

**SARIMSAK SAPLARINDAN BİYOGAZ  
ÜRETİLEBİLİRLİĞİNİN DENEYSEL  
İNCELENMESİ**

**2017  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ**

**Hilal ÖZKAN**

**SARIMSAK SAPLARINDAN BİYOGAZ ÜRETİLEBİLİRLİĞİNİN  
DENEYSEL İNCELENMESİ**

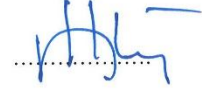
**Hilal ÖZKAN**

**Karabük Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi  
Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümünde  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK**

Hilal ÖZKAN tarafından hazırlanan "SARIMSAK SAPLARINDAN BİOGAZ ÜRETİLEBİLİRLİĞİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ" başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK  
Tez Danışmanı, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 05/07/2017

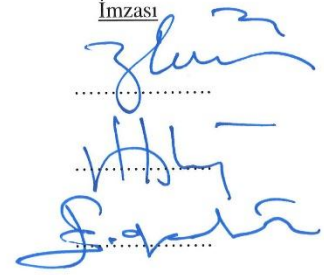
Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

Başkan : Prof. Dr. Kurtuluş BORAN (GÜ)

Üye : Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Engin GEDİK (KBÜ)

İmzası



...../...../2017

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Filiz ERSÖZ  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdür V.





*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*

Hilal ÖZKAN

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### SARIMSAK SAPLARINDAN BİYOGAZ ÜRETİLEBİLİRLİĞİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

Hilal ÖZKAN

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK

Haziran 2017, 43 sayfa

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında, anaerobik biyoteknoloji ile biyogaz üretimi önemli bir yere sahiptir. Bu amaçla yan substrat kaynağı olarak sarımsak sapı kullanımının biyogaz üretimine etkisini belirlemek amacıyla yapılan bu araştırmada, sıcaklığın etkisine bağlı olarak 60°C’de en yüksek metan miktarına ulaşılmıştır. Karıştırma hızının artmasıyla biyogaz üretiminin azaldığı, optimum karıştırma hızı 100 rpm olarak belirlenmiştir. Elde edilen veriler ışığında, yan substrat kaynağı olarak sarımsak sapı kullanımını biyogaz üretimini yükselterek metan gazı hacmini %52 oranında arttırmıştır.

**Anahtar Kelimeler :** Sarımsak sapı, biyogaz üretimi, metan.

**Bilim Kodu** : 928.1.233

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **AN EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF BIOGAS PRODUCTIBILITY FROM GARLIC STALKS**

**Hilal ÖZKAN**

**Karabük University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of Energy Systems Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK**

**June 2017, 43 pages**

The production of biogas through anaerobic biotechnology occupies an important place among renewable energy sources. In this study which was carried out in order to determine the effects of using garlic stalks as a source of substrate, the highest amount of methane was observed at 60°C depending on the effect of temperature. A reduction in the production of biogas was observed when the stirring speed decreased, and the optimum stirring speed was identified as 100 rpm. In the light of the data obtained, the use of garlic stalk as a source of substrate has been found to increase the methane gas volume by 52% by amplifying the production of biogas.

**Key Words** : Garlic stalk, biogas production, methane.

**Science Code** : 928.1.233

## TEŞEKKÜR

Bu çalıŐmayı yöneten ve çalıŐmamızın bütün aŐamalarında akademik birikimiyle beni aydınlatan ve bu eserin ortaya çıkmasında büyük emeği geçen kıymetli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK' a öncelikle kalbi Őükranlarımı sunuyorum.

ÇalıŐmam boyunca karşılaŐtıĐım problemlere çözüm bulan ve yol gösteren Kastamonu Üniversitesi öğretim üyesi Yrd. Dr. Gökçe Didar DEĞERMENCİ ve Yrd. Dr. Necdet DEĞERMENCİ' ye

Laboratuvar çalıŐmalarım boyunca yardımlarından dolayı ArŐ. Gör. Rahman ÇALHAN' a

Hayatımın her devresinde maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen sevgili babam Prof. Dr. Ali Rafet ÖZKAN' a ve annem Hülya ÖZKAN' a

En içten saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER .....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xi
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ VE AMAÇ .....	1
BÖLÜM 2 .....	4
BİYOĞAZIN TARİHÇESİ.....	4
2.1. BİYOĞAZ.....	4
2.2. DÜNYADA BİYOĞAZ ÜRETİMİ .....	5
2.3. DEĞİŞİK ÜLKELERDE BİYOĞAZ ENERJİSİNDEN YARARLANMA DURUMU .....	6
2.3.1. Almanya.....	6
2.3.2. Hindistan.....	6
2.3.3. Danimarka .....	7
2.3.4. Çin .....	8
2.3.5. Pakistan.....	8
2.3.6. Diğer Ülkeler .....	8
2.4. TÜRKİYE’DE BİYOĞAZ ÜRETİMİ .....	10
2.5. LİTERATÜRDE SARIMSAK.....	11
2.6. BİYOĞAZ ÜRETİMİNİN MİKROBİYOLOJİSİ .....	13
2.7. ANAEROBİK ÇÜRÜTMENİN AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI .....	16
2.8. ANAEROBİK ARITMANIN VERİMİNİ ETKİLEYEN ETMENLER.....	17
2.8.1. Çevresel Faktörler.....	17



2.8.3. C/N/P Oranı .....	19
2.8.4. Bekleme Süresi .....	19
2.8.5. Toksinler .....	20
2.8.6. pH Değeri .....	22
2.8.7. Besleme Oranı .....	23
BÖLÜM 3 .....	25
BİYOĞAZIN UYGULAMA ALANLARI.....	25
3.1. BİTKİSEL ATIKLARDAN BİYOĞAZ ÜRETİMİ .....	25
BÖLÜM 4 .....	27
MATERYAL VE METOD .....	27
4.1. MATERYAL.....	27
4.2. REAKTÖRLER.....	28
4.3. BİYOĞAZ MİKTARININ ÖLÇÜLMESİ.....	28
BÖLÜM 5 .....	30
BULGULAR.....	30
5.1. FARKLI SICAKLIKLARDA BİYOĞAZ ÜRETİMİ .....	30
5.2. KARIŞTIRMA HIZININ BİYOĞAZ ÜRETİMİNE ETKİSİ .....	32
5.3. SARIMSAK SAPININ BİYOĞAZ POTANSİYELİ.....	34
5.4. METAN ÜRETİMİ .....	36
BÖLÜM 6 .....	38
SONUÇLAR .....	38
KAYNAKLAR .....	39
ÖZGEÇMİŞ .....	43

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.1. John Dalton (1766-1844) ve öğrencisini bataklık gazı toplarken tasviri.....	5
Şekil 2.2. Türkiye'nin birincil enerji arzının kaynaklara göre dağılımı.....	11
Şekil 2.3. Sarımsakta tespit edilen serbest amino asitler ve miktarları.....	13
Şekil 2.4. Biyogaz oluşum aşamaları.....	15
Şekil 2.5. Sıcaklık koşullarının biyogaz üretim hızı üzerinde etkisi.....	18
Şekil 4.1. Deneyleerde kullanılan reaktör sistemi.....	28
Şekil 4.2. Deneyleerde oluşan gazı toplamak için kullanılan balonlar.....	29
Şekil 5.1. Farklı sıcaklıklarda kümülatif biyogaz üretimi.....	31
Şekil 5.2. Farklı sıcaklıklar için 15'inci günde biyogaz kompozisyonu.....	32
Şekil 5.3. Farklı karıştırma hızlarında kümülatif biyogaz üretimi.....	33
Şekil 5.4. Farklı karıştırma hızları için 15'inci günde biyogaz kompozisyonu.....	34
Şekil 5.5. SS ve BHG'nin kümülatif biyogaz üretimi.....	35
Şekil 5.6. SS ve BHG'nin 15'inci günde biyogaz kompozisyonu.....	36

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 2.1. Almanya'daki biyogaz tesislerinin yıllara göre dağılımı.....	6
Çizelge 2.2. Hindistan'daki biyogaz tesislerinin yıllara göre dağılımı .....	7
Çizelge 2.3. Danimarka'daki üretim tesisleri ve üretim miktarları.....	8
Çizelge 2.4. Dünyada biyogaz üretimi .....	9
Çizelge 2.5. Biyogaz üretim tesislerinde izlenmesi faydalı büyüklükler.....	21
Çizelge 4.1. Reaktörlerde kullanılan sıcaklık ve karıştırma hızları .....	27
Çizelge 5.1. Farklı sıcaklıklarda elde edilen kümülatif biyogaz miktarları .....	30
Çizelge 5.2. Farklı reaktörlerin 15. gün biyogaz kompozisyonu .....	37

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ VE AMAÇ

İçinde yaşadığımız dünyada nüfusun hızlı bir şekilde artması, sanayileşme gelişiminin hızla değişimi, teknolojik gelişmeler ve ilerlemelere bağlı olarak insanlığın refah seviyesinin yükselişi dünyada tüketim ihtiyaçlarının artmasına ve buna bağlı olarak enerjiye olan ihtiyacın çoğalmasına sebebiyet vermektedir. Enerjiye olan bu ihtiyaç insanlığı mevcut kaynakların dışındaki yeni arayışlara sevk etmektedir. İşte bu noktada doğada bulunan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılarak enerji ihtiyacının karşılanabilecek olması insanlığa bu alanda yeni fırsatlar sunacaktır.

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında, anaerobik biyoteknoloji ile biyogaz üretimi önemli bir yere sahiptir. Biyogaz teknolojisi özellikle gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde sürekli gündemde kalan ve önemini artıran alternatif enerji kaynağıdır.

Çevresel kirlilik, insanlığın yüzyılın en büyük problemidir. İklim değişikliği, fosil yakıtlarla ilgili artan küresel enerji talebi, enerji güvensizliği ve sınırlı doğal kaynakların sürekli olarak kullanılmasıyla ilgili sorunlar, yeni tedavi yöntemleri düşünülmesine sebep olmuştur. Kirleticilerin tek bir ortamdan atılmasına odaklanan geleneksel tedavi yöntemleri, yani kirleticilerin sıvıdan katıya veya gaz fazlarına ve tersine dönüşümü üzerinde durulması artık istenilen bir seçenek olmaktan çıkmıştır. Araştırma çabalarını sadece çevre kirliliğini hafifletmekle kalmayıp, tükenen doğal kaynakları ve artan enerji güvensizliğini artıran sürdürülebilir yöntemlere yönlendirmek de son derece önemli hale gelmiştir.

Biyoteknoloji seçeneğinin kullanılmasının günümüzde en uygun maliyetli ve sürdürülebilir yaklaşım olduğu düşünülüyor. Aerobik prosesler genel olarak belediye

atıksu arıtımı için kullanılmaktadır, ancak anaerobik prosesler genel atık işleminde halen önemli bir rol oynamaktadır. Anaerobik biyoteknoloji, atık arıtımı yararlı ürünlerin ve yenilenebilir biyoyakıtların geri kazanımı ile birleştiren sürdürülebilir bir yaklaşımdır.

Bilimsel tespitlere göre; tarımsal uygulamalar sonucunda doğaya ciddi anlamda zarar veren azot oksit ve metan emisyonları olduğu bilinmektedir. Ayrıca hayvancılık da dünya genelinde önemli miktarda çevre sorununa sebep olmaktadır. Bilinçsizce yapılan hayvancılık faaliyetlerinde, çiftlik gübrelerinin tarımda ki ekonomik ve ekolojik değeri göz ardı edilerek, çoğu zaman sıvı ve katı çiftlik gübreleri, lokal yer üstü sularına (yakınlardaki dere ve nehirlere) veya yakınındaki tarım arazilerine deşarj edilmektedir. Böyle yanlış uygulamalar neticesinde ise yeraltı ve yerüstü sularında hijyen, yüksek azot ve fosfor konsantrasyonları ve koku sorunları oluşur. Organik atık maddelerinin enerji üretiminde ve tarımsal alanlarda kullanılmasıyla biyogaz sistemleri, mevzu bahis sorunların minimize edilmesinde katkıda bulunabilir

Biyogaz sistemlerinin en büyük özelliği, gerek çevre ve gerek sağlık ile ilgili problemlere yol açan organik atıkları kullanarak bu atıkları değere çevirmesidir.

Birim hacimdeki biyogazda, metan gazı (CH<sub>4</sub>) yaklaşık %60-70 oranında vardır. Metan gazı, organik kökenli artıklardan ve özellikle çiftlik gübresinden elde edilmesi kolaydır. Anaerobik proses uygulamalarından biri olan biyogaz üretimi, ilk yatırım maliyetini karşılayan ve pahalı olmayan sistem olması nedeniyle önemle üzerinde durulması gereken temiz enerji kaynaklarından biridir. Üretim için gerekli olan hammadde, hayvancılıkla uğraşan her aile tarafından karşılanabilmektedir.

Günümüzde birçok kuruluş gelecek yıllar için enerji alanındaki gelişmeleri tahmin etmek için çalışmalar yapmaktadır. Bu kuruluşların çalışmaları birbirleriyle karşılaştırıldığında kabul edilebilir oranlarda birbirlerini teyit ettikleri görülmektedir. Bu konuda çok başarılı çalışmalar yapan Dünya Enerji Ajansı'nın "World Energy Outlook 2002" raporuna göre yenilenebilir enerji talebindeki artış gelecekte de devam edecektir. Bu raporun verilerine göre önümüzdeki 20 yılda küresel bazda bir ekonomik bunalım olmadığı takdirde genel enerji talebinin %50 artacağı tahmin edilmektedir.

2020 yılında dünya genel enerji tüketiminin 13.7 milyar ton petrole eşdeğer olması beklenmektedir (Pamir, 2003).

Ülkemizde biyogaz sistemlerin geliştirilmesi, ekonomik kalkınmanın sağlanmasına yardımcı olacağı gibi enerji ihtiyacının karşılanmasına ve fosil yakıtların kullanılması yerine biyogaz sistemlerinin kullanılması sayesinde çevresel bozulmanın önüne geçilmesini sağlayabilecektir.

Yapılan literatür araştırması göstermiştir ki; Sarımsak atıkları üzerinde biyogaz üretimi ile ilgili yapılan çalışmalar sınırlı sayıdadır. Türkiye de üretilen sarımsakların büyük bir kısmının atık olduğu göz önünde bulundurulursa yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları elde edilmesi konusunda sarımsak saplarının iyi bir enerji kaynağı olabileceği düşünülmektedir. Her geçen gün fosil kökenli yakıtlara ve ucuz enerjiye olan ihtiyaç, bu çalışmada seçilen sarımsak saplarının farklı bir enerji kaynağı olarak kullanılabilceğini ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada sarımsak saplarından biyogaz elde edilmesine termal ön arıtımın metan üretimi ve biyogaz üretimi açısından etkisi araştırılmıştır.

## BÖLÜM 2

### BİYOGAZIN TARİHÇESİ

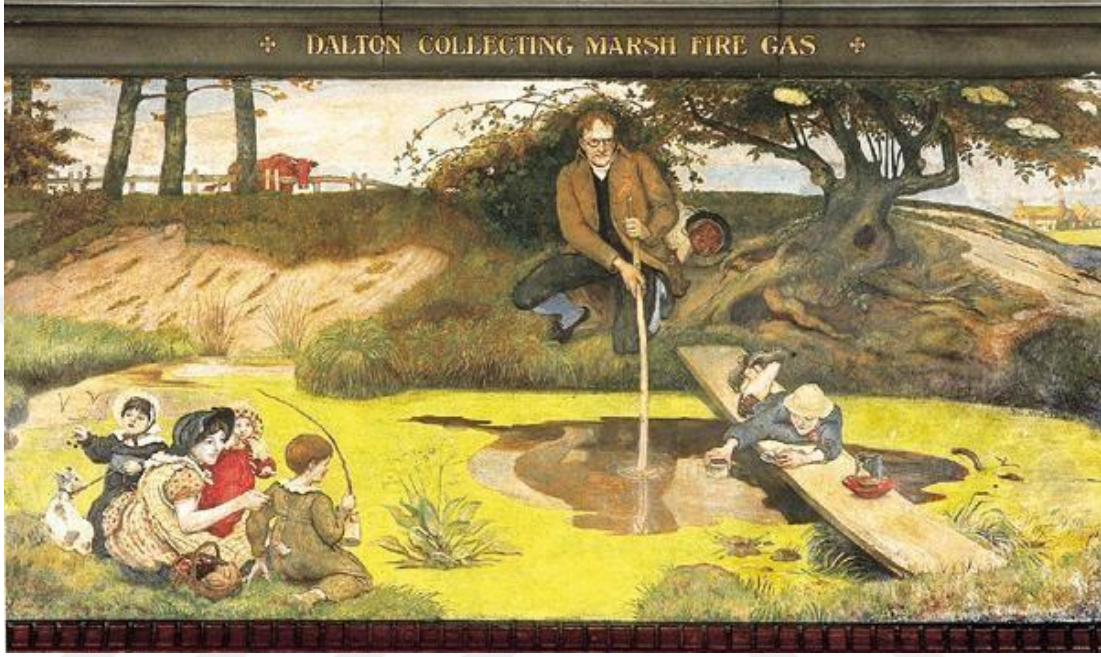
#### 2.1. BİYOGAZ

İnsanoğlu varoluşundan itibaren her türlü materyali kendi menfaati doğrultusunda kullanmaya çalışmıştır. Kaynaklardan edinilen bilgilere göre biyogaz M.Ö. 10. YY' da banyo suyu ısıtmak amacıyla Asurlular tarafından kullanılmaya başlanmıştır keza 16. yy' da Farslılar bu enerjiden yararlanmıştır.

Organik atıklara değer kazandıran ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olan biyogaz teknolojisinin tarihi epeyce gerilere gitmektedir. Nitekim bu alandaki ilk bilgiler 1682 yılında Robert Boyle ve Denis Papin ile 1727 yılında Stephen Hales tarafından verilmiştir. İlk sistemli araştırmalara İtalyan Alessandro Volta başlatmıştır. Daha sonra 1884 yılında Pastör at gübresinden gaz elde etmiş ve bu gazı Paris caddelerinin aydınlatılmasında kullanmıştır. Selülozun parçalanması ve metan fermantasyonu çalışmaları yapılmış ve anaerobik tekniğın sıvı kentsel atık değerlendirilmesinde kullanılacağı ortaya çıkmıştır. Hindistan'da 1907'de ilk tesis kurulmuş elde edilen gaz, jeneratör yardımıyla elektrik enerjisi üretilmiştir.

Biyogaz sistemlerinin kimyasının anlaşılması Buswell ve arkadaşlarının 1920 ve 1930 yıllarındaki çalışmalarıyla mümkün olmuştur. Mikroorganizmaların çürümeye etkin bir rol oynadığı 1947'nin sonlarında belirlenmiştir. Isı ve elektrik üretiminde kojenerasyon olarak tanımlanan biyogazın kullanıldığı proses uygulamaları II. Dünya Savaşından itibaren gelişim sürecini devam ettirmiştir.

Londra’da sokak lambalarının aydınlatılmasında elektrikle aydınlatılma sisteminden önce, fosseptik çukurundan alınan gazdan yararlanılmış ve buna gaz lambası adı verilmiştir. İlerleyen yıllarda ısıtma, pişirme ve aydınlatma için dünyanın pek çok yerinde kullanılmıştır.



Şekil 2.1. John Dalton (1766-1844) ve öğrencisini bataklık gazı toplarken tasviri.

## 2.2. DÜNYADA BİYOGAZ ÜRETİMİ

Dünyada halen geniş oranda kullanılan enerji kaynaklarının en önemlileri, birincil enerji kaynakları olarak adlandırılan kömür, petrol ve doğal gazdır. Bu kaynaklar, halen dünya enerji ihtiyacının %77’sini karşılamaktadır. Dünya enerji konseyi bu oranın 2020 yılında %74 olacağını öngörmektedir (Keçeci, 2006).

Son yıllarda özellikle kırsal bölgelerde biyokütle enerjisinin kullanımı artmıştır. Bu enerjinin üretimi gelişmekte olan ülkelerde %38’e kadar çıkmaktadır.

Dünyadaki tesislerin hayvan gübresinden elde ettiği biyogaz oranı ülkelere göre çeşitlilik arz etmektedir. Gelişmiş ülkelerde bu oranın yükseldiği görülmektedir. Almanya 2,200 tesis ile Avrupa'nın hayvan gübresinden elde ettiği biyogaz oranı ve tesis sayısı bakımından en fazla üretim yapan ülke konumundadır. Almanya’yı 70 tesis



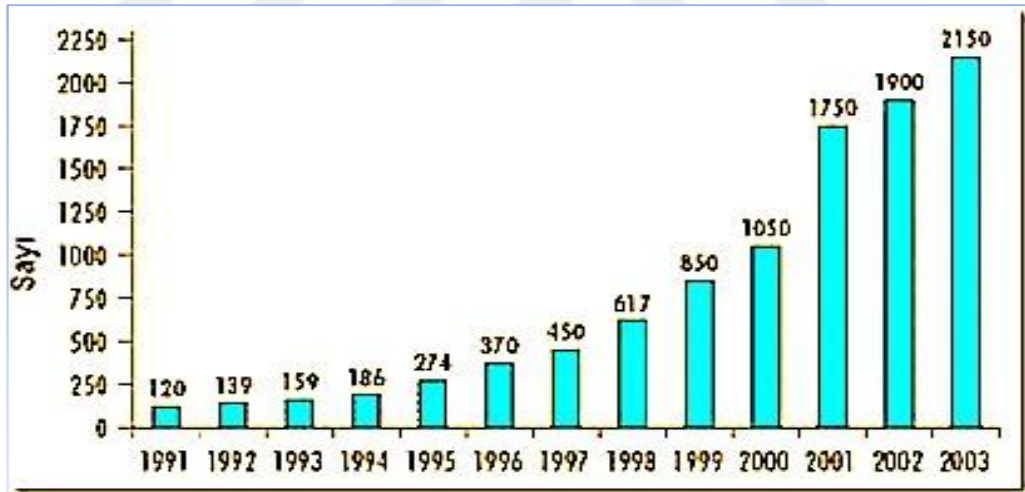
ile İtalya takip etmektedir. Almanya 1993 yılından itibaren biyogaz tesislerinin sayısını günümüze kadar 139 tesisten 2,200 tesise kadar artırmıştır.

## 2.3. DEĞİŞİK ÜLKELERDE BİYOGAZ ENERJİSİNDEN YARARLANMA DURUMU

### 2.3.1. Almanya

Almanya’da gelişen teknoloji ile biyogaz doğalgaza çevrilerek şehir şebekelerine verilmektedir. Almanya’da şu anda biyogazın elektrik üretimindeki payı yüzde 1,5 civarındadır. Bu ülkede yıllık 5 milyar kWh elektrik üretilmektedir. Almanların 2020’li yıllara yönelik hedefleri ise biyogazın elektrik üretimindeki payını % 17’ye yükselterek, yıllık 76-80 milyar kWh’a çıkarmaktır.

Çizelge 2.1. Almanya’daki biyogaz tesislerinin yıllara göre dağılımı.

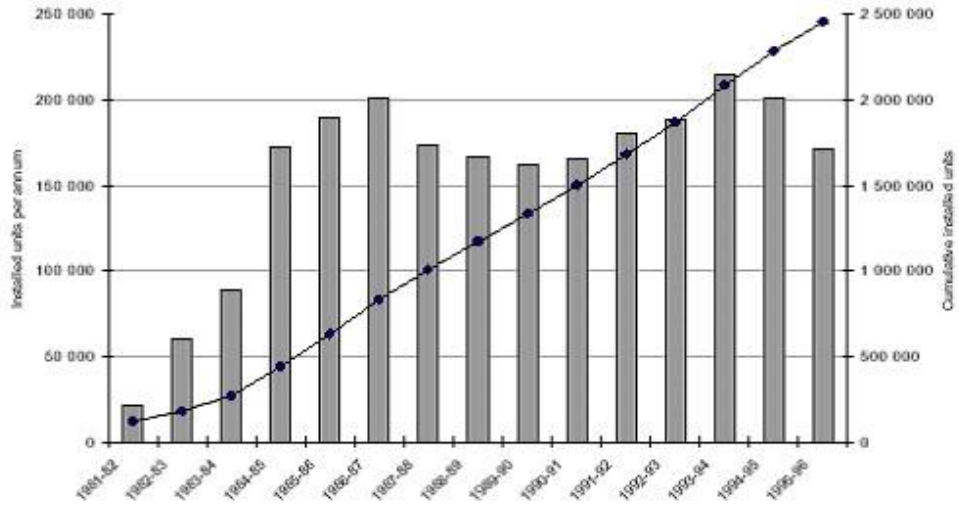


### 2.3.2. Hindistan

Hindistan’da biyogaz çalışmalarına, 1930’lu yıllarda başlamış ve 1980 yılına kadar 80 000 civarındaki konutta biyogaz tesisi inşa edilmiştir. Bu rakamın, VII. Beş Yıllık Kalkınma Planı sonu olan 1985’te 180 000 adete ulaştığı görülmektedir. Beş yıllık süredeki bu artış Hindistan’ı biyogaz teknolojisinde öncü ülkelerden bir haline getirmiştir. Hayvancılığın yaygın olduğu bu ülkede 500 nüfuslu ve 250 büyükbaş

hayvana sahip 100'er hanelik köylerde, günde 130 m3 biyogaz üretimi gerçekleştirilmektedir. Bu da, yaklaşık 650 kw tutarında elektrik enerjisine denk düşmektedir. Ayrıca yüksek kapasiteli biyogaz tesislerinden, jeneratörler aracılığıyla elektrik enerjisi de elde edilmektedir.

Çizelge 2.2. Hindistan'daki biyogaz tesislerinin yıllara göre dağılımı.



### 2.3.3. Danimarka

Danimarka'da 1987'den beri biyogaz çalışmaları devam etmektedir. Günümüzde Danimarka'da 20'den fazla biyogaz tesisi mevcut olup, biyogaz üretimi yılda 2,4 PJ'dür. Nüfusun azlığı ve ülkede teknolojik gelişmelerin iyi ve verimli kullanılması sebebiyle 1998'den günümüze yeni tesislerin sayısında fazla değişim olmamıştır.

Tesislerin biyogaz dönüştürme kapasiteleri günde 25 ila 500 ton arasındadır. Tesislerin çoğunda hayvansal gübre veya arıtma çamuru hatta farklı tipteki endüstriyel katı atıkları karıştırılabilir.

Çizelge 2.3. Danimarka'daki üretim tesisleri ve üretim miktarları.

<b>Biyogaz Tesislerini Çeşitleri</b>	<b>Tesis Sayısı</b>	<b>Elektrik Üretimi TWh/yıl</b>	<b>Enerji Üretimi PJ</b>
<b>Atıksu arıtma tesisleri</b>	64	0,18	0,68
<b>Deponi sahaları</b>	10	0,17	0,622
<b>Endüstriyel atıksu arıtma tesisleri</b>	5	0,04	0,15
<b>Merkezi biyogaz tesisleri, ön çürütme</b>	20	0,26	0,941
<b>Çiftlik ölçekli tesisleri</b>	20	0,01	0,032
<b>Toplam:</b>	<b>119</b>	<b>0,66</b>	<b>2,425</b>

#### 2.3.4. Çin

Çin ilk biyogaz tecrübesini 1936'da yaşamıştır. Tesislerin genelinde biyogaz üretimi domuz atıklarından elde edilmektedir. Çin'de biyogaz tesislerinden elde edilen gaz, yıllık 25 milyon insanın yemeğini pişirmek için kullanılmaktadır. Bu ülkede 800 biyogaz tesisinde 7800 kWh elektrik enerjisi üretilebilmektedir. Başta Seçuan eyaleti olmak üzere, ülkede 7.5 milyon adetden fazla biyogaz tesisi vardır. Yüksek nüfuslu Çin'e biyogazın hem ekonomik hem de enerji alanındaki katkıları önemlidir.

#### 2.3.5. Pakistan

Yüksek nüfusa sahip ülkelerden biri olan Pakistan'da biyogaz teknolojisi giderek yaygınlaşmaktadır. 1980'lerde 150 olan köy tipi biyogaz tesisinin sayısı, 1984'de takribi 7000'e ulaşmıştır.

#### 2.3.6. Diğer Ülkeler

Brezilya, Endonezya, Etiyopya, Jamaika, Kamerun, Kenya, Mısır, Nijerya, Sudan, Zambiya ve daha birçok ülkede bu konuda çalışmalar yapılmaktadır.

ABD'nin Kaliforniya eyaletinde 1923'te başlayan bu teknoloji 1930 ile 1955 yılları arasında, giderek birçok ülkeye yayılmıştır. Bununla birlikte, 1955'lerden sonra dünya petrol üretiminin hızla artması ve o dönemlerdeki petrol fiyatının ucuzluğu, biyogaz konusundaki çalışmaların hız kesmesine sebep olmuştur. Ancak petrol fiyatlarının 1967'lerden sonra hızla yükselişi biyogaz enerjisine olan ilgiyi artırmıştır.

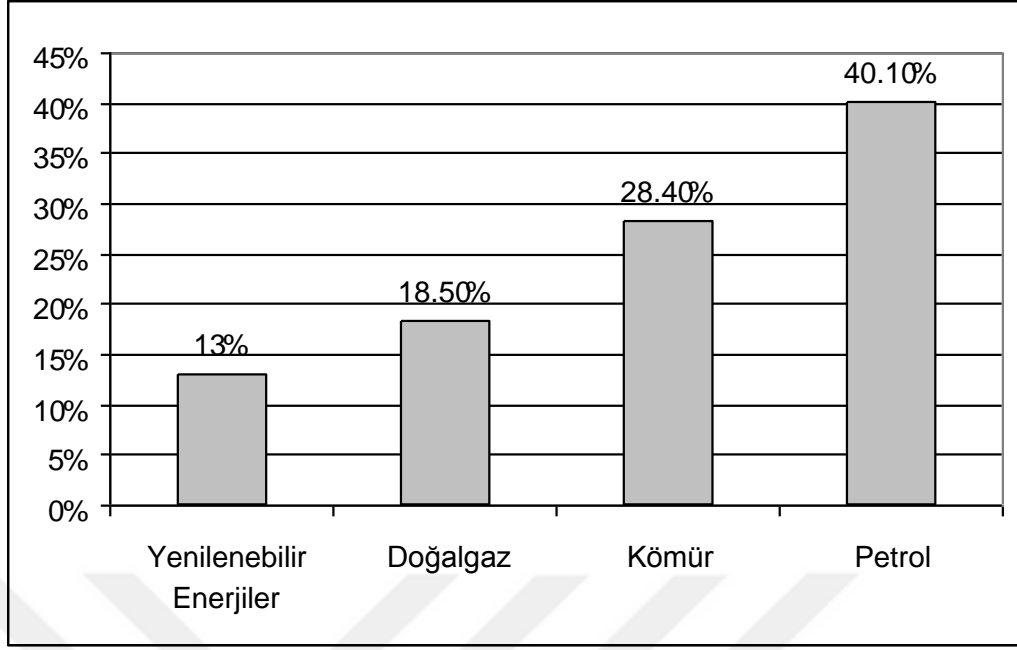
Çizelge 2.4. Dünyada biyogaz üretimi.

	ÜLKE	Çöpgazı (ktbe)	Arıtma Çamuru gazı (ktbe)	Diğer Biyogaz (ktbe)	TOPLAM (ktbe)
1	Almanya	265,5	386,7	3561,2	4213,4
2	İngiltere	1474,4	249,5	0,0	1723,9
3	Fransa	440,3	45,2	38,7	526,5
4	İtalya	361,8	5,0	77,5	444,3
5	Hollanda	39,2	48,9	179,8	267,9
6	İspanya	140,9	10	32,9	183,7
7	Avusturya	4,9	18,9	141,2	165,1
8	Çek Cumhuriyeti	29,2	33,7	67	129,9
9	Belçika	44,3	2,1	78,2	124,7
10	İsveç	34,5	60	14,7	109,2
11	Danimarka	6,2	20	73,4	99,6
12	Polonya	35,5	58	4,5	98
13	Yunanistan	46,3	12,2	0,2	58,7
14	Finlandiya	30,6	10,7	0,0	41,4
15	İrlanda	23,6	8,1	4,1	35,8
16	Macaristan	2,8	10,3	17,5	30,7
17	Portekiz	0	0	23,8	23,8
18	Slovenya	8,3	3	11	22,4
19	Slovakya	0,8	14,8	0,7	16,3
20	Lüksemburg	0	0	12,3	12,3
21	Letonya	7	2,7	0	9,7
22	Litvanya	1,30	2,10	1,20	4,70
23	Estonya	2	0,9	90	0,99
24	Romanya	0,10	0,70	0,50	1,30
<b>TOPLAM</b>					<b>8344,29</b>

## 2.4. TÜRKİYE'DE BİYOGAZ ÜRETİMİ

Türkiye'de biyogaz ile ilgili çalışmalar 1957 yılında başlanmıştır. Bu alandaki ilk çalışma, Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü ile Eskişehir Bölge Toprak su Araştırma Enstitüsünün çabalarıyla başlamıştır. İlerleyen zaman içerisinde, dünya çapında petrol fiyatlarının yükselmesi sebebiyle Türkiye'de biyogaz birimi Köy Hizmetleri Ankara Toprak Su Araştırma Enstitüsünce kurulmuş ve akabinde bu çalışmalar ülke geneline yayılmaya başlamıştır. Bu gelişmeler doğrultusunda biyogaz üretimine yönelik araştırma çalışmaları 1980-1986 yılları arasında hız kazanmıştır. Bu alandaki bilimsel çalışmalar, araştırmalar, eğitim ve uygulamalar sayesinde kamuoyunun dikkatleri bu konu üzerine çekilmiştir. Fakat o yıllarda ülkenin içinde bulunduğu ekonomik ve siyasi krizler nedeniyle biyogaz araştırma ve üretimine yönelik teşvik ve desteklerin sürekli olmayışı, sürdürülebilir kurumsal bir yapılanmanın oluşmasına engel teşkil ettiği için Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü biyogazla ilgili tüm araştırma ve uygulama çalışmalarını durdurmak zorunda kalmıştır (Koçer ve ark., 2016).

Türkiye'de yılda 50-65 Mtep (milyon ton eşdeğer petrol) tarımsal atık ve 11.05 Mtep hayvansal atık üretilmektedir. Bu atıkların enerjiye dönüştürülebilir oranı %60 civarındadır. Bu tarımsal ve hayvansal atıklardan elde edilecek enerjinin Türkiye'nin yıllık enerji tüketiminin % 22-27'sine eşit olduğu bilinmektedir (Doğan, 2000). Buna mukabil ülkemiz bu enerji potansiyelini layıkıyla değerlendirememektedir. Çünkü yenilenebilir enerji kaynaklarını değerlendirebilecek teknolojiler geliştirmek yerine, ülkemizin enerji ihtiyacı ithalat yoluyla giderilmeye çalışılmaktadır. Türkiye bu ihtiyacının %54'ünü 1990'da ve %66'sını 2001'de net ithalatla karşılamıştır. Türkiye'nin birincil enerji ihtiyacı 2001 yılında 77.04 Mtep iken buna karşılık enerji üretimi 26.3 Mtep olarak gerçekleşmiştir. 2020 yılında birincil enerji ihtiyacının 298,4 Mtep iken buna karşılık enerji üretimi 70,2 Mtep ve enerji ithalatının ise %76'ya ulaşması beklenmektedir [www.enerji.gov.tr](http://www.enerji.gov.tr), (Berkes ve Kışlalıoğlu, 1993).



Şekil 2.2. Türkiye'nin birincil enerji arzının kaynaklara göre dağılımı (International Energy Agency).

## 2.5. LİTERATÜRDE SARIMSAK

Şifa kaynağı olan sarımsak dünya çapında büyük öneme sahip bir bitkidir. Gıda türü olmanın ötesinde sağlık alanında pek çok faydası bulunmaktadır. Anti kanserojen etkisi, tansiyon düzenleyici ve güçlü antiseptik olarak kullanılması faydalarından bazılarıdır. İlaç sanayisinde de kullanılan sarımsak hayatımızın ve mutfagımızın vazgeçilmezlerindedir.

Türkiye'de sarımsağın tarihi geçmişi çok eskilere dayanmaktadır. Ülkemizde sarımsak Kastamonu şehriyle ün kazanmıştır çünkü selenyum açısından zengin olan Taşköprü toprakları kaliteli sarımsağın en iyi şekilde yetişmesine imkan sağlamaktadır. Kastamonu, %12,7'lik payla sarımsak üretiminde Türkiye'de birinci sıradadır. Kastamonu ilinde üretilen sarımsağın %85'i toprağındaki zengin selenyum ve diğer mineraller sebebiyle Taşköprü ilçesinden elde edilmektedir. Türkiye'de ki toplam sarımsak üretiminin önemli bir bölümünü oluşturmasının yanı sıra, ihracata elverişli ve kaliteli sarımsak üretimi açısından da Kastamonu önemli bir yere sahiptir (Taşkaya, 2003).

Sarımsak kimyası oldukça karmaşıktır. Sarımsak bileşenleri yetiştirme ve depolama şartlarına bağlı olarak değişebilmektedir. Biyokimyasal tekniklerin gelişmesi ile birlikte sarımsak kimyası daha iyi anlaşılmaya başlamıştır.

Sarımsağın ortalama %63'ü sudur, kalanı ise fruktoz içeren karbonhidrat, sülfür bileşikleri, protein, serbest amino asitler, vitamin ve mineraller gibi birçok değişik maddeden oluşur. Ayrıca allinaz ve katalaz enzimleri, B kompleksi, A ve C vitaminlerini içerir (Atmaca, 2003).

Taze sarımsağın her 100 gramında; 23 g karbonhidrat, 4,4 g protein bulunur. Fosfor, 100 g taze sarımsakta 44 mg gibi yüksek bir oranda bulunan minerallerdendir. Fosforu 5 mg ile kalsiyum, 0,4 mg ile de demir takip eder. Selenyum ve germanyum da sarımsak bulunan önemli minerallerdir. Ancak miktarları sarımsağın yetiştiği topraktaki mineral miktarına göre değişmektedir. Taze sarımsağın 100 gramında; 0,03 mg riboflavin, 0,24 mg tiamin, 0,9 mg nikotik asit, 0,01 mg C vitamini ve E vitamini tespit edilmiştir. Çizelge 2.1'de sarımsakta bulunan serbest amino asitler gösterilmiştir (Bhagyalakshmi vd., 2005).

Sarımsak, tüketilmesi sonrası bıraktığı istenmeyen kokunun yanında, bakteri, küf ve mayalara karşı son derece geniş bir antimikrobiyel aktiviteye sahiptir (Daljit ve Jasleen, 1999). Antimikrobiyal özelliği yanında sarımsağın metabolize olması sonucunda oluşan bazı sülfid bileşiklerinin (allil metil sülfid, allil merkaptan, allil metil sülfon gibi) antikanserojen özellikler taşıdığı bildirilmiştir (Khanum vd., 2004). Bunun yanı sıra sarımsağın içeriğindeki selenyum etkisiyle yaşlanmayı geciktirici, kanser önleyici ve bağışıklık sistemini geliştirici olduğu da tespit edilmiştir.

Taşköprü tarım ilçe müdürlüğünden alınan verilere göre her yıl Türkiye'de 80 bin ton sarımsak üretilmekte ve bunun yaklaşık olarak 9 bin ton da sapı açığa çıkmaktadır. Bu sarımsak saplarının bertaraf edilmesi ise yakma veya çöpe atma yöntemleriyle hem çevreye hem de yakılarak hava kirliliğine neden olmaktadır. Bu nedenle etkin ve ekonomik çevre kirliliğini önlemek ve kar elde etmek amacıyla sarımsak sapının değerlendirilmesi fikri ortaya çıkmaktadır.

Sarımsağın içerik ve faydalarıyla ilgili gerek yerli gerek yabancı pek çok literatür çalışması mevcuttur. Ayrıca anaerobik arıtma prosesiyle enerji eldesi üzerine bitki atıkları da çeşitli çalışmalarda materyal olarak kullanılmıştır. Fakat sarımsak sapından biyogaz üretimi noktasında bizim tezimiz bu sahada ilk olma özelliği taşıması açısından önem arz etmektedir.

Serbest amino asit	Miktarı (mg/g)	Serbest amino asit	Miktarı (mg/g)
Aspartik asit	0.397	Metiyonin	0.0340
Treonin	0.106	İzolösin	0.0516
Serin	0.3765	Lösin	0.0069
Prolin	—	Triozin	0.0464
Alanin	0.5854	Fenilalanin	0.1027
Glisin	0.5203	Lisin	0.2275
Valin	0.5732	Histidin	0.0440
Sistin	0.0492	Arjinin	2.556

Şekil 2.3. Sarımsakta tespit edilen serbest amino asitler ve miktarları.

## 2.6. BİYOGAZ ÜRETİMİNİN MİKROBİYOLOJİSİ

Biyogaz organik maddelerin oksijensiz ortamlarda biyolojik parçalanması sonucunda açığa çıkan gaz karışımıdır. Bileşiminde %60-70 metan (CH<sub>4</sub>), %30-40 karbondioksit (CO<sub>2</sub>), %0-2 hidrojen sülfür (H<sub>2</sub>S) ile bir miktar azot (N<sub>2</sub>) ve hidrojen (H<sub>2</sub>) bulunmaktadır. Biyogaz üretiminin herhangi bir sorun oluşmadan gelişmesi gerekmektedir. Oksijensiz bozunma sonucunda, biyogaz üretimi 4 aşamada gerçekleşir.

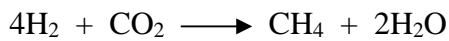
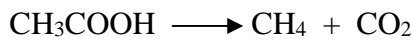


- Hidroliz
- Fermentasyon
- Asitleşme
- Metanlaşma

Fermentasyon ve hidroliz bakterileri olarak adlandırılan bakteri grupları, karbonhidratları, proteinleri ve yağları parçalayarak CO<sub>2</sub>, asetik asit ve büyük bir kısmını da çözülebilir uçucu organik maddelere dönüştürürler. Son gruptaki uçucu organik maddelerin önemli bir kısmının uçucu yağ asitleri olmasından dolayı bu aşamaya, uçucu yağ asitlerinin oluşum aşaması adı verilir.

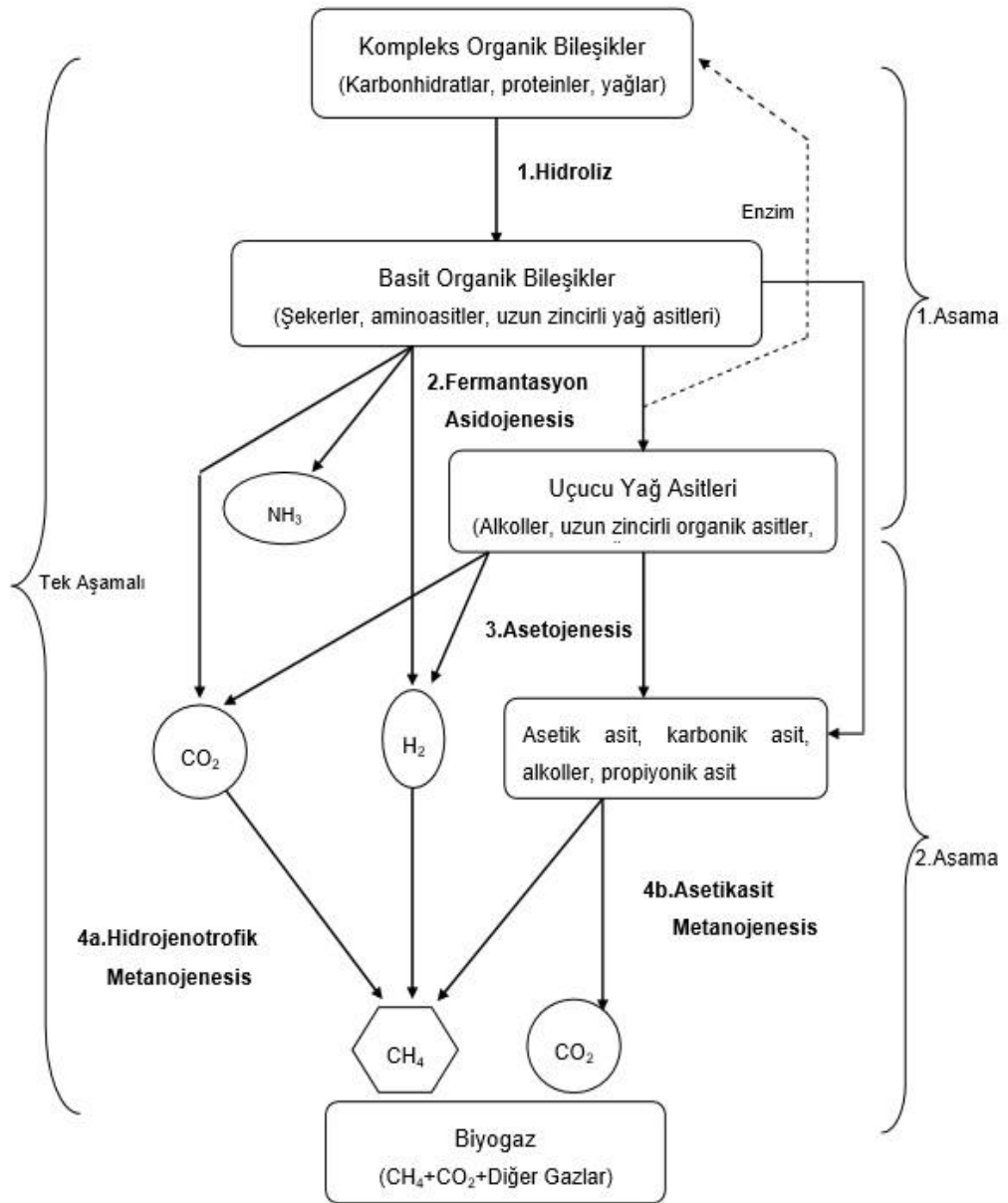
Asetojenez aşamasında, fermentasyon ve hidroliz işlemi sonucu açığa çıkan uçucu yağ asitlerini asetik aside dönüştüren asetogenetik (asit oluşturan) bakteri grupları devreye girer. Bir kısım asetogenetik bakteriler uçucu yağ asitlerini asetik asit ve hidrojene dönüştürürken, diğer bir kısım asetogenetik bakteri grubu ise, açığa çıkan karbondioksit ve hidrojeni kullanarak asetik asit oluşturur. Fakat ikinci yolla oluşan asetik asit miktarı, birinciye kıyasla daha azdır.

Metanojenez aşaması anaerobik fermentasyonun son aşamasıdır. Metan oluşturan bakteri grupları devreye girer. Bir kısım metan oluşturan bakteriler CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>'yi kullanarak metan ve su açığa çıkarır. Diğer bir kısım metan oluşturan bakteriler ise, ikinci aşama sonucu açığa çıkan asetik asidi kullanarak CH<sub>4</sub> ve CO<sub>2</sub> oluşturur.



Ancak bu aşamada birinci yöntemle oluşan metan miktarı, ikinci yöntemle elde edilen metan miktarından daha azdır. Üretilen tüm metanın %30'u birinci yöntemle, %70'i ise ikinci yöntemle oluşur.

Bu üç aşamada üç değişik bakteri grubu etkindir. Anaerobik fermentasyon işleminde; bekleme süresi, atık su ve atık organik maddelerin türü, ortamın pH'sı ile içerdikleri iyonlara ve bunlara bağımlı olarak oluşan mikroorganizmalar topluluğunun yapısına göre üç değişik sıcaklık bölgesi mevcuttur. Anaerobik fermentasyonun üçüncü aşamasında, metan bakterileri devreye girer ve metan oluşumunu sağlar. Biyogaz üretiminde tüm koşullar eksiksiz sağlanmalıdır. Aksi halde gaz üretimi verimli olmaz (Kaya ve Öztürk, 2012).



Şekil 2.4. Biyogaz oluşum aşamaları.

## 2.7. ANAEROBİK ÇÜRÜTMENİN AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI

Anaerobik arıtma, bir asırlık tarihi geçmişe sahip eski bir teknolojidir. Enerji geri kazanımında atıkların değerlendirilmesine olan ilginin artması aerobik arıtma sonrasında açığa çıkan çamurun fazlalığı sebebiyle çevre sorunlarına neden olması, anaerobik biyoteknolojinin önemini ortaya çıkarmıştır.

Anaerobik arıtma sistemleri endüstriyel ve evsel atıksuların arıtımı yanında organik katı atıkların dönüştürülmesinde de son yıllarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Anaerobik arıtma ile organik atıklarında biyogaz ve ultrafiltrasyon teknolojisi ile asetik asit, H<sub>2</sub> ve etanol kazanılması bu sistemlerin başta gıda sanayi olmak üzere organik karakteri kuvvetli olan atıklara sahip sanayi tesisleri için fizibil hale getirmiştir (Öztürk, 2007).

Anaerobik arıtmanın avantajlarının yanında dezavantajları da bulunmaktadır:

### AVANTAJLAR;

- İşletme maliyetinin düşük olması
- Çamur atığının azlığı
- Aerobik şartlarda giderilemeyen maddelerin giderilmesi
- Atık çamurun gübre olarak kullanımı
- Düşük besin elementi ihtiyacı
- Atık gaz arıtım ihtiyacının olmaması
- Köpük probleminin düşük olması
- Mevsimsel şartlara uygunluk
- Yüksek hacimsel yükleme imkanları
- Ekipman ihtiyacının az olması

### DEZAVANTAJLAR;

- Düşük sıcaklıklarda hızının yavaş olması
- Isıtma ihtiyacı
- Metan bakterilerinin çevresel koşullara hassasiyeti
- Organik atık arıtımının sınırlı sayıda olması

## 2.8. ANAEROBİK ARITMANIN VERİMİNİ ETKİLEYEN ETMENLER

### 2.8.1. Çevresel Faktörler

Biyolojik proseslerin tamamında sistemin işleyişinde çevresel şartlar etkilidir. Anaerobik fermantasyonda da metan oluşumunda çevresel şartlar rol oynar. Biyogaz üretilen tesislerdeki biyogazın miktarı ve metan konsantrasyonu tesis verimliliği açısından çok önemlidir.

Biyogaz üretim verimi ve kalitesini belirleyen fiziksel ve kimyasal parametreler vardır. Bu Parametreler; Karbon Azot Fosfor oranı (C/N/P), Uçucu Organik madde yüzdesi (UOM), atık suların Kimyasal Oksijen ihtiyacı (KOİ), Hidrolik Bekleme Süresi (HBS), Organik Yükleme Hızı (OYH), sıcaklık, kütle, basınç, debi, seviye, gaz konsantrasyonu, pH, alkalinite, toksinler gibi şartlardır.

### 2.8.2. Sıcaklık

Anaerobik fermantasyonun gerçekleşebilmesi 3°C ile 70°C aralığındaki sıcaklıkta olmaktadır. Bazı çalışmalarda sıcaklık aralığı 0-100°C olarak gösterilmektedir.

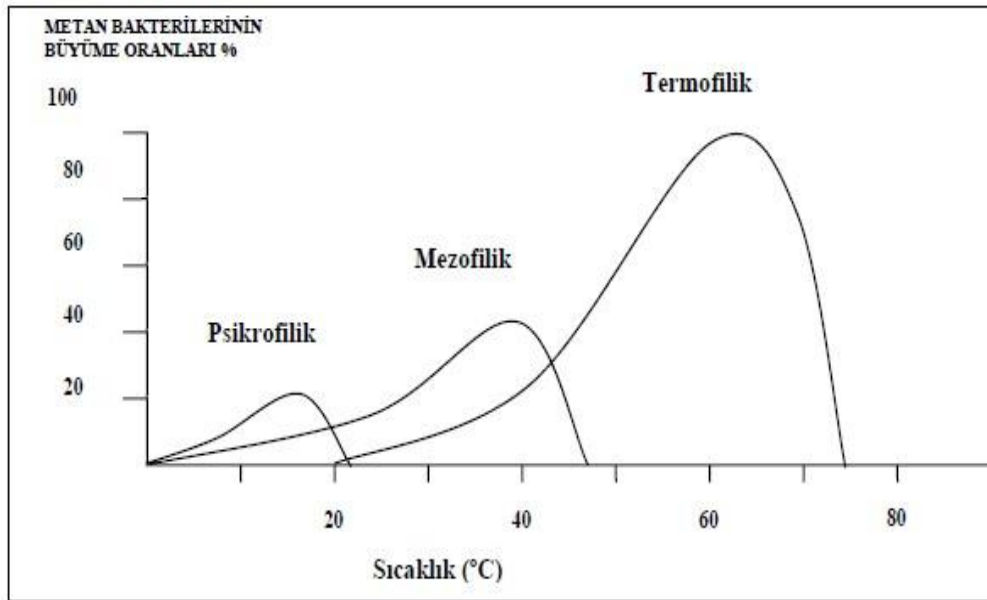
Sıcaklık aralığı, metan gazı oluşumunda önemli etkenlerden biridir. Sıcaklığın atmasıyla tesis verimi artar ve fermantasyon süresi kısalır. Bakteriler kendileri için uygun çalışma sıcaklıklarına göre üç guruba ayrılır;

- Sakrofilik bakteri: 10-20 °C arasındaki sıcaklıklarda çalışır.
- Mezofilik bakteri: 20-40 °C arasındaki sıcaklıklarda çalışır.
- Termofilik bakteri: 40-60 °C arasındaki sıcaklıklarda çalışır.

Metan bakterileri çok yüksek ve düşük sıcaklıklarda aktif değildirler. En uygun çalışma sıcaklığı metan bakterileri için 35 °C'dir. Ortam sıcaklığı 10 °C'nin altına düştüğünde gaz üretimi kısmen sona erer. En iyi düzeydeki gaz üretimi, mezofilik aralık olan 30-35 °C aralığında gerçekleşir. Hava sıcaklığı düşük olduğu zamanlarda reaktör yalıtımının uygun şekilde yapılması gaz üretimine yardımcı olur.

Anaerobik fermentasyon, termofilik sıcaklık aralığında çok etkili olmasına rağmen, tropik bölgelerdeki reaktörler mezofilik sıcaklık aralığında uygun olarak çalışabilirler. Termofilik fermentasyon maksimum 55-60 °C’de gerçekleşir. Kullanılan her kg ham maddeden üretilen gaz miktarı olarak tanımlanan gaz üretim verimi, genel olarak sıcaklığa bağlı olarak artar ve 15-35 °C aralığındaki her 10 °C sıcaklık artışı, verimi yaklaşık 2 kat artırır. Reaktördeki amonyak miktarı sıcaklık artışına bağlı olarak artar. Her sıcaklık gurubunda, başlangıçta sıcaklık artışına bağlı olarak tepkime hızı da artar. En yüksek sıcaklığın aşılması durumunda, tepkime hızında hızlı bir düşüş olur.

Genel olarak, sakrofilik mikroorganizmaların en yüksek hızları, mezofilik organizmaların en yüksek hızlarından daha düşüktür. Mezofilik organizmalarda termofilik organizmalardan daha düşüktür. Mezofilik koşullarla karşılaştırıldığında, termofilik oranın ne derece daha yüksek olduğu genellenemez. Belirtilen organizma grupları çok farklıdır. Bu nedenle bir organizma belirli bir sıcaklık alanından diğerine, hareketlilik kaybı yaşamadan geçemez. Şiddetli bir sıcaklık değişimi etkisinde kaldıklarında, diğer mikroorganizmalar büyümeye başlar (Kaya ve Özdemir, 2012).



Şekil 2.5. Sıcaklık koşullarının biyogaz üretim hızı üzerinde etkisi.

### 2.8.3. C/N/P Oranı

İnsan atıkları, hayvan gübreleri vb. tüm organik maddeler belli oranlarda karbon, azot, oksijen ve diğer elementer unsurları içerirler. Oksijensiz ortam bakterilerinin enerji ihtiyacı için, organik maddelerdeki karbon gereklidir. Bakterilerin büyümesi ve çoğalması için gerekli olan fosfor ve azot karbondan sonraki önemli besi maddelerindedir.

Metabolik işlemler için gerekli C/N/P oranı bakteriler için ideal olarak 100-130/4/1 civarında olmalıdır. C/N/P oranı kontrol altında tutulması gereken bir büyüklüktür. Hangi maddeden ne kadar yükleneceğine, organik maddelerin analiz sonuçları neticesinde karar verilir.

### 2.8.4. Bekleme Süresi

Bekleme süresi, yüklenilen ham maddenin reaktörde ortalama bekleme süresidir. Bekleme süresi, toplam reaktör hacminin günlük olarak eklenen girdi hacmine bölerek hesaplayabilir. Bekletme süresi 50-60 günlük bir süre olabilir. Bu durumda reaktör hacminin günlük olarak eklenen substrat hacminin 50-60 katı olması gerekir. Bekletme süresi sıcaklığa bağlı olarak, 35 °C' den yüksek olması durumunda kısalabilir. Anaerobik reaktördeki toplam gaz üretimi, bekletme süresinin artışına bağlı olarak artarken, biyogaz üretim hızı ise bekletme süresinin artışına bağlı olarak azalır.

Biyogaz teknolojisinde; hidrolik bekletme süresi (HRT) ve katı bekletme süresi (SRT) olmak üzere iki farklı bekletme süresi vardır. HRT, ham maddenin reaktör içerisinde bekletilme süresidir. SRT ise aktif mikroorganizmaların bekletilme sürecini belirtir. Tamamıyla karıştırılan sistemler için HRT ve SRT aynıdır. Aktif biyokütleyi sistemde olabildiğince uzun süre tutabilmek için diğer sistem tipleri tasarlanmıştır. Bu durumda SRT, HRT' den çok daha uzundur. Bu şartlarda reaktördeki aktif biyokütle konsantrasyonu artar. Böylece reaktörün birim hacmi başına verimi de artmış olur. Mikrobiyal etkinlik artırılarak, ham madde kısa sürede fermente edilebilir. Bu durum HRT'yi azaltma imkanı sağlar.

Biyogaz üretiminde önemli bir gösterge olan HRT işlenebilir hammadde miktarı ve reaktör hacmi ile doğrudan ilişkilidir. Bekletme süresi, belirli miktarlarda bir hammadde için ihtiyaç duyulan reaktör hacminin belirlenmesinde etkilidir.

Etkin olarak reaktörler için bekletme süresi kullanılan hammaddenin özelliğine bağlıdır. Daha öncede açıklandığı gibi fermantasyon işlemleri belirli süreçlerde gerçekleşirler. Sonuç olarak, karışık durumdaki hammaddenin değişik bileşenlerinin her birinin tamamen fermante olabilmesi için farklı süreçlere ihtiyaç vardır.

Hemiselikoz, yağ ve proteinlerin fermantasyonu birkaç gün alırken saf şeker ve uçucu yağ asitleri birkaç saat içinde fermante olurlar.

Reaktör tasarımında, günlük olarak yüklenen hammadde miktarı ve bu hammaddenin hidrolik bekleme süresi dikkate alınır. Bu durumda kullanılan girdi aniden önemli ölçüde değiştirildiğinde, bekletme süresinin de aynı anda değiştirilmesi gerekir.

Bekletme süresinin çok kısa olması durumunda, işleyiş dengesi bozulacaktır. Bu durum, biyogaz üretimi ve atık su miktarını olumsuz olarak etkileyecek veya en kötü durumda hareketliliğin kaybolmasına neden olacaktır. Bekletme süresinin çok uzun olması, genellikle işleyiş dengesi açısından sorun yaratmakla birlikte, fermantasyon hacminin verimli bir biçimde kullanılmadığı anlamına gelir (Kaya ve Özdemir, 2012).

### **2.8.5. Toksinler**

Antibiyotik dezenfeksiyon maddeleri, deterjanlar pestisitler gibi toksik etkili maddeler bakteriler için öldürücü etkilere sahiptirler. Bu tür maddeler reaktörlerin işlevsiz kalmalarına neden olabilirler. Bu nedenle biyogaz üretiminde kullanılacak reaktörlerin bu tür maddeler içermemesi gereklidir. Mineral iyonları, ağır maddeler ve deterjanlar, reaktördeki patojenlerin normal gelişmesi önleyen bazı toksik maddelerdir. Sodyum, potasyum, kalsiyum, magnezyum, amonyum ve kükürt gibi mineral iyonlarının az miktarda olması bakterilerin gelişmesini teşvik etmekle birlikte bu iyonların çok fazla miktarda olması toksik etki yaratacaktır. Örneğin, amonyak miktarının 50-200 mg/L olması bakterilerin gelişmesini hızlandırmasına karşın 1500

mg/L'den yüksek derişim toksik etki yaratacaktır. Benzer şekilde; bakır, nikel, krom, çinko, kurşun gibi ağır metallerin az miktarda olması bakteri gelişmesi için önemli olmasına karşın, bunların çok yüksek derişimlerde olması toksik etki yapar. Sabun, antibiyotik, organik çözücüler, metan bakterilerinin etkinliklerini etkilediğinden bunların reaktöre eklenmesinden kaçınılmalıdır (Kaya ve Özdemir, 2012).

Çizelge 2.5. Biyogaz üretim tesislerinde izlenmesi faydalı büyüklükler.

Besleme	Sindirim süreci	Gaz depolama, filtrasyon
C/N/P oranı	Sıcaklık pH	CH <sub>4</sub>
KM yüzdesi	Uçucu Yağ asitleri	CO <sub>2</sub>
UOM yüzdesi	KM yüzdesi	O <sub>2</sub>
KOİ OYH	Alkalinite	N <sub>2</sub>
pH	Seviye	CO
Kütle	Kütle	H <sub>2</sub> S
Sülfür	Debi	Gaz debisi
Amonyak	Sülfür	Basınç
Genel tuzlar Toksit maddeler	Amonyak	
İz elementler	Genel tuzlar	
	İz elementler	
	Toksit maddeler	



### 2.8.6. pH Değeri

Metan üretimini etkileyen çevresel koşullardan biride pH seviyesidir. Bir biyogaz tesisinde pH değeri 7-8 arasında değişir. Bununla birlikte reaktörde girdi olarak kullanılan ham maddelerin pH değerinin 6-7 arasında olması durumunda optimum düzeyde biyogaz üretimi sağlanır.

Biyogaz reaktördeki katı içeriği kütleli olarak %2-12 arasındadır, geri kalanı sudur. Katı içeriğinin %2 den düşük olması durumunda, reaktördeki aktif bakteri popülasyonunun azalması nedeniyle, birim katı madde başına üretilen biyogaz miktarı azalır. Diğer taraftan katı içeriğinin %6 dan daha yüksek olması, asitliğin artmasının bir sonucu olarak üretilen biyogazın kalitesinin düşmesine sebep olabilir. Uygun olarak tasarlanmış ve kesikli olarak yüklenilen yarı sürekli bir tesiste, biyogaz üretimi 24 saat içinde başlamalıdır. Bununla birlikte kesikli bir tesiste biyogaz üretimi 2-4 hafta sonra başlar ve üretim 3-4 ay devam eder.

Dengelenmiş bir reaktörde, asit oluşturan bakterilerle gelişen metan bakterilerinin hareketi, substraktın nötr bir pH'da sürdürülmesine yardımcı olur. Metan bakterileri tarafından azotun fermantasyonu sonucunda, amonyak ( $\text{NH}_3$ ) açığa çıkar. Ve substraktın pH'ı artar. pH değerinin 8,5'den daha yüksek olması metan bakterileri için zehirleyicidir. Bununla birlikte, yeni yüklenmiş bir reaktörde metan bakterilerinden önce asit oluşturan bakteriler aktif durumdadır. Asit oluşturan bakterilerin bulunduğu tepkime hızı, metan bakterilerinin bulunduğu tepkime hızından daha hızlıdır. Bu nedenle, substrakt pH'ı ilk olarak 7'nin altına doğru iner. Kararlı bir durumda metan üretimi sağlayabilmek için gerekli metan bakterisi miktarının çoğaltılması zaman alır. Yeni çalışmaya başlamış bir reaktörde, pH değerini metan bakterilerinin çalışmasına uygun bir aralıkta tutabilmek için sodyumbikarbonat ( $\text{NaHCO}_3$ ), kalsiyum oksit ( $\text{CaO}$ ) veya amonyum hidroksik ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) kullanmak gereklidir. Metan bakterileri, pH değeri 6,6 olduğunda aktif duruma gelirler.

pH değerinin 6'nın altına düşmesi, metan bakterileri için olumsuz şartlar olan çok fazla asit olmasına sebep olur. pH değeri 5'ten yüksek olduğunda  $\text{CaO}$  eklenerek veya reaktördeki materyal seyreltilerek dengeleme yapılır. Diğer taraftan pH değerinin 5'in

altında olması durumunda, reaktör hemen hemen duracak ve yeni substrakt veya hammadde eklemesi gerekir. pH değeri biyokimyasal bakteri ortamının en önemli göstergesidir.

Mikroorganizmalar üst ve dış çevrelerin pH değerini, organik asitleri üretim ve tüketim yoluyla ve bileşenleri tamponlayarak etkilerler. Böylece iç hücrel pH larını büyük oranda kontrol edebilmelerine rağmen, dış pH'ı düzenleyemezler. Mikroorganizma guruplarından metan üreten bakteriler, çevrelerindeki pH'a en duyarlı olanlardır. pH değerinin 6,5-8 arasında olmasını tercih ederler ve 6'nın altındaki pH larda metan üretimi belirgin bir şekilde olumsuz olarak etkilenir. Hidroliz işleminde etkili bakteriler, geniş bir pH aralığında çalışabilirler. Asit bakterileri 8'in altında bir pH tercih ederler. Asit üreten bakteriler, metan bakterilerinin aldığından daha fazla asit ürettiğinde, pH düşecek ve reaktör dengesi bozulacaktır (Kaya ve Özdemir, 2012).

### **2.8.7. Besleme Oranı**

Besleme oranı, reaktörün birim hacmine günlük olarak yüklenen ham madde miktarıdır. Beslenme oranı, sığır gübresi için reaktör hacminin her m<sup>3</sup>'ü başına en fazla 4,5 kg olarak uygulanabilir. Tesise fazla yükleme yapılırsa asit birikecek ve böylece metan üretimi önlenecektir. Benzer şekilde az beslenme yapıldığında ise, gaz üretimi az olacaktır.

Yük, reaktör hacmine zaman içerisinde beslenen ham madde miktarıdır. Farklı işlemler arasındaki dengeyi bozmadan, bekletme süresinin seçiminde yükün miktarı önemli bir etmendir. Herhangi bir ham maddeden üretilebilecek biyogaz miktarı laboratuvar testleriyle belirlenebilir veya mevcut bilgilerden elde edilir. Ancak, reaktör koşullarında gerçekleşen işlemler laboratuvar koşullarında gerçekleşen işlemlerden farklıdır. Örneğin, reaktör içerisinde kolayca alçalan bir ham madde ile yapılan bir laboratuvar testi, hidrolik bekletme süresinin kısa olabileceğini gösterir. Fakat bakteriler tarafından üretilen metan gazı genellikle çok yüksektir veya ideal durumdadır. Metan bakterilerinin az olduğu reaktörlerde, bekletme süresinin kısa

olması, reaktör içerisindeki ham maddenin asitleşmesine neden olacaktır (Kaya ve Özdemir, 2012).



## BÖLÜM 3

### BİYOGAZIN UYGULAMA ALANLARI

Biyogaz, ilke olarak diğer gaz yakıtların kullanıldığı, konutlardaki ve endüstrideki uygulamalarda kullanılabilir. Bunun için başlıca ön koşul, özel olarak tasarlanmış biyogaz yakma üniteleri veya ayarlanmış tüketicilerin gerekli olmasıdır. Farklı tesislerde üretilen gaz kalitesi önemli düzeyde farklı olabilmektedir. Bu nedenle; gaz basıncı, sıcaklığı, ısı değeri gibi özelliklerin kullanım sırasında dikkate alınmaları gerekir.

Amonyak ve su ile çalışan soğurmalı tip soğutma makinalarında, otomatik termosifon dolaşımı ile donatılarak biyogaz kullanılabilir. Biyogaz, soğutucunun sadece dışsal bir ısı kaynağı olduğundan, yakma ünitesi kendi başına modifiye edilmelidir. Soğutucuların biyogazla çalışacak tasarıma getirilmesi durumunda, bazı güvenlik önlemleri alınması gerekir. Başlıca kullanım alanları aşağıdaki gibidir:

- Isı ve buhar üretimi + Elektrik üretimi
- Gaz türbini + jenerasyon Kojenerasyon
- Yakıt pilleri
- Araç yakıtı
- Doğalgaz hattını besleme
- Kimyasal madde üretimi

#### 3.1. BİTKİSEL ATIKLARDAN BİYOGAZ ÜRETİMİ

Standart reaktör tasarımları yanında, enerji bitkilerinin fermentasyonu için, kuru fermentasyon uygulanan reaktörlerin geliştirilmesine ilişkin önemli ilerlemeler sağlanmıştır. Kuru havasız fermentasyon işlemi, birincil reaktördeki kuru madde içeriğinin %20-45 arasında olması durumunda gerçekleşir. Mutfak organik atıkları ve

belediye atıklarının organik kısımlarının fermentasyonu için bu yöntem uygulanabilir. Belediye atıklarının organik olanlarının kullanıldığı kuru havasız fermentasyon gerçekleşen 50'den fazla biyogaz tesisi bulunmaktadır. Havasız fermentasyon tesislerinin büyük bir bölümü, sıvı gübreden yararlanmak üzere tasarıldığından, enerji bitkileri için havasız fermentasyon uygulaması kısıtlı olmuştur. Organik atıkların kullanıldığı bir kuru fermentasyon uygulamasında bununla birlikte biyogaz üretiminde kullanılacak ham madde karışımında enerji bitkileri oranının artırılması durumunda aşağıdaki yararlar sağlanır.

- Havasız fermentasyon projeleri sıvı gübreye veya su eklenmesine bağlı kalınmadan bağımsız bir şekilde tasarımlanabilir.
- Reaktörlerin hacmi en aza indirilir. Yoğunluğu yüksek ham maddeler ve küçük hacimler ısıtma için gerekli ısı enerjisi miktarının düşük olması nedeniyle termofilik çalışma (50-55 °C) tercih edilir.,
- Reaktör içerisinde daha az karıştırma gerekli olduğundan ilave elektrik tüketimi azalır.
- Enerji bitkilerinin yoğunluklarının yüksek olması nedeniyle tesise ham madde taşıma giderleri azalır.
- Sonraki işlem için sıvı gübre miktarı azalır.

## BÖLÜM 4

### MATERYAL VE METOD

#### 4.1. MATERYAL

Bu çalışmada kullanılan sarımsak sapı (SS) Kastamonu'nun Taşköprü ilçesinden, büyükbaş hayvan gübresi (BGH) ve aşı Karabük ilinden temin edilmiştir. Büyükbaş hayvan gübresi ana substrat kaynağı ve sarımsak sapı yan substrat kaynağı olarak kullanılmıştır.

Reaktörlerde kullanılan büyükbaş hayvan gübresi, sarımsak sapı karışım oranları sabit tutularak karıştırma hızı ve sıcaklığın etkisini belirlemek için Çizelge 6.'da seviyeleri verilen deneysel parametreler araştırılmıştır. Çalışmada deney süresi boyunca ana substrat miktarı 56 gr, yan substrat kaynağı 1 gr, bir miktar aşı ve 200 mL su karışımı reaktörlere eklenerek 24 gün boyunca oluşan gaz miktarları takip edilmiştir.

Çizelge 4.1. Reaktörlerde kullanılan sıcaklık ve karıştırma hızları.

Reaktör No	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
Karıştırma Hızı (rpm)	0	0	0	100	200	300	0	0
Sıcaklık (°C)	36	50	60	40	40	40	36	36
Reaktör İçeriği	Aşı BGH SS	Aşı BGH SS	Aşı BGH SS	Aşı BGH SS	Aşı BGH SS	Aşı BGH SS	Aşı BGH	Aşı SS

## 4.2. REAKTÖRLER

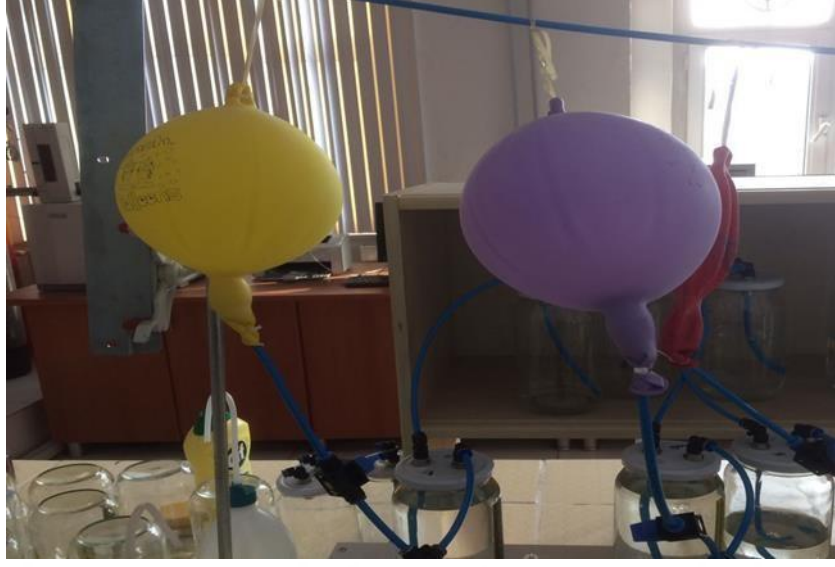
Biyogaz üretimini gerçekleştirmek amacıyla 8 adet reaktör kullanılmıştır. Şekil 4.1.'de kullanılan deney sistemi ait resim gösterilmiştir. Reaktörlerin biyogaz çıkış hattına gaz analizi yapmak için gaz toplama kabı olarak balon yerleştirilmiştir. Reaktörlere materyaller konduktan sonra gaz çıkışları 24 gün süreyle takip edilmiştir ve bu süre sonunda deneyler sona erdirilmiştir.



Şekil 4.1. Deneylerde kullanılan reaktör sistemi.

## 4.3. BİYOGAZ MİKTARININ ÖLÇÜLMESİ

Reaktörlerde biriken biyogaz miktarı hacim deplasmanı yöntemiyle belirlenmiştir. Hacim deplasmanı ile gaz ölçümü reaktörlerde üretilen gaz hacminin atmosferik basınç altında belirlenmesi esasına dayanır. Şekil 4.2.'de görüldüğü gibi oluşan gaz balonlarda biriktirildikten sonra gazın bileşimini ölçmek amacıyla Geotech Biogas 5000 portatif gaz analizörü kullanılmıştır.



Şekil 4.2. Deneilerde oluşın gazı toplamak için kullanılan balonlar.



## BÖLÜM 5

### BULGULAR

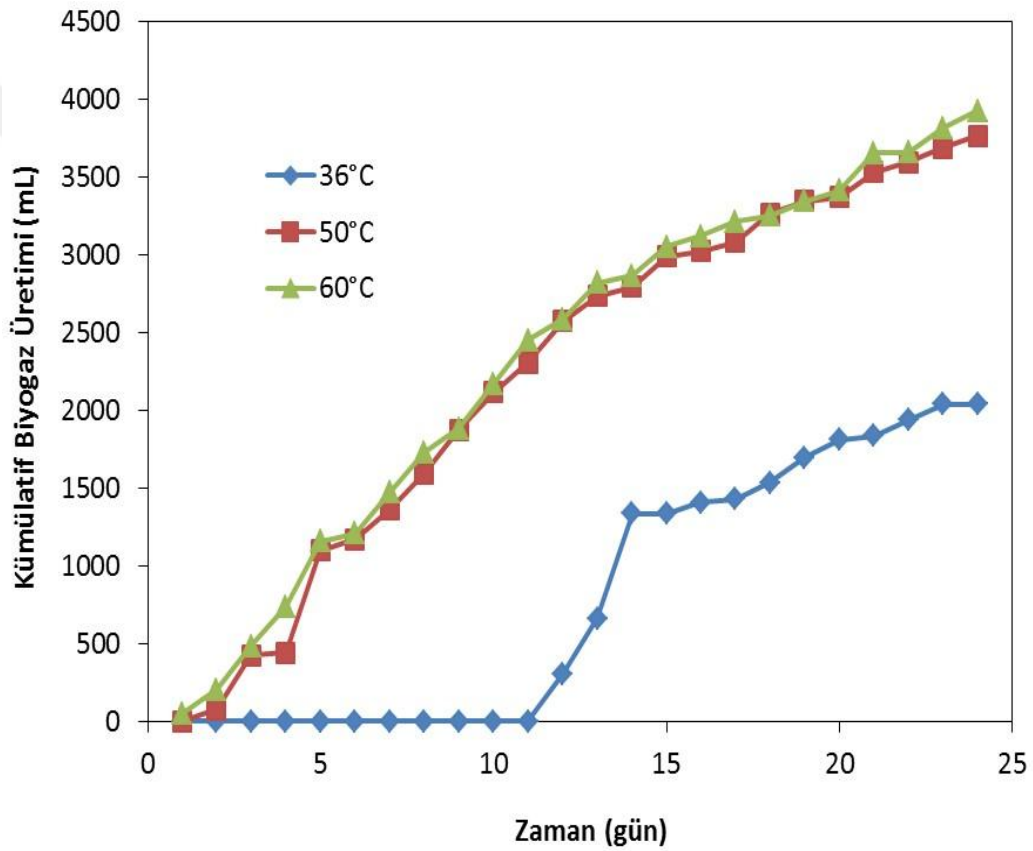
#### 5.1. FARKLI SICAKLIKLARDA BİYOGAZ ÜRETİMİ

Sarımsak sapının biyogaz üretimi 24 gün boyunca ölçülmüş ve Çizelge 7.'de çalışma süresince farklı sıcaklıklar altında oluşan kümülatif biyogaz miktarları verilmiştir.

Çizelge 5.1. Farklı sıcaklıklarda elde edilen kümülatif biyogaz miktarları.

Zaman (gün)	36°C – R1	50°C – R2	60°C – R3
	Biyogaz Miktarı (mL)		
0	0	0	0
1	0	0	50
2	0	75	203
3	0	422	484
4	0	442	738
5	0	1096	1158
6	0	1171	1208
7	0	1358	1469
8	0	1592	1729
9	0	1872	1882
10	0	2113	2170
11	0	2306	2450
12	307	2573	2584
13	661	2734	2817
14	1335	2794	2864
15	1335	2987	3051
16	1409	3021	3118
17	1429	3081	3211
18	1536	3261	3251
19	1696	3341	3345
20	1809	3368	3411
21	1836	3528	3652
22	1936	3595	3658
23	2036	3688	3812
24	2036	3761	3926

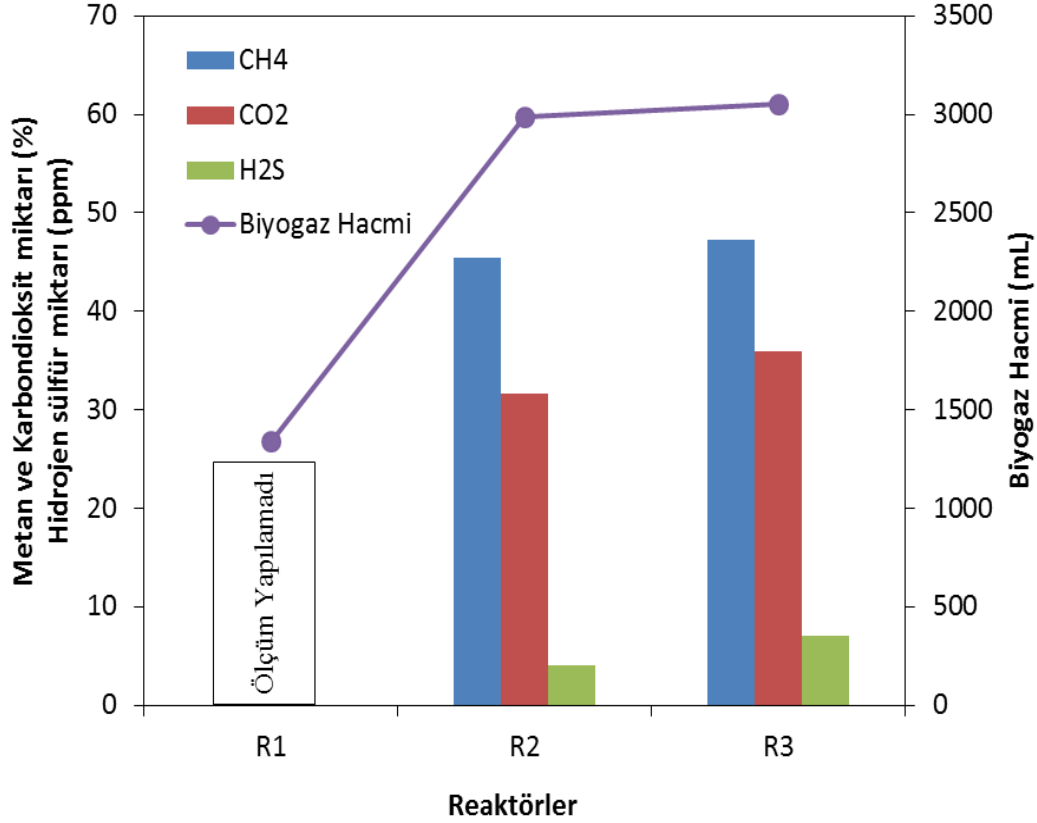
Ana substratı kaynağı BHG, yan substrat kaynağı SS ve karıştırma yapılmaksızın farklı sıcaklıklarda elde edilen kümülatif biyogaz miktarları Şekil 5.1.'de verilmiştir. Çalışma süresince 50 ve 60°C için örneklerin biyogaz üretimi benzer bulunmuş ancak 36°C'de oluşan biyogaz miktarı düşüktür. En yüksek biyogaz üretimi 60°C (3926 mL biyogaz) ve 50°C (3761 mL biyogaz) sıcaklıklarında gözlenmiştir. 4070°C Termofilik fermantasyon gerçekleştiği için bu tip reaktörler mezofilik olanlara göre daha kısa sürede daha çok biyogaz üretir. En düşük biyogaz üretimi 36°C sıcaklığında olup ilk 11 gün boyunca biyogaz üretimi gözlenmemiştir.



Şekil 5.1. Farklı sıcaklıklarda kümülatif biyogaz üretimi.

İlk 15 gün sonrasında ölçülen biyogaz kompozisyonu biyogaz hacmi Şekil 5.2.'de verilmiştir. R1'de (36°C) 15 gün sonunda biyogaz kompozisyonu için okuma yapılamamıştır. R2 (50°C) ve R3'te (60°C) oluşan biyogaz hacimleri ve yüzdeleri ise birbirine çok yakındır. Sıcaklık artışı uygun aralıkta hidrojen üreten bakterilerin yeteneğini artırırken çok yüksek sıcaklıklarda azaltır. 15 gün sonunda R2'de üretilen

biyogaz hacmi 2987 mL, metan yüzdesi ise %45,4 olarak ölçülmüştür. R3'te üretilen biyogaz hacmi 3051 mL, metan yüzdesi ise %47,3'tür.

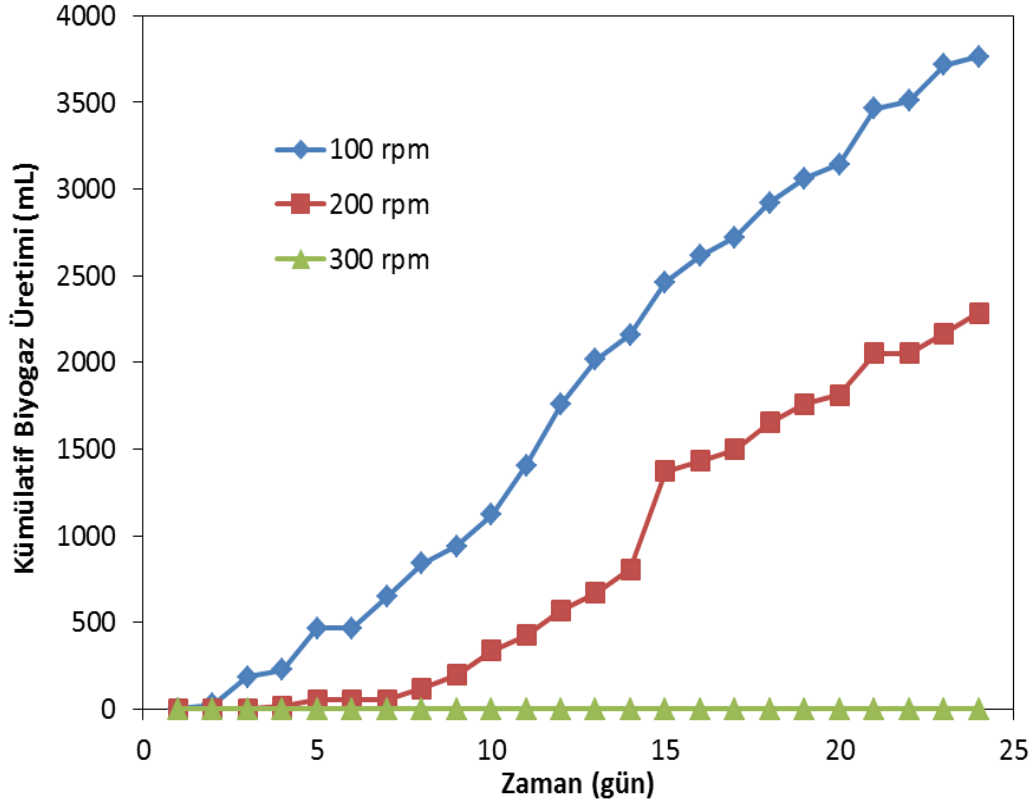


Şekil 5.2. Farklı sıcaklıklar için 15'inci günde biyogaz kompozisyonu.

## 5.2. KARIŞTIRMA HIZININ BİYOGAZ ÜRETİMİNE ETKİSİ

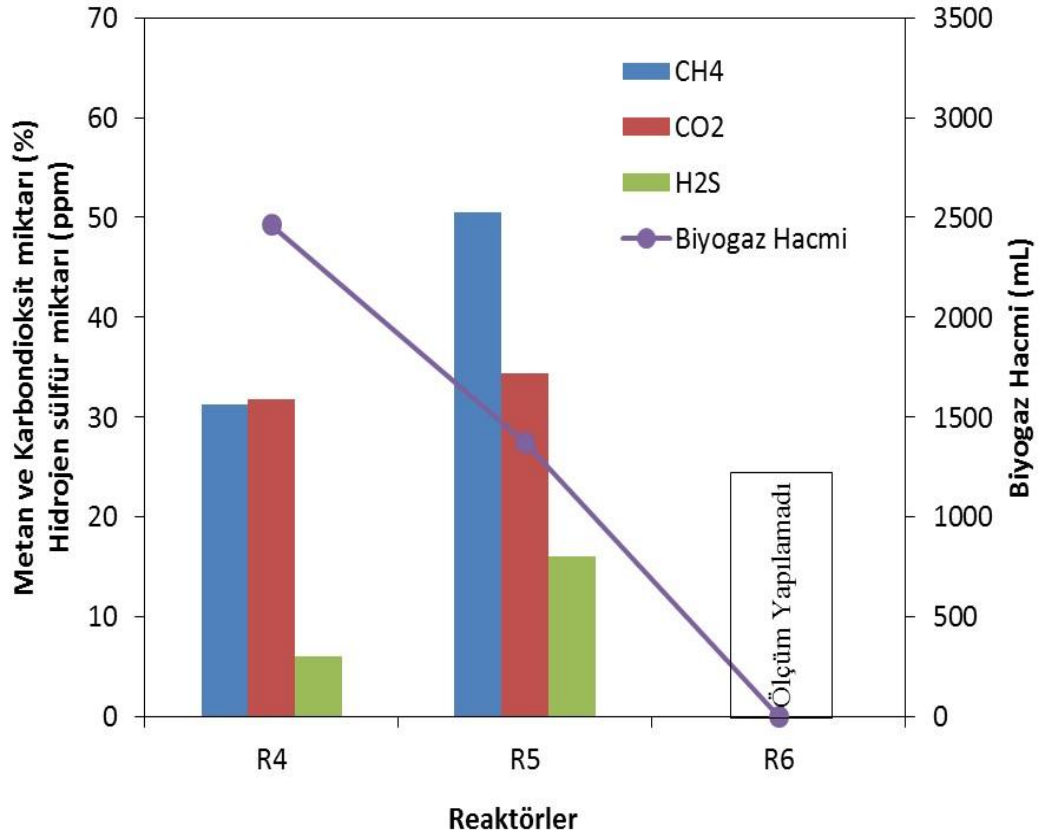
Karıştırma ile daha homojen bir sıcaklık ve homojen bakteri dağılımı elde edilmekle birlikte sistemde ki ölü bölgelerin oluşması da önlenir. Ancak aşırı karıştırma farklı bakteri türlerinin aralarında oluşturduğu dengeyi bozar ve sistem olumsuz yönde etkilenir. Karıştırma hızının biyogaz üretimine etkisini belirlemek amacıyla sabit sıcaklıkta (40°C) ve besin miktarlarında, farklı karıştırma hızlarında (100, 200 ve 300 rpm'de) deneyler yapılmış ve 24 gün boyunca kümülatif biyogaz üretimi sonuçları Şekil 5.3.'te verilmiştir. Karıştırma hızı arttıkça nihai biyogaz üretimi azalmıştır. 100 rpm'de 3764 mL biyogaz üretilirken karıştırma hızının 200 rpm'e çıkarılmasıyla biyogaz miktarı 2287 mL'ye düşmüştür. Karıştırma hızı 300 rpm de ise biyogaz üretimi gözlenmemiştir. Sürekli ve hızlı karıştırma şartları altında bakterilerin

birbirleriyle etkileşimleri azalıp işlevlerini yerine getiremedikleri için biyogaz üretimi verimi düşmektedir.



Şekil 5.3. Farklı karıştırma hızlarında kümülatif biyogaz üretimi.

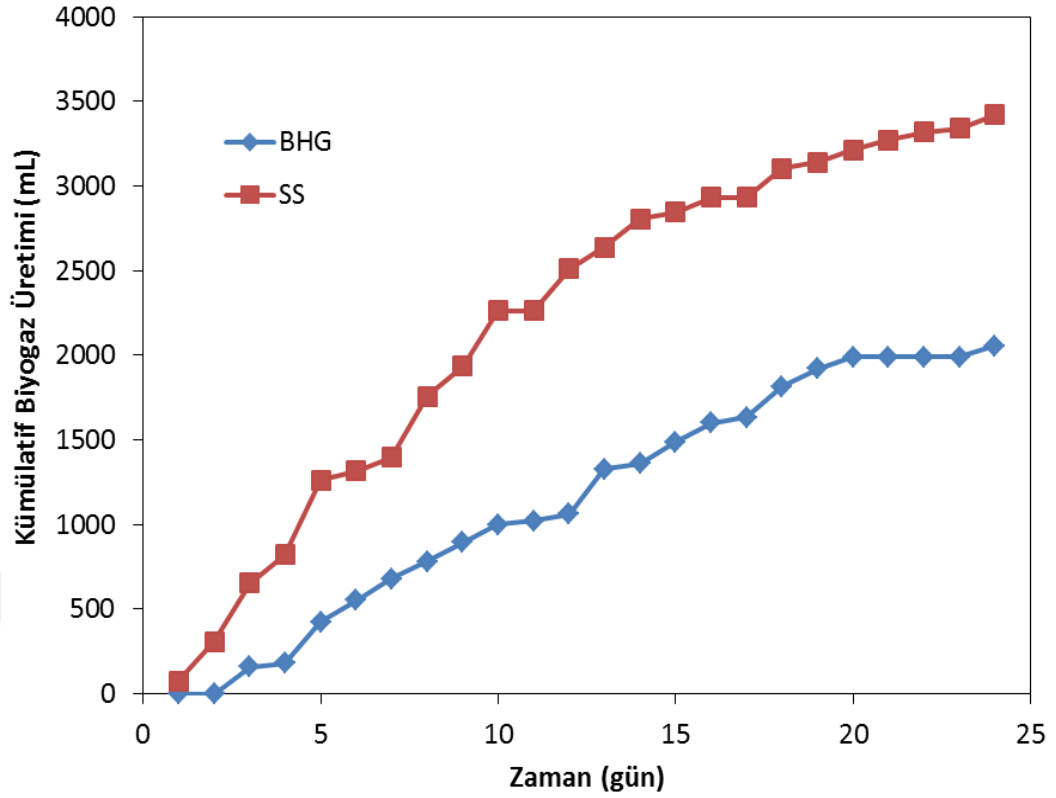
Karıştırma hızının biyogaz kompozisyonuna etkisini belirlemek amacıyla ilk 15 gün sonrasında ölçülen biyogaz kompozisyonu Şekil 5.4.'te verilmiştir. R4'de (100 rpm) ve R5 (200 rpm) biyogaz hacimleri sırasıyla 2462 ve 1372 mL'dir. R6'da (300 rpm) 15 gün sonunda biyogaz üretimi olmadığından dolayı biyogaz kompozisyonu belirlenememiştir. 15 gün sonunda R4'te en yüksek biyogaz hacmi elde edilmesine karşın biyogaz kompozisyonu açısından R5 daha iyidir. Ancak üretilen metan gazı hacimleri göz önüne alındığında R4'te 771 mL, R5'te ise 693 mL'dir. R6'da yani en yüksek karıştırma hızında biyogaz üretimi gözlenmemiştir.



Şekil 5.4. Farklı karıştırma hızları için 15'inci günde biyogaz kompozisyonu.

### 5.3. SARIMSAK SAPININ BİYOGAZ POTANSİYELİ

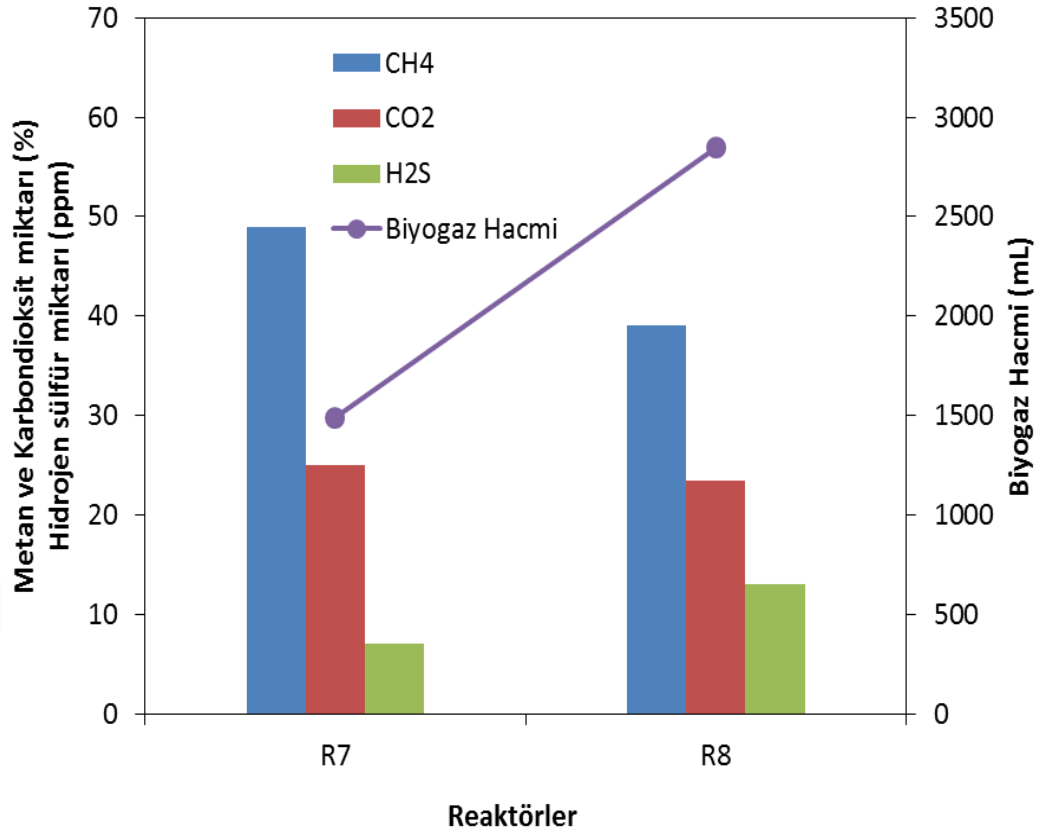
Sarımsak sapı biyolojik olarak parçalanabilir olduğundan biyogaz üretimini olumlu etkilemiştir. Sadece BHG + Aşı ve SS + Aşı kullanıldığı reaktörlerde biyogaz üretimi Şekil 5.5.'te verilmiştir. SS yan substrat kaynağı olarak kullanılması biyogaz üretimini olumlu yönde etkilemiştir.



Şekil 5.5. SS ve BHG'nin kümülatif biyogaz üretimi.

Şekil 5.5. incelendiğinde BHG ile SS'in karıştırılması biyogaz üretimini arttırmıştır. Sadece BHG'nin kullanıldığı reaktörde 2056 mL biyogaz üretilmiştir. SS'nin kullanıldığı reaktörde ise 3420 mL biyogaz üretilmiştir. 1 gr sarımsak sapı büyükbaş hayvan gübresinden %40 daha fazla biyogaz üretimi sağlamıştır. Bu sonuçlardan sarımsak sapının parçalandığı ve biyogaza dönüştüğü söylenebilir.

Yan substrat kaynağının (sarımsak sapı) biyogaz kompozisyonuna etkisini belirlemek amacıyla ilk 15 gün sonrasında ölçülen biyogaz kompozisyonu Şekil 5.6.'da verilmiştir. R7 (BHG) ve R8 (SS) biyogaz hacimleri sırasıyla 1489 ve 2846 mL'dir. 15 gün sonunda R8'de en yüksek biyogaz miktarı elde edilmesine karşın biyogaz kompozisyonu açısından R7 daha iyidir. Yan substrat kaynağının (SS) metan gazı üretimini arttırmış olup R7'de 730 mL iken R8'de 1113 mL'ye çıkmıştır.



Şekil 5.6. SS ve BHG'nin 15'inci günde biyogaz kompozisyonu.

#### 5.4. METAN ÜRETİMİ

15 gün sonrasında oluşan biyogaz kompozisyonları Çizelge 8.'de verilmiştir. R1'de biyogaz kompozisyonu için okuma yapılamamıştır. Sıcaklık artışı uygun aralıkta biyogaz üreten bakterilerin yeteneğini artırırken çok yüksek sıcaklıklarda azaltır. 60°C için (R3) biyogaz miktarı ve metan yüzdesi daha yüksek olduğundan elde edilecek enerji miktarı da daha yüksektir. R3'de üretilen biyogaz hacmi R5'e göre daha fazla olmasının en büyük sebebi mezofilik şartlar ve karıştırma hızından kaynaklanır. Karıştırma hızının artması üretilen biyogaz hacmini azaltırken metan yüzdesini arttırmaktadır. Ancak R6'da (en yüksek karıştırma hızında) ise biyogaz oluşumu gözlenmemiştir. Karıştırma hızları metan bakımından kıyaslandığında R4'te elde edilen enerji miktarı daha yüksektir. Yan substrat kaynağının (sarımsak sapı) etkisi biyogaz hacmini arttırırken metan yüzdesini azaltmaktadır. Ancak enerji üretimi kıyaslandığında sarımsak sapından daha fazla enerji elde edilmektedir.

Çizelge 5.2. Farklı reaktörlerin 15. gün biyogaz kompozisyonu.

<b>Reaktörler</b>	<b>Biyogaz Hacmi (mL)</b>	<b>CH<sub>4</sub> (%)</b>	<b>CO<sub>2</sub> (%)</b>	<b>H<sub>2</sub>S (ppm)</b>
<b>R2</b>	2987	45,4	31,7	4
<b>R3</b>	3051	47,3	36,0	7
<b>R4</b>	2462	31,3	31,8	6
<b>R5</b>	1372	50,5	34,4	16
<b>R7</b>	1489	49,0	25,0	7
<b>R8</b>	2846	39,1	23,4	13

Biyogaz anaerobik parçalanma sonucu açığa çıkan renksiz, kokusuz ve parlak mavi olan yanan ve bileşiminin %50-65 metan (CH<sub>4</sub>) ve %35-50 karbondioksit (CO<sub>2</sub>) olan hidrojen, karbon monoksit, azot, oksijen ve hidrojen sülfür gibi gazlar içeren bir karışımdır. Oluşan bu gazın bileşimi kullanılan hammaddeye ve ortam koşullarına göre değişmekle beraber %99 CH<sub>4</sub> içeren biyogazın (doğalgaz) ısıl değeri 37,3 MJ/m<sup>3</sup>, %65 CH<sub>4</sub> içeren biyogazın ısıl değeri ise 24 MJ/m<sup>3</sup> dür. Çalışmada en yüksek metan yüzdesinin elde edildiği R5 ile ortalama 19 MJ/m<sup>3</sup> biyogaz üretilmiştir.



## BÖLÜM 6

### SONUÇLAR

Ülkemizde artan enerji talebini bölgede yaşayan insanların kendi ihtiyaçlarını sağlayacak kadar üretebilmeleri için biyogaz kullanımı yaygınlaştırılabilir. Bu amaçla yan substrat kaynağı olarak sarımsak sapı kullanımının biyogaz üretimine etkisini belirlemek amacıyla yapılan bu araştırmada aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Sıcaklığın etkisini belirlemek amacıyla yapılan deneylerden 60°C’de en yüksek metan miktarına ulaşılmıştır.
- Karıştırma hızının artmasıyla biyogaz üretiminin azaldığı belirlenmiştir.
- Optimum karıştırma hız 100 rpm olarak belirlenmiştir.
- Elde edilen veriler göstermiştir ki yan substrat kaynağı olarak sarımsak sapı kullanımı biyogaz üretimini arttırmaktadır. R7 ve R8 den elde edilen sonuçlardan yan substrat kaynağı metan gazı hacmini %52 oranında arttırmıştır. Sarımsak sapı gibi endüstriyel ve bitkisel atık kullanımı ile biyogaz üretiminin etkinliği arttırılarak uygulanabilirliği açısından göz ardı edilemez bir değer olduğu ortaya çıkmıştır.

## KAYNAKLAR

Afacan, H., “Küçük ölçekli sürekli beslemeli bir biyogaz tesisinin çalışma şartlarının belirlenmesi”, *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 61: 35-36, 48, Tokat, (2008).

Akpınar, A., Kömürcü, M., ve Filiz, H. M., “Türkiye’nin enerji kaynakları ve çevre, sürdürülebilir kalkınma ve temiz enerji kaynakları”, *VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES’2008*, 17-19 Aralık (2008).

Alçıçek, A., ve Demiruluş, H., “Çiftlik Gübrelerinin Biyogaz Teknolojisinde Kullanılması”, *I Ekoloji ve Çevre Dergisi* 13, (1994).

Alibaş, K., “Biyogaz Üretimi ve Biyogaz Fermantörlerinin Enerji Kayıpları, Tarımsal Me-kanizasyon”, *15. Ulusal Kongresi Bildiri Kitabı*, Antalya, (6686)77, (1994).

Arıkan, B., “Organik Evsel Katı Atıklardan Anaerobik Ortamda Biyogaz Üretiminin Verimliliğinin Araştırılması”, *Arıkan*, Adana, 61, (2008).

Berkes, F. ve Kışlalıoğlu, M. B., “Çevre ve Ekoloji”, 4.Basım, *Remzi Kitabevi*, İstanbul, (1993).

Bilir, M., Karabay, E., Deniz, Y., ve Katlı, N., “Biyogazın Önemi, Yararları, Kullanımı, Biyogaz Tesislerin Tasarımı Ve Türkiye’de Yaygınlaştırma Olanakları”, *T.C. Köy İşleri ve Kooperatifler Bakanlığı Topraksu Genel Müdürlüğü Merkez Topraksu Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü yayınları*, Ankara, 1-4, (1982).

Buğutekin, A., “Atıklarda Biyogaz Üretiminin İncelenmesi”, *Biyogaz*, İstanbul, 14, (2007).

Chrish Kavuma ((8212)31-A172).Variation of Methane and Carbon dioxide Yield in a biogas plant. *Kavuma*, (2017).

Çağlar A., Uçar T., “Türkiye’de Biyogaz Potansiyeli ve Üretim Kinetiği”, *Uluslararası Biyogaz Semineri*, Ankara, 290-303, (1981).

Deniz Y., “Türkiye’de Biyogaz Potansiyeli ve Biyogazın Sağlayacağı Yararlar”, *Tarım Orman ve Köy İşleri Bakanlığı Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Ankara Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları*, No:48, (1987).

Eniş A., “Enerji Politikaları ile Yerli, Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları”, *TMMOB Makine Mühendisleri Odası Enerji Çalışma Grubu*, 295-324, (2002).

Entürk E., “Tavuk Çiftliklerinden Kaynaklanan Gübre Atıklarının İncelenmesi ve Uygun Arıtma Sisteminin Önerilmesi” Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Y.T.Ü.*, (2004).

Eyidoğan M., “Biyogazın Saflaştırılması ve Motorlu Taşıt Yakıtı Olarak Kullanımı”, *Mühendis ve Makina*, Cilt 49, Sayı 584, (2008).

Gelegenis J., Georgakakis D., Angelidaki I., and Mavris V., “Optimization of Biogas Production from Olive- Oil Mill Wastewater”, by *Co digesting with Diluted Poultry-Manure, Applied Energy*, 84, 646-663, (2007).

İlkılıç C., ve Deviren H., “Biyogazın Oluşumunu Etkileyen Fiziksel ve Kimyasal Parametreler”, *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, Elazığ, 123-131, 16-18 May (2011).

İlkılıç C., ve Deviren, H., “Biyogaz Oluşumu ve Biyogaz Saflaştırma Yöntemleri”, *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, 16-18 May, Elazığ, 150-155, (2011).

İnan D., “Geçmişten Bugüne Enerji Kullanımı”, *Temiz Enerji Vakfı Yayınları*, Ankara, (2001).

İnternet: Biyogazlar, “Biyogazlar”, <http://biyogazlar.blogspot.com.tr/2010/06/dunyada-biyogazuretimi-ve-kullanm.html> (2017).

İnternet: Albiyobir, “Albiyobir”, [www.albiyobir.org.tr/biyogaz02.htm](http://www.albiyobir.org.tr/biyogaz02.htm) (2017).

İnternet: Biltek, “Biltek”, [www.biltek.tubitak.gov.tr](http://www.biltek.tubitak.gov.tr) (2017).

İnternet: Biyogaz, “Biyogaz”, [www.biyogaz.com](http://www.biyogaz.com) (2017).

İnternet: Biyogaz, “Biyogaz”, [www.biyogaz.web.tr/tr/biyogaz-nedir](http://www.biyogaz.web.tr/tr/biyogaz-nedir) (2017).

İnternet: EİE, “EİE”, [www.eie.gov.tr](http://www.eie.gov.tr) (2017).

İnternet: Enerji Bakanlığı, “Enerji Bakanlığı”, [www.enerji.gov.tr](http://www.enerji.gov.tr) (2017).

İnternet: İEA, “İEA”, [www.iea.org](http://www.iea.org) (2017).

İnternet: Mühendis Beyinler, “Biyogaz Nedir?”, [www.muhendisbeyinler.net/biyogaz-nedir-nasil-elde-edilir](http://www.muhendisbeyinler.net/biyogaz-nedir-nasil-elde-edilir) (2017).

İnternet: Tarım Bakanlığı, [www.tarim.gov.tr](http://www.tarim.gov.tr) (2017).

Kaya D., ve Öztürk H., “Biyogaz Teknolojisi”, *Biyogaz Teknolojisi* Kocaeli, (2012).

Kaygusuz K., ve Sarı A., “Renewable Energy Potential and Utilization in Turkey”, *Energy Conversion and Management*, 44, 459-478, (2003).

Kaygusuz K., ve Türker M.F., “Biomass Energy Potential in Turkey”, *Renewable Energy*, 26, 661-678, (2002).

Keçeci, A., “Haşhaş (Papaver Somniferum L.) Yağ Endüstrisi Yan Ürünüden Sıvı Yakıt Üretiminin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı*, Eskişehir, 3-4, (2006).

Kırımhan S., “Organik Atıklardan Biyogaz Üretimi”, *Atatürk Üniversitesi, Çevre Sorunları Araştırma Enstitüsü*, Erzurum, (1981).

Koçer N.N., Öner C., Sugözü İ., “Türkiye’de Hayvancılık Potansiyeli ve Biyogaz Üretimi”, *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*, Elazığ, 17-20, (2006).

Genç N., “Biyolojik hidrojen üretim prosesleri”, *BAÜ FBE Dergisi* 11 (2): 17-36 Aralık (2009).

Noyola, A., Morgan, S., J., M., and Hernandez L., J., E., “Treatment of Biogas Produced in Anaerobic Reactors for Domestic Wastewater”, *Odor Control and Energy/Resource Recovery, Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 5, 93-114, (2006).

Özmen P. And Aslanzadeh S., “Biogas Production from Municipal Waste Mixed with Different Portions of Orange Peel”, Master Thesis, *University of Boraes*, Boraes, (2009).

Öztürk İ., “Anaerobik Biyoteknoloji ve Atık Arıtımındaki Uygulamaları”, *Su Vakfı Yayınları*, İstanbul, (1999).

Öztürk İ., Çokgör E. U., Gömeç Ç. Y., ve diğerleri, "Evsel Atıksular ve Organik Katı Atıkların Birlikte Arıtımı Yoluyla Yenilenebilir Enerji (Biyometan) Geri Kazanım Teknolojilerinin Araştırılması Projesi", 1. Gelişme Raporu Eki, Kamu Kurumları ArGe Projeleri Destekleme Programı, (1007) Projesi No: 105G024, *TÜBİTAK*, Ankara, (2006).

Öztürk, İ., “Anaerobik Arıtma ve Uygulamaları”, *Su Vakfı Yayınları*, İstanbul, (2007).

Öztürk M., “Hayvan Gübresinden Biyogaz Üretimi” Çevre ve Orman Bakanlığı Yayınları, Ankara, (2005). Sarapatka B., “Factors Influencing Biogas Production During Full-Scale Anaerobic Fermentation of Farmyard Manure”, *Bioresource Technology*, 49, (1723), (1994).

Soyupak S., “Türkiye’de Biyogaz Üretimi için İşlem Geliştirme”, *Uluslar arası Biyogaz Semineri*, Ankara, 236-254, (1981).

Sreedhar R.V., “Nutraceutical applications of garlic and the intervention of biotechnology”, *Critical Reviews in Food Science And Nutrition*, 45, 607– 621, (2005).

Taban S., Çıkılı Y., Kebeci F., Taban N., ve Sezer M.S., “Taşköprü Yöresinde Sarımsak Tarımı Yapılan Toprakların Verimlilik Durumu ve Potansiyel Beslenme Problemlerinin Ortaya Konulması”, *Tarım Bilimleri Dergisi*, 10 (3): 297-304, (2004).

Taşkaya B., “Sarımsak”, *Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü Yayınları, TEAE Bakış*, Ankara, Yayın No: 117, Sayı:4, Nüsha: 10, (2003).

Türker M., “Anaerobik Biyoteknoloji ve Biyogaz Üretimi Dünya’da ve Türkiye’de Eğilimler”, *VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, İstanbul, UTES’((2008)) 17-19 Aralık, 305-312, ((2008)).

Türker M., “Anaerobik Biyoteknoloji ve Biyogaz Üretimi Dünya’da ve Türkiye’de Eğilimler” *VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, İstanbul, ((2008)).

Türker M., “Anaerobik biyoteknoloji: Türkiye ve Dünya’daki eğilimler”, *2. Ulusal Çevre Kirliliği Kontrolü Sempozyumu*, 22-24 Ekim, ODTÜ, (2282)36, (2003).

Waddell E.L.Jr., “Biogas Production from Caged Layer Wastes”, *BioCycle*, 29, 8, (1988), 58-59.

Yılmaz A. H., ve Atalay F. S., “Çeşitli Organik Katı Atıkların Anaerobik Fermantasyonu ve Modelleme Çalışmaları”, *V. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, İstanbul, 619-626, 26-28 Mayıs (2004).

## ÖZGEÇMİŞ

Hilal ÖZKAN 1991 yılında Erzurum’da doğdu. İlk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Özel İstiklal Kolejinden mezun oldu. 2009 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü’nde öğrenimine başlayıp 2014 yılında mezun oldu. 2015 yılında Trans Anadolu Doğal Gaz Boru Hattı Projesinin (TANAP), Biga Kamulaştırma Şefliğinde göreve başladı ve halen aynı yerde çalışmaya devam etmektedir.

### **ADRES BİLGİLERİ**

Adres : Yenice Mahallesi pelin sokak no:32/5

BOTAŞ Kamulaştırma Şefliği

Biga/ÇANAKKALE

Tel : (531) 389 9798

E-posta : hilaloskan@hotmail.com