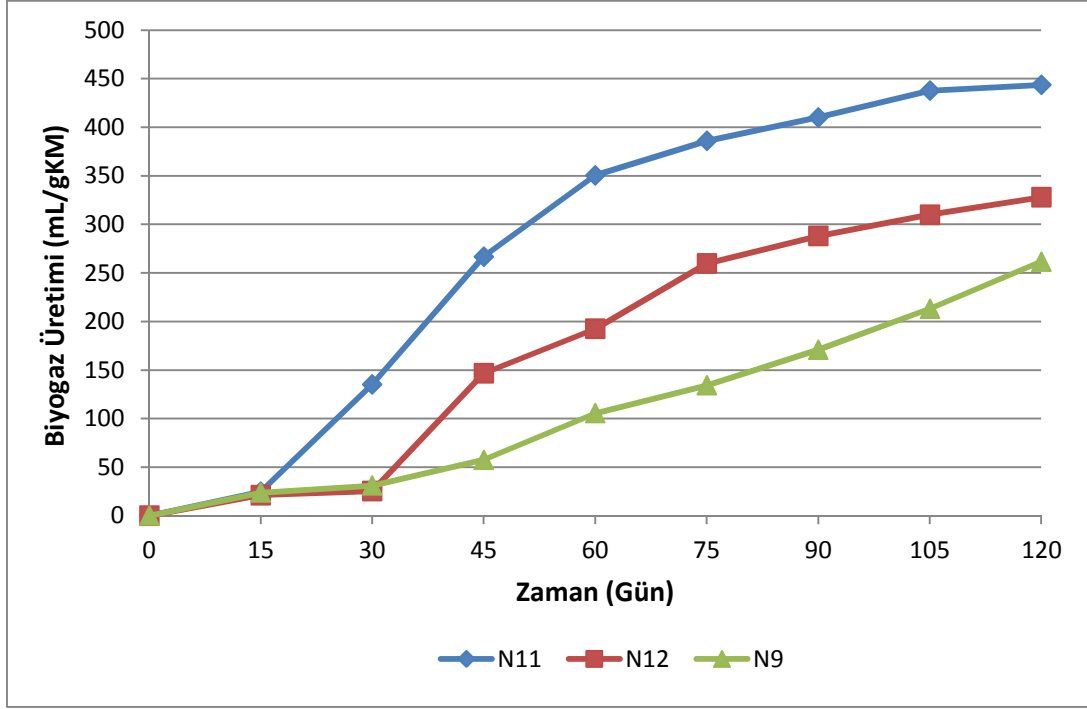
Şekil 4.8. Aşılama oranı % 20 olan karışımların toplam biyogaz üretimi



**Şekil 4.9.** Aşılama oranı % 30 olan karışımların toplam biyogaz üretimi

Tüm uygulamalarda biyogazın karbondioksit (CO<sub>2</sub>) içeriği % 12,03 ila 27,07 arasında bulunmuştur. Hidrojensülfür (H<sub>2</sub>S), N14 uygulaması hariç hiçbir uygulamada gözlenmemiştir. N14 uygulamasında ise H<sub>2</sub>S 1,67 ppm düzeyinde gözlenmiştir. Yapılan denemeler sonucu elde edilen biyogazın metan (CH<sub>4</sub>) içeriği % 54,53 ile % 71,7 arasında değişmektedir. Biyogazın bileşiminde karbondioksit (CO<sub>2</sub>), hidrojensülfür (H<sub>2</sub>S) ve metan (CH<sub>4</sub>) dışında amonyak, azot gibi gazlar mevcuttur. Düşük biyogaz üretimine karşın en yüksek metan (CH<sub>4</sub>) verimi, % 71,7 ile kuru madde oranı % 6, gübre:silaj oranı 1:3 ve aşılama oranı % 30 olan N12 uygulamasında bulunmuştur.

Elde edilen bu sonuç daha önce yapılan çalışmalarla uyumluluk göstermektedir (Weiland 2001, Satyanarayana ve ark. 2008, Heiermann ve Plöchl <http://www.atb-potsdam.de>, 2011). Önceki çalışmalar mısır silajının anaerobik fermantasyonunda metan içeriğinin % 54-69 olduğunu göstermektedir (Dubrovskis ve ark 2009, Heiermann ve Plöchl <http://www.atb-potsdam.de>, 2011). En yüksek ve en düşük biyogaz üretimine sahip N11 ve N9 uygulamaları ile en yüksek metan oranına sahip N12 uygulamasının biyogaz üretimi Şekil 4.10'da verilmiştir.



**Şekil 4.10.** N11, N12 ve N9 uygulamalarının biyogaz üretimi

İstatistiksel analizler için JMP 7 (SAS Institute Inc., 2012) paket programı kullanılmıştır. Her uygulama 3 tekerrürlü olarak yapılmıştır. Kuru madde, gübre:silaj ve aşılama maddesi oranlarının biyogaz üretiminde zamana bağlı etkilerini görebilmek için tek yönlü varyans analizi (Anova) uygulanmıştır. Kuru madde oranı (KM), süt sığırı gübresi:mısır silajı karışım oranı (G:S) ve aşılama maddesi oranının (AO) biyogaz üretimine zamana bağlı etkilerinin ve interaksiyonların analiz sonuçları sırasıyla Çizelge 4.3'te ve Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Deneme süresi sekiz periyoda bölünmüştür. En yüksek biyogaz üretimi sekiz periyot göz önüne alındığında 133,91 mL/gKM biyogaz miktarı ile 4. zaman periyodunda bulunmuştur. 120 günlük deneme süresi boyunca elde edilen en yüksek toplam biyogaz üretimine sahip uygulama için ise en yüksek biyogaz üretimi 31-45 günleri arasında elde edilmiştir.

Araştırma sonuçlarına göre, gübre:silaj karışım oranı her bir zaman periyodu için % 1 düzeyinde önemli çıkmıştır. Anaerobik fermantasyonun 1-15 ve 91-105 günleri hariç biyogaz üretimi kuru madde oranından etkilenmiştir. Aşılama maddesi oranı ise 16-30



ve 76-90 günleri arasında biyogaz üretimini etkilemiştir. Bu etkinin, belirtilen zaman dilimleri içerisindeki bakteri popülasyonundaki dalgalanmalardan kaynaklandığı söylenebilir.

Ayrıca kuru madde oranı, içerik (gübre:silaj oranı ve aşılama oranı) ve zamanın biyogaz üretimine etkileri incelendiğinde tüm deneme için bütün parametreler ve interaksiyonlarının % 1 düzeyinde önemli olduğu bulunmuştur.

**Çizelge 4.3.** Kuru madde oranı (KM), süt sığırı gübresi:mısır silajı karışım oranı (G:S) ve aşılama maddesi oranının (AO) biyogaz üretimine zamana bağlı etkileri

Uygulama	Biyogaz Üretimi							
	Zaman (gün)							
	Periyot 1 (1-15)	Periyot 2 (16-30)	Periyot 3 (31-45)	Periyot 4 (46-60)	Periyot 5 (61-75)	Periyot 6 (76-90)	Periyot 7 (91-105)	Periyot 8 (106-120)
KM %6	21,29	46,44 a	99,43 a	74,18 b	66,07 a	23,60 c	25,4	14,26 b
KM %8	20,21	37,93 b	72,59 b	87,73 a	50,14 b	34,65 b	28,88	22,12 a
KM %10	20,35	29,65 c	48,64 c	57,30 c	40,02 b	51,56 a	32,3	25,93 a
	öd	**	**	**	**	**	öd	**
1G:1S	18,80 b	19,44 b	71,61 b	71,01 b	69,02 a	48,90 a	27,11 b	18,17 b
3G:1S	19,63 b	87,26 a	105,25 a	93,44 a	28,02 b	15,43 b	11,36 c	6,52 c
1G:3S	23,42 a	7,31 c	43,79 c	54,77 c	59,19 a	45,48 a	48,10 a	37,63 a
	**	**	**	**	**	**	**	**
AO %20	19,95	42,09 a	72,38	75,4	53,37	29,72 b	27,13	20,06
AO %30	21,29	33,92 b	74,72	70,74	50,78	43,49 a	30,58	21,48
	öd	**	öd	öd	öd	**	öd	öd

\*P < 0.05, \*\*P < 0.01, öd= önemli değil

**Çizelge 4.4.** Kuru madde oranı (KM), süt sığırı gübresi:mısır silajı karışım oranı (G:S) ve aşılama maddesi oranının (AO) biyogaz üretimine zamana bağlı etkileri - İnteraksiyonlar

Uygulama		Biyogaz Üretimi							
		Zaman (gün)							
		Periyot 1 (1-15)	Periyot 2 (16-30)	Periyot 3 (31-45)	Periyot 4 (46-60)	Periyot 5 (61-75)	Periyot 6 (76-90)	Periyot 7 (91-105)	Periyot 8 (106-120)
<b>İnteraksiyonlar</b>									
N1	KM %6 x 1G:1S x AO %20	16,27	20,44	104,30 b <sup>e</sup>	69,71 def	112,60 a	20,48 fgh	16,67 def	9,28 de
N2	KM %6 x 3G:1S x AO %20	18,43	106,27	116,62 abc	63,19 ef	13,25 f	5,96 h	4,72 f	4,95 e
N3	KM %6 x 1G:3S x AO %20	20,39	3,34	0,94 ı	75,79 cde	104,37 a	32,39 def	71,38 a	39,27 abc
N4	KM %8 x 1G:1S x AO %20	13,16	20,49	63,69 fg	75,86 cde	84,22 ab	47,98 cde	16,83 def	18,56d
N5	KM %8 x 3G:1S x AO %20	18,78	94,57	84,52 ef	133,91 a	14,28 f	7,85 gh	6,79 ef	5,64 e
N6	KM %8 x 1G:3S x AO %20	26,89	9,53	99,70 b <sup>e</sup>	46,06 fg	43,53 c <sup>f</sup>	48,00 cde	39,11 bcd	37,27 bc
N7	KM %10 x 1G:1S x AO %20	20,93	36,51	57,77 g	77,57 cde	45,49 cde	53,77 bcd	38,64 bcd	13,78 de
N8	KM %10 x 3G:1S x AO %20	20,87	80,39	97,37 cde	88,58 b <sup>e</sup>	33,90 def	14,31 fgh	7,86 ef	3,32 e
N9	KM %10 x 1G:3S x AO %20	23,79	7,28	26,51 h	47,92 fg	28,68 ef	36,71 c <sup>f</sup>	42,18 bc	48,44 ab
N10	KM %6 x 1G:1S x AO %30	26,72	34,05	121,76 ab	106,75 b	63,61 bcd	30,21 efg	10,35 ef	8,14 de
N11	KM %6 x 3G:1S x AO %30	24,67	110,39	131,72 a	83,74 b <sup>e</sup>	35,44 def	24,21 fgh	27,40 c <sup>f</sup>	5,95 e
N12	KM %6 x 1G:3S x AO %30	21,26	4,13	121,21 ab	45,91 fg	67,18 bc	28,36 e <sup>h</sup>	21,85 c <sup>f</sup>	17,96 d
N13	KM %8 x 1G:1S x AO %30	17,21	3,73	81,61 ef	95,00 bcd	83,84 ab	32,32 def	19,09 c <sup>f</sup>	12,06 de
N14	KM %8 x 3G:1S x AO %30	19,77	81,66	92,36 de	98,99 bc	32,64 ef	14,87 fgh	7,62 ef	9,34 de
N15	KM %8 x 1G:3S x AO %30	25,44	17,6	13,64 hı	76,58 cde	42,31 c <sup>f</sup>	56,86 bc	83,82 a	49,81 a
N16	KM %10 x 1G:1S x AO %30	18,49	1,39	0,53 ı	1,15 h	24,37 ef	108,61 a	61,08 ab	47,18 ab
N17	KM %10 x 3G:1S x AO %30	15,27	50,31	108,89 a <sup>d</sup>	92,26 bcd	38,61 c <sup>f</sup>	25,39 fgh	13,75 ef	9,90 de
N18	KM %10 x 1G:3S x AO %30	22,76	2	0,76 ı	36,34 g	69,05 bc	70,55 b	30,27 cde	33,00 c
		öd	öd	**	**	*	*	**	**

\*P < 0.05, \*\*P < 0.01, öd= önemli değil

#### 4.2. 500 Litre Kapasiteli Anaerobik Fermantasyon Deneme Sonuçları

500 litre kapasiteli fermantörlerde gerçekleştirilen anaerobik fermantasyon denemeleri, laboratuvar ölçekli anaerobik fermantasyon denemelerinde kuru madde oranı % 6, gübre:silaj oranı 3:1 ve aşılama oranı % 30 olan, en yüksek biyogaz üretimine sahip karışım için, en yüksek biyogaz üretiminin elde edildiği üçüncü periyot bitimine kadar 45 gün boyunca sürdürülmüştür.

500 litre kapasiteli fermantörlerde gerçekleştirilen anaerobik fermantasyon denemelerinde kullanılan karışım materyalinin özelliklerini belirlemek için, su ile seyreltilip, tüm materyaller karışım haline getirildikten sonra, anaerobik fermantasyon öncesi ve fermantasyon sonrası yapılan analizlerin sonuçları Çizelge 4.5'te verilmiştir.

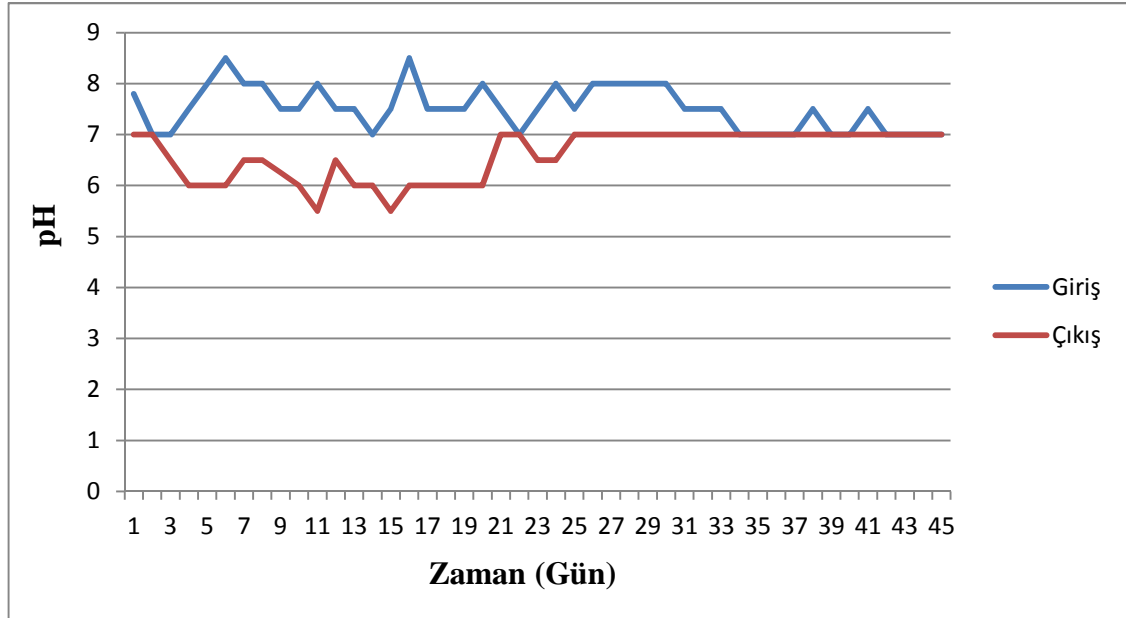
**Çizelge 4.5.** 500 litre kapasiteli anaerobik fermantasyon denemelerinde kullanılan karışım materyalinin özellikleri

Parametreler	Deneme Başlangıcı		Deneme Sonu
KM (% YM)	6		3,92
XA (% KM)	13,51		30,41
UK (% KM)	86,48		69,58
UYA (mg/L)	1936		3105
pH	Kireç ilavesiz	Kireç ilaveli	7,00
	6,50	7,80	
C/N	26,26		

Deneme sonunda kuru madde oranı, başlangıcına göre azalarak % 3,92 olmuştur. Uçucu katı giderimi de % 19,53 olarak bulunmuştur. Karbon ve azot miktarı denemenin sonunda, başlangıcına göre azalmıştır. Çünkü: organik maddelerdeki karbon, anaerobik bakterilerin enerji ihtiyacı için gereklidir. Reaktörlerin içinde bulunan mikroorganizmalar, hücre yapılarının oluşturulması, çoğalma ve solunum mekanizmalarında karbona ihtiyaç duymaktadırlar. Karbondan başka en önemli besin maddeleri azot ve fosfordur. Azot, bakterilerin büyümesi ve çoğalması için gereklidir

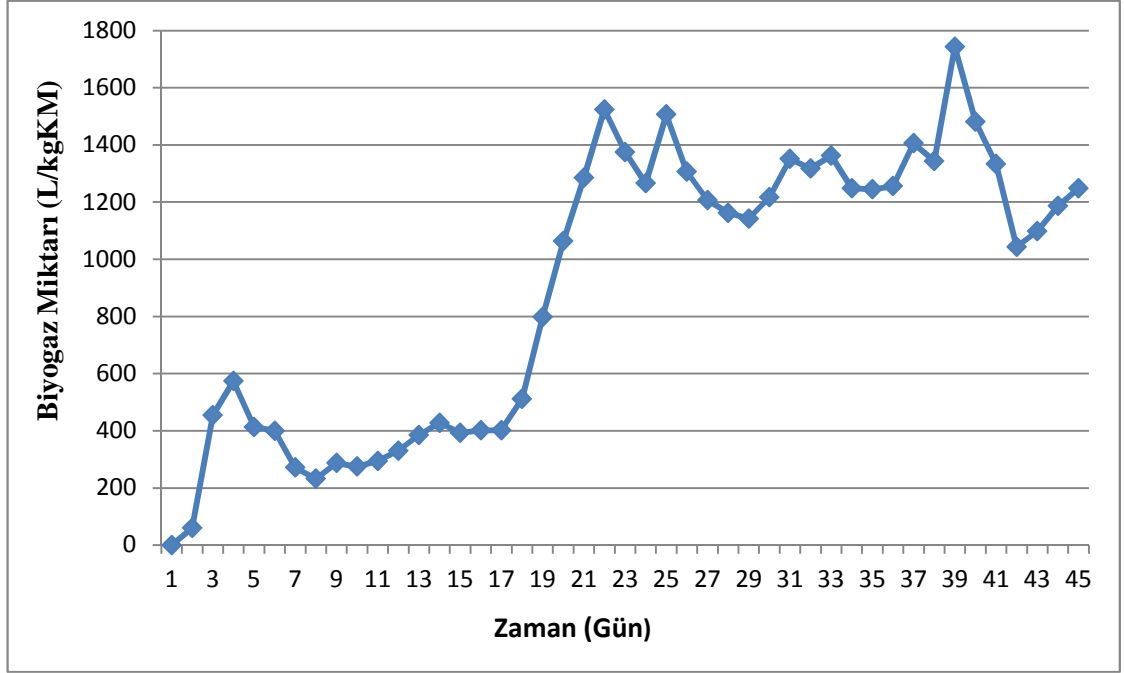
(Öztürk 2005, Arıcı 2009). Denemeler sonucu elde edilen veriler Arıcı'nın (2009) çalışmasıyla benzerlik göstermektedir.

Fermantör içindeki karışım materyalinin pH değeri ilk 15 gün içinde düşme eğilimi göstermiştir. Buna mısır silajının düşük pH değerinin ve sistem dengesinin kurulma aşamasının neden olduğu düşünülmektedir. İlk 15 gün içerisinde en düşük pH değeri 5,5 olarak ölçülmüştür. pH'ın biyogaz üretimi için optimum değerler arasına çekilmesi için sönmüş toz kireç katılarak günlük beslemeler yapılmıştır. Denemenin 15 - 45 günleri arasında ise pH 6 – 7 değerleri arasındadır. Denemenin 25. gününden itibaren pH 7 değerine sabitlenerek dengelenmiştir. Şekil 4.11'de günlük olarak fermantöre beslenen (giriş) ve fermantörden alınan (çıkış) karışım materyalinin pH değerleri görülmektedir.



**Şekil 4.11.** Organik maddenin fermantör giriş ve çıkış pH değişimi

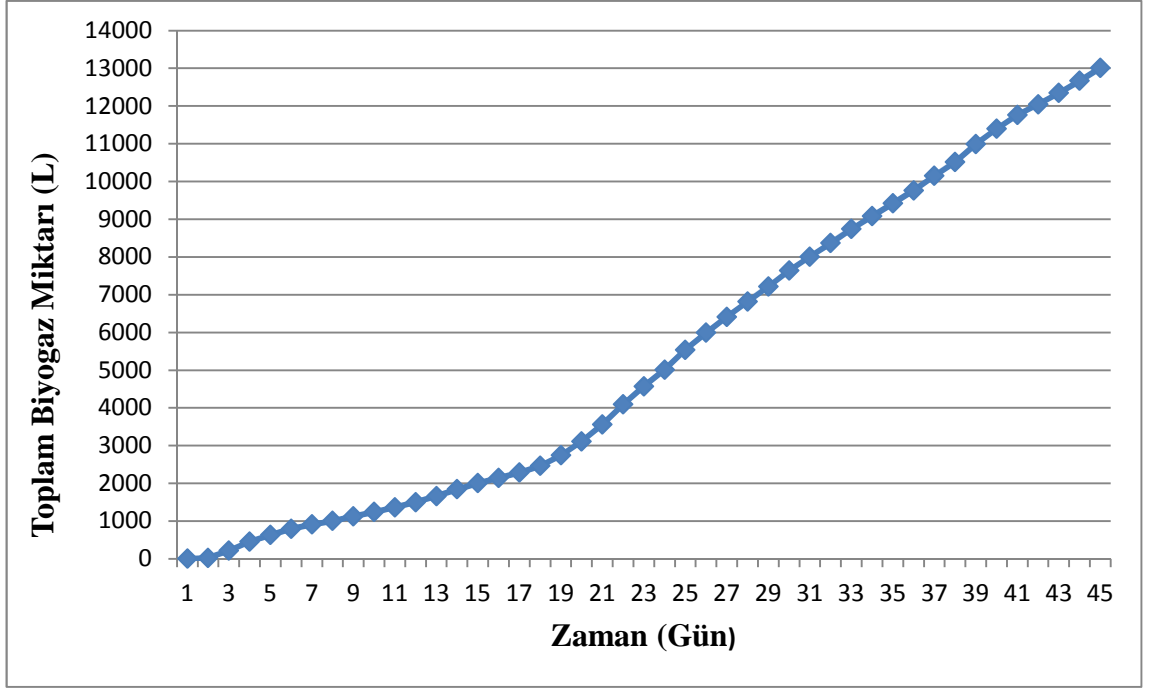
Kuru madde oranı % 6, gübre:silaj oranı 3:1 ve aşılama oranı % 30 olan karışımın, 500 litre kapasiteli fermantörlerde gerçekleştirilen anaerobik fermantasyon denemelerinde, en yüksek günlük biyogaz üretimi fermantöre günlük beslenen organik madde miktarı dikkate alındığında 1742,36 L/kgKM olarak belirlenmiştir. 500 litre kapasiteli anaerobik fermantasyon denemesi günlük biyogaz üretimi; günlük beslenen organik madde miktarı dikkate alınarak Şekil 4.12'de verilmiştir.



**Şekil 4.12.** 500 litre kapasiteli anaerobik fermantasyon denemesinde günlük beslenen organik madde dikkate alınarak belirlenen günlük biyogaz üretimi

Biyogaz üretiminde farklı pik noktalarının ortaya çıkması, karışımı oluşturan hammaddelerin farklı hidrolik bekleme sürelerine bağlıdır. Çünkü karışım içeriğinde bulunan silaj, bitkisel kaynaklı ve fiber yapılarca zengin olduğu için hidrolik bekleme süresi hayvansal atıklara göre daha uzundur. Daha geç hidrolize uğrayan silaj, hidroliz sürecini uzatmakta ve metanojenez fazına geçilmesini geciktirmektedir. Bu yüzden anaerobik metan üretimine geçmek için gerekli olan süre uzamaktadır (Arıcı 2009).

45 günlük anaerobik fermantasyon denemesi sonunda üretilen toplam biyogaz miktarı 13008 L'dir. Kümülatif biyogaz üretimi Şekil 4.13'te görülmektedir.



**Şekil 4.13.** 500 litre kapasiteli anaerobik fermantasyon denemesi toplam biyogaz üretimi

Fermantasyon süresi içerisinde alınan dokuz adet biyogaz numunesinden elde edilen metan oranı % 66,6'dır. Biyogazın karbondioksit oranı ise % 41'dir. H<sub>2</sub>S içeriği ise 13 ppm düzeyindedir. Elde edilen bu sonuç laboratuvar ölçekli anaerobik fermantasyon denemeleri ve daha önce yapılan çalışmalarla uyumluluk göstermektedir.

Biyogazın alt ısıl değeri içerdiği metan oranına göre değişmekle birlikte yaklaşık 20-27 Mj/m<sup>3</sup> arasındadır (Alibaş 1996, Eryaşar ve Koçar 2009). 500 litre kapasiteli anaerobik fermantasyon denemesinden elde edilen toplam biyogaz üretimi için biyogazın alt ısıl değeri göz önüne alındığında 260,16 Mj ısıl değer elde edilebileceği, bunun da 7,67 m<sup>3</sup> doğalgaza eş değer olduğu söylenebilir.

## 5. SONUÇ

Bu çalışmada biyogaz üretiminde süt sığırı gübresi ve mısır silajını farklı karışım oranlarında kullanarak elde edilecek biyogaz miktarlarının ve biyogaz üretimi açısından en uygun karışım oranlarının belirlenmesi amacıyla denemeler gerçekleştirilmiştir.

Laboratuvar ölçekli anaerobik fermantasyon denemeleri laboratuvar ortamında 1 litrelik cam fermantörlerde, kesikli fermantasyon yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Denemeler mezofilik sıcaklık şartları altında (37 °C), 120 gün boyunca 3 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Denemelerde 3 farklı kuru madde oranı, 2 farklı aşılama oranı ve 3 farklı gübre:silaj karışım oranı ile 18 farklı deneme kombinasyonu oluşturulmuştur. Deneme sonunda en yüksek biyogaz üretimi 443,44 mL/gKM ile kuru madde oranı % 6, gübre:silaj oranı 3:1 ve aşılama oranı % 30 olan N11 uygulamasında elde edilmiştir. Yapılan denemeler sonucu elde edilen biyogazın metan (CH<sub>4</sub>) içeriği % 54,53 ile % 71,7 arasında değişmektedir. Düşük biyogaz üretimine karşın en yüksek metan (CH<sub>4</sub>) verimi, % 71,7 ile kuru madde oranı % 6, gübre:silaj oranı 1:3 ve aşılama oranı % 30 olan N12 uygulamasında bulunmuştur.

500 litre kapasiteli fermantörlerde gerçekleştirilen anaerobik fermantasyon denemelerinde, laboratuvar ölçekli denemeler sonucunda belirlenen, en yüksek biyogaz üretimine sahip karışım olan kuru madde oranı % 6, gübre:silaj oranı 3:1 ve aşılama oranı % 30 olan karışım içeriği kullanılmıştır. Denemeler mezofilik sıcaklık şartları altında (37 °C), 3 tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir. Denemeler laboratuvar ölçekli denemeler sonucunda belirlenen, en yüksek biyogaz üretiminin elde edildiği üçüncü periyot bitimine kadar 45 gün boyunca sürdürülmüştür. Denemede sürekli fermantasyon yöntemi kullanılmıştır. Deneme sonunda fermantasyon materyalinin kuru madde oranı, başlangıcına göre azalarak % 3,92 olmuştur. Uçucu katı giderimi de % 19,53 olarak bulunmuştur. Karbon ve azot miktarı denemenin sonunda, başlangıcına göre azalmıştır. Anaerobik fermantasyon denemesi sonunda üretilen toplam biyogaz miktarı 13008 L'dir ve fermantasyon süresi içerisinde elde edilen metan oranı % 66,6'dır.

Biyogaz kullanımı küresel ısınmanın en önemli sorumlularından sera gazı emisyonlarını azaltmaktadır. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynağı olarak biyogaz kullanılmasının artırılması enerji tarımının geliştirilmesinin önemli bir parçasıdır. Bu çiftçiler için yeni bir gelir kaynağı olacaktır. Fermantasyonun son ürünü olarak ortaya çıkan fermante olmuş maddenin toprak gübrelenmesinde kullanılması çevresel yararları ve finansal kaynakların korunmasının yanı sıra enerji tüketimini de azaltacaktır.

Anaerobik fermantasyon doğa dostu, çevresel yararları optimize edilmiş ve ekonomik olarak verimli olmalıdır. Yüksek kaliteli hammaddenin temini optimum gaz verimi elde etmek için vazgeçilmez bir ön koşuldur. Mısır silajı ve hayvan gübresi anaerobik fermantasyon için uygun kaynaklardır. Süt sığırı gübresinin tek başına anaerobik fermantasyonu yerine mısır silajının eklenmesi ile yüksek gaz verimi elde edilmiştir. Biyogaz üretiminde konvansiyonel anaerobik fermantasyon yerine, organik maddelerin birlikte fermantasyonu tekniğinin (ko-fermantasyon) uygulanması ile anaerobik fermantasyonda değişik materyallerin kullanılmasını sağlayarak, fermantasyon hammaddelerini çeşitlendirecek ve verimliliği arttıracaktır.



## KAYNAKLAR

- Alibaş, K. 1996.** Sığır gübresi, tavuk gübresi ve arpa sapından sakrofilik, mezofilik ve termofilik fermentasyonlarla biyogaz üretimlerinin ve fermantör enerji bilançolarının belirlenmesi. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Araştırma ve İncelemeler No:13, Bursa.
- Al-Masri, M. R. 2001.** Changes in biogas production due to different ratios of some animal and agricultural wastes. *Bioresource Technology*. 77:97-100.
- Alvarez, R., Liden, G. 2009.** Low temperature anaerobic digestion of mixtures of llama, cow and sheep manure for improved methane production. *Biomass and Bioenergy* 33 (3): 527-533.
- Amon, T., Amon, B., Kryvoruchko, V., Bodiroza, V., Pötsch, E., Zollitsch, W. 2006.** Optimising methane yield from anaerobic digestion of manure: Effects of dairy systems and of glycerine supplementation. *International Congress Series*. 1293:217–220.
- Amon, T., Amon, B., Kryvoruchko, V., Zollitsch, W., Mayer, K., Gruber, L. 2007a.** Biogas production from maize and dairy cattle manure—Influence of biomass composition on the methane yield. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 118:173–182.
- Amon, T., Amon, B., Kryvoruchko, V., Machmüller, A., Hopfner-Sixt, K., Bodiroza, V., Hrbek, R., Friedel, J., Pötsch, E., Wagentristl, H., Schreiner, M., Zollitsch, W. 2007b.** Methane production through anaerobic digestion of various energy crops grown in sustainable crop rotations. *BioresourceTechnology* 98:3204-3212.
- Amon, T., Kryvoruchko, V., Amon, B.** Methane Production From Maize, Grassland And Animal Manures Through Anaerobic Digestion. [http://www.ramiran.net/doc04/Proceedings%2004/T\\_Amon.pdf](http://www.ramiran.net/doc04/Proceedings%2004/T_Amon.pdf) (Erişim tarihi: Mayıs 2010)
- Anacak, S. 2012.** Hayvan çiftliklerinden kaynaklanan atıkların anaerobik arıtımı. Yüksek Lisans Tezi, UÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.
- Anonim, 2007.** <http://www.khgm.gov.tr/kutuphane/BIYOGAZ/BIGAZ.HTM> (Erişim tarihi: Şubat 2007)
- Anonim, 2009a.** [www.biyogaz.org.tr/dosya/biyogaz\\_sunu2.ppt](http://www.biyogaz.org.tr/dosya/biyogaz_sunu2.ppt) (Erişim tarihi: Mart 2009)
- Anonim, 2009b.** [www.biyogaz.org.tr/biyogaz\\_nedir.asp](http://www.biyogaz.org.tr/biyogaz_nedir.asp) (Erişim tarihi: Mart 2009)
- Anonim, 2012.** [http://www.ttg.gov.tr/content/docs/iklim\\_degisikligi\\_ve\\_teknoloji.pdf](http://www.ttg.gov.tr/content/docs/iklim_degisikligi_ve_teknoloji.pdf) (Erişim tarihi: Temmuz 2012)

**Anonim, 2013a.** TEİAŞ, Türkiye Elektrik İletim A.Ş. <http://www.teias.gov.tr/> (Erişim tarihi: Mart 2013)

**Anonim, 2013b.** IEA, International Energy Agency <http://www.iea.org/> (Erişim tarihi: Mart 2013)

**Anonim, 2013c.** TÜİK, Türkiye İstatistik Kurumu <http://www.tuik.gov.tr> (Erişim tarihi: Mart 2013)

**Anonim, 2013d.** <http://www.enerjisistemleri.org/biyogaz-kullanim-alanlari.html> (Erişim tarihi: Şubat 2013)

**APHA, 1998.** Standard methods for examination of water and wastewater. American Public Health Association 20th ed., part: 3, Washington, DC.

**Arıcı, Ş. 2009.** Biyogaz üretiminde farklı tarımsal atıkların birlikte fermentasyonunun biyokimyasal parametreler açısından incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ege Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Güneş Enerjisi Anabilim Dalı, İzmir.

**Banik, S., Nandi, R. 2004.** Effect of supplementation of rice straw with biogas residual slurry manure on the yield, protein and mineral contents of oyster mushroom Industrial Crops and Products. 20: 311–319.

**Bayır, Z. 2009.** Biogas production from sugar beet and maize at various total solid contents. Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

**Bilgin, N. 2003.** Biyogaz Nedir? Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Ankara Araştırma Enstitüsü Yayınları, Ankara.

**Biswas, J., Chowdhury, R., Bhattacharya, P. 2007.** Mathematical modeling for the prediction of biogas generation characteristics of an anaerobic digester based on food/vegetable residues. Biomass Bioenergy. 31:80-86.

**Bremmer, J.M. 1965.** Methods of Soil Analysis, Part 2. Ed.C.A. Black. American Soc. Ag. Inc. Pub. Agronomy Series 1149-1178. No.9, Madison, Wisconsin, USA.

**Chang, T., Wu, Y., Hsu, H., Chu, C., Liao, C. 2003.** Assessment of wind characteristics and wind turbine characteristics in Taiwan. Renewable Energy 28 (6): 851-871.

**Chynoweth, D.P., Turick, C.E., Owens, J.M., Jerger, D.E., Peck, M.W. 1993.** Biochemical methane potential of biomass and waste feedstocks. Biomass Bioenergy 5 :(1), 95–111.

**Dubrovskis, V., Adamovics, A., Plume, I., 2009.** Biogas production from reed canary grass and silage of mixed oats and barley. Engineering for rural development. Jelgava, 28-29.05.2009.

[http://www.tf.llu.lv/conference/proceedings2009/Papers/41\\_Vilis\\_Dubrovskis.pdf](http://www.tf.llu.lv/conference/proceedings2009/Papers/41_Vilis_Dubrovskis.pdf)  
(Erişim tarihi: Temmuz 2010)

**Durmuş, A. 2009.** Prototip bir biyogaz reaktörünün otomasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Ege Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Güneş Enerjisi Anabilim Dalı, İzmir.

**Eryaşar, A., Koçar, G. 2009.** Biyogazın Mevcut Isıtma Sistemlerinde Kullanılabilme Olanakları. Mühendis ve Makina, 50 (590):10-16.

**Fernandez, A.V., Vargas, G., Alarcon, N., Velasco, A. 2008.** Evaluation of marine algaeas a source of biogas in a two-stage anaerobic reactor system. Biomass and Bioenergy 32:338–344

**Gunaseelan, V.N. 1997.** Anaerobic digestion of biomass for methane production: a review. Biomass Bioenergy 13 :(1–2), 83–114.

**Hammad, M., Badarneh, D., Tahboub, K. 1999.** Evaluating variable organic waste to produce methane. Energy Conversion and Management. 40:1463-1475.

**Heiermann, M., Plöchl, M., Linke, B., Schelle, H., Herrmann, C. 2009.** Biogas crops – part 1:specifications and suitability of field crops for anaerobic digestion. Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. Manuscript 1087. Vol. XI. June.

**Heiermann, M., Plöchl, M.** Crops – A big potential for biogas production. <http://www.atb-potsdam.de> (Erişim tarihi: Nisan 2011)

**Karabulut, A., Canbolat, Ö. 2005.** Yem değerlendirme ve analiz yöntemleri. Uludağ Üniversitesi, Yayın No: 2.05.048.0424, Bursa, 520 s.

**Klaassen, G., Miketa, A., Larsen, K., Sundqvist, T. 2005.** The impact of R&D on innovation for wind energy in Denmark. Germany and the United Kingdom. Ecological Economics 54 (2-3): 227-240.

**Koçar, G., Eryaşar, A., İllez, B., Atayol, A.A. 2007.** Güneş Enerjisi Destekli Biyogaz Sistemleri. Tesisat Mühendisliği Dergisi 98: 19-26.

**Lomborg, C. J., Holm-Nielsen, J. B., Oleskowicz-Popiel, P., Esbense, K. H. 2009.** Near infrared and acoustic chemometrics monitoring of volatile fatty acids and dry matter during co-digestion of manure and maize silage. BioresourceTechnology 100:1711-1719.

**Macias-Corral, M., Samani, Z., Hanson, A., Smith, G., Funk, P., Yu, H., Longworth, J. 2008.** Anaerobic digestion of municipal solid waste and agricultural waste and the effect of co-digestion with dairy cow manure. Bioresource Technology. 99:8288–8293.

**Madigan, M.T., Martinko, J.M., Parker, J. 2000.** Brock Mikrobiologie. Spektrum Akademischer Verlag, GmbH Heidelberg, Berlin.

**Neureiter, M., Teixeira Pereira dos Santos, J., Perez Lopez, C., Pichler, H., Kirchmayr, R., Braun R.** Effect of silage preparation on methane yields from whole crop maize silages  
<http://www.iea-biogas.net/Dokumente/memberpublications/Neureiter.pdf> (Erişim tarihi: Mayıs 2010)

**Öztuncay, M. K. 2009.** Türkiye’de biyogaz enerjisinin kullanılabilirliği ve ekonomikliği. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

**Öztürk, M. 2005.** Hayvan Gübresinden Biogaz Üretimi. <http://www.orman.gov.tr/> (Erişim tarihi: Temmuz 2005)

**Parawira, W., Read, J.S., Mattiasson, B., Björnsson, L. 2008.** Energy production from agricultural residues: High methane yields in pilot-scale two-stage anaerobic digestion. *Biomass and Bioenergy*. 32:44-50.

**SAS Institute Inc. 2012.** JMP Software, Release 7.

**Satyanarayan, S., Murkute, P., Ramakant. 2008.** Biogas production enhancement by brassica compostries amendment in cattle dung digesters. *Biomass and Bioenergy* 32: 210 – 215.

**Schattauer, A., Weiland, P. 2004.** Handreichung Biogasgewinnung und – nutzung. Final Report. Förderkennzeichen 22027200. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (Ed.), Gülzow, pp. 4/1–4/13.

**Schittenhelm, S. 2008.** Chemical composition and methane yield of maize hybrids with contrasting maturity. *European Journal of Agronomy*. 29:72-79.

**Selimoğlu, G. 2008.** Büyükbaş hayvan dışkısından biyogaz üretimi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği, Ankara.

**Tong, X., Smith, L.H., McCarty, P.L. 1990.** Methane fermentation of selected lignocellulosic materials. *Biomass* 21:239–255.

**Watanabe, F.S., Olsen, S.R. 1965.** Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and NaHCO<sub>3</sub> extracts from soil. *Soil science Soc. Am. Porc.*, 29, 677-678.

**Weiland, P. 2001.** Stand und Perspektiven der Biogasnutzung und–erzeugung in Deutschland. In: Fachagentur Nachwachsender Rohstoffe e.V., Gülzow (Ed.) Energetische Nutzung von Biogas: Stand der Technik und Optimierungspotential, Gülzower Fachgespräche, Band 15, FNR Gülzow. S. 8–27

**Weiland, P. 2003.** Production and energetic use of biogas from energy crops and wastes in Germany. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 109:263–274.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Aslı AYHAN  
Doğum Yeri ve Tarihi : Bursa 23.04.1980  
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)  
Lise : Bursa Erkek Lisesi 1994-1998  
Lisans : U.Ü. Ziraat Fakültesi 1998-2002  
Yüksek Lisans : U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü 2002-2005

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Kerevitaş Gıda Sanayi ve Ticaret A.Ş. 2000  
U. Ü. Ziraat Fakültesi 2002 – Devam ediyor

İletişim (e-posta) : aayhan@uludag.edu.tr

Yayınları :

Ayhan, A., Qingyu, L., Alibaş, K., Ünal, H. Biogas Production From Maize Silage and Dairy Cattle Manure. Journal of Animal and Veterinary Advances. (Basım aşamasında)

Unal,H., Alpsoy, H.E., Ayhan, A. Effect of Moisture Content on The Physical Properties of Bitter Gourd Seed. International Agrophysics. (Basım aşamasında)

Ayhan, A., Alibaş, K. Farklı Karışım Oranlarındaki Sığır Gübresi Ve Mısır Silajından Biyogaz Üretimi. I.Ulusal Kompost Ve Biyogaz Çalıştayı. 11-14 Nisan 2013, Antalya. (Poster Bildiri)

Ayhan, A., Alibaş, K. Hayvan Gübresinden Biyogaz Üretim Potansiyeli Bursa İli Örneği. Enerji Tarımı ve Biyoyakıtlar 2. Ulusal Çalıştayı. 24-25 Mayıs 2012, Tokat. (Sözlü Bildiri)

Ayhan, A., Alibaş, K., Ünal, H., 2009. Seraların Biyogazla Isıtılması. Agroskop Tarım Gıda Hayvancılık Dergisi. Mayıs-Haziran:18-21.

Işık, E., Güler, T., Ayhan, A., 2003. Bursa İline İlişkin Mekanizasyon Düzeyinin Belirlenmesine Yönelik Bir Çalışma. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi. 17-2:125-136.