

**FARKLI TÜRDEN ATIKLARIN ANAEROBİK
KOFERMANTASYON YÖNTEMİ İLE BİYOGAZ
ÜRETİMİ İÇİN OPTİMUM İŞLETME
ŞARTLARININ BELİRLENMESİ**

**2018
DOKTORA TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ**

MEHMET VOLKAN AKSAY

**FARKLI TÜRDEKİ ATIKLARIN ANAEROBİK KOFERMANTASYON
YÖNTEMİ İLE BİYOGAZ ÜRETİMİ İÇİN OPTİMUM İŞLETME
ŞARTLARININ BELİRLENMESİ**

Mehmet Volkan AKSAY

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında

Doktora Tezi

Olarak Hazırlanmıştır


KARABÜK

Ağustos 2018

Mehmet Volkan AKSAY tarafından hazırlanan “FARKLI TÜRDEN ATIKLARIN ANAEROBİK KOFERMANTASYON YÖNTEMİ İLE BİYOGAZ ÜRETİMİ İÇİN OPTİMUM İŞLETME ŞARTLARININ BELİRLENMESİ” başlıklı bu tezin Doktora 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 Doktora tezi olarak kabul edilmiştir. 02/08/2018

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Kurtuluş BORAN (GÜ)

Üye : Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK (KBÜ)

Üye : Prof. Dr. Sezayi YILMAZ (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. F. Emre BORAN (GÜ)

Üye : Doç. Dr. Muhammet KAYFECİ (KBÜ)

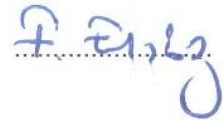


...../...../2018

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Doktora 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.”

Mehmet Volkan AKSAY

ÖZET

Doktora Tezi

FARKLI TÜRDEKİ ATIKLARIN ANAEROBİK KOFERMANTASYON YÖNTEMİ İLE BİYOGAZ ÜRETİMİ İÇİN OPTİMUM İŞLETME ŞARTLARININ BELİRLENMESİ

Mehmet Volkan AKSAY

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK

Ağustos 2018, 96 sayfa

Dünyadaki hızlı nüfus artışı, enerji ve gıda ihtiyacını beraberinde getirmektedir. Nüfus artışıyla birlikte ortaya çıkan atık miktarı da artmakta ve çevresel problemlere neden olmaktadır. Atıkların kofermantasyonu ile biyogaz üretimi enerji üretimi ve çevre sorunlarına aynı anda çözüm sağlayabilmektedir. Hayvansal atıklar genellikle kofermantasyon uygulamalarında ana substrat olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada çay atıkları Türkiye’de çok üretilen ve tüketilen bir atık olduğu için yardımcı substrat olarak kullanılmıştır. Bu amaç doğrultusunda, evsel çay atıklarının biyogaz potansiyelinin belirlenmesi için kofermantasyon yöntemi kullanılmıştır.

Mezofilik ($37\pm 2^{\circ}\text{C}$) şartlar altında laboratuvar ölçekli kesikli sistem kofermantasyon yöntemi 80 gün boyunca denenmiştir. Tüm reaktörler farklı karışım oranlarında beslenmiştir ve farklı karıştırma hızları altında denenmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde bu atıkların kofermantasyonu biyogaz verimine ve metan içeriğine olumlu etki etmiştir. Optimum biyogaz verimi 296.89 mL/gVS ve metan içeriği %77.1 olarak, %75 büyükbaş gübresi %25 çay atıkları karışımından oluşan, 100 rpm karıştırma hızı altında çalışan, A2 reaktöründen elde edilmiştir. Sonuç olarak büyükbaş hayvan gübresi ve evsel çay atıklarının kofermantasyonunun hem biyogaz verimine hem de elde edilen biyogazın metan içeriğine pozitif etki ettiği tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler : Biyogaz, kofermantasyon, sığır gübresi, çay atıkları

Bilim Kodu : 928.1.233

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

DETERMINATION OF OPTIMUM OPERATING CONDITIONS FOR BIOGAS PRODUCTION FROM DIFFERENT TYPE OF WASTES BY ANAEROBIC CO-FERMANTATION METHOD

Mehmet Volkan AKSAY

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Energy Systems Engineering

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK

August 2018, 96 pages

The increase of world population brings energy and food requirements. Increasing energy demand drives humanity towards new energy sources and work towards energy efficiency developments. Concordantly, due to population growth, the amount of waste is also increasing and causing environmental -issues. Biogas production by co-digestion of wastes -could be a common solution to both issues. Animal manures are typically used as a main substrate in co-digestion applications. Tea waste is used as a co-substrate in this -work due to having large production and consumption volume in Turkey. The aim of this study is to emerge new methods for disposal and reuse of household tea waste. For this purpose, co-digestion method was carried out to determine the biogas potential of household tea waste. Laboratory scale batch type co-digestion is carried out for 80 days under mesophilic ($37\pm 2^{\circ}\text{C}$) conditions. All reactors fed with different mixing ratio of wastes and operated with

different stirring speeds. The results showed that co-digestion of the wastes have positive impact on biogas and methane yield. Optimum biogas yield is 296.89 mL/gVS and 77.10% methane content are obtained from A2 which consist of 75% cattle manure and 25% tea waste with 100 rpm stirring speed. According to the results, co-digestion of cattle manure and household tea waste both have a positive effect on biogas production and methane content of biogas.

Key Word : Biogas, co-digestion, cattle manure, tea waste.

Science Code : 928.1.233



TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının belirlenmesinde, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda destek ve yardımlarını esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamın bilimsel temeller doğrultusunda tamamlanmasında çok emeği olan sayın hocam Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması boyunca gerçekleştirdiğim deneylerinin yapılmasında yardımlarını esirgemeyen, Karabük Üniversitesi Çevre Mühendisliği'nden Dr. Arş. Gör. Rahman ÇALHAN'a ve Karabük Üniversitesi Makina Mühendisliği'nden Dr. Arş. Gör. Ahmet Emrah ERDOĞDU'ya teşekkür ederim.

Ayrıca doktora tez çalışmama KBÜ-BAP-16/2-DR-082 numaralı proje ile destek veren Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Koordinatörlüğü yetkililerine teşekkürü bir borç bilirim.

Sevgili aileme ve çalışma arkadaşlarıma manevi hiçbir yardımı esirgemediğim yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	2
GENEL BİLGİLER	2
2.1. BİYOGAZ TARİHÇESİ	2
2.2. BİYOGAZ VE ANAEROBİK FERMANTASYON	7
2.3. BİYOGAZ ÜRETİMİNDE HAMMADDE KAYNAKLARI	13
2.3.1. Tarımsal Biyogaz Hammaddeleri	15
2.3.1.1. Hayvan gübresi ve atıkları	15
2.3.1.2. Bitkisel atıklar	16
2.3.1.3. Enerji bitkileri	16
2.3.2 Endüstriyel Biyogaz Hammaddeleri.....	16
2.3.3. Kentsel Atıklar.....	17
2.3.3.1. Kaynağında ayrılmış organik atıklar.....	17
2.3.3.2. Atık su çamuru.....	18
2.4. BİYOGAZ ÜRETİMİNDE KULLANILAN SİSTEMLER	19
2.4.1. Kesikli Beslemeli (Batch) Fermantasyon Sistemi	19
2.4.2. Beslemeli - Kesikli Fermantasyon Sistemi.....	19

2.4.3. Sürekli Beslemeli Fermantasyon Sistemi	20
2.5. ANAEROBİK FERMANTASYONU ETKİLEYEN FAKTÖRLER	20
2.5.1. Atık Kompozisyonu ve Uçucu Katı Maddeler	20
2.5.2. C / N Oranı.....	22
2.5.3. Seyreltme	26
2.5.4. pH	26
2.5.5. Sıcaklık	27
2.5.6. Organik Yükleme Oranı	32
2.5.7. Bekletme Süresi	33
2.5.7.1. Hidrolik Bekletme Süresi.....	34
2.5.7.2. Katı Madde Bekleme Süresi	34
2.5.8. İnhibisyon ve Toksikite.....	35
2.5.8.1. Amonyak inhibisyonu	36
2.5.8.2. Nitrat (NO_3^-).....	37
2.5.8.3. Kükürt bileşenleri.....	37
2.5.8.4. Organik asitler (Yağ asitleri ve amino asitler).....	38
2.5.8.5. Oksijen	39
2.5.8.6. Ağır metaller	40
2.5.9. Karıştırma	41
2.5.10. Patojenler	42
2.6. KOFORMANTASYON İLE BİYOGAZ ÜRETİMİ	42
2.7. LİTERATÜRDEKİ KOFORMANTASYON ÇALIŞMALARI	44
BÖLÜM 3	51
MATERYAL VE METOD	51
3.1. ATIK KARAKTERİZASYONU	51
3.2. ANALİTİK METODLAR.....	51
3.3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	56
BÖLÜM 4	61
VERİLER VE DEĞERLENDİRMELER.....	61
4.1. Kofermantasyon Deney Sonuçları.....	61
4.2. Karıştırma Hızı Deney Sonuçları	68

BÖLÜM 5	78
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	78
5.1. SONUÇLAR.....	78
5.2. ÖNERİLER	80
KAYNAKLAR	81
EK AÇIKLAMALAR.....	91
TERİMLER SÖZLÜĞÜ	91
ÖZGEÇMİŞ	94



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Anaerobik fermantasyon biyokimyasal dönüşüm yolları.....	12
Şekil 2.2. Sıcaklık ve tutma süresine bağlı olarak biyogaz verimleri.....	29
Şekil 2.3. Sıcaklığa bağlı olarak metanojenlerin büyüme oranı.	31
Şekil.2.4. 2010-2013 yılları arası ana ve yardımcı substrat yayın dağılımı	44
Şekil 3.1. Etüv.	52
Şekil 3.2. Kül fırını.	52
Şekil 3.3. Termoreaktör.	53
Şekil 3.4. Elemental analizör.	53
Şekil 3.5. pH metre.	54
Şekil 3.6. Portatif gaz analizörü.....	54
Şekil 3.7. Isıtıcıly manyetik karıştırıcı ve su banyosu.	55
Şekil 3.8. Su banyosu kullanılan deney sistemi.....	56
Şekil 3.9. Manyetik ısıtıcıly karıştırıcı kullanılan deney sistemi.	57
Şekil 3.10. Manyetik ısıtıcıly karıştırıcı kullanılan deney setleri.	57
Şekil 3.11. Su banyosu kullanılan deney setleri I.	58
Şekil 3.12. Su banyosu kullanılan deney setleri II	58
Şekil.4.1. N grubu reaktörlerinin toplam biyogaz üretimi ve metan içeriği.	61
Şekil 4.2. N grubu reaktörleri periyodik biyogaz üretimleri.	63
Şekil 4.3. N grubu reaktörleri günlük biyogaz üretimleri.....	64
Şekil 4.4 N grubu reaktörleri toplam biyogaz üretimleri.....	65
Şekil 4.5. N1 – N2 reaktörleri toplam biyogaz üretimleri karşılaştırılması.	66
Şekil 4.6. N1 – N3 reaktörleri toplam biyogaz üretimleri karşılaştırılması.	66
Şekil 4.7. N1 – N4 reaktörleri toplam biyogaz üretimleri karşılaştırılması.	67
Şekil 4.8. N1 – N5 reaktörleri toplam biyogaz üretimleri karşılaştırılması.	67
Şekil.4.9. A grubu reaktörlerinin toplam biyogaz üretimi ve metan içeriği.	68
Şekil 4.10. A grubu reaktörleri periyodik biyogaz üretimleri.	69
Şekil 4.11. A grubu reaktörleri günlük biyogaz üretimleri.....	71
Şekil 4.12. A grubu reaktörleri toplam biyogaz üretimleri.....	72

Sayfa

Şekil 4.13. A1-A2 reaktörleri toplam biyogaz üretimleri karşılaştırılması. 73
Şekil 4.14. A1-A3 reaktörleri toplam biyogaz üretimleri karşılaştırılması. 73
Şekil 4.15. A1-A4 reaktörleri toplam biyogaz üretimleri karşılaştırılması. 74
Şekil 4.16. A1-A5 reaktörleri toplam biyogaz üretimleri karşılaştırılması. 74



ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Biyogazın global kullanımı	4
Çizelge 2.2. Çeşitli yakıtların kalorifik değerlerinin karşılaştırılması.....	8
Çizelge 2.3. Biyogazın genel özellikleri.....	9
Çizelge 2.4. Metanın genel özellikleri.....	9
Çizelge 2.5. Biyogazda tipik bileşenler ve kirleticiler.....	9
Çizelge 2.6. Çeşitli biyogaz hammaddelerinin biyogaz ve metan verimleri	14
Çizelge 2.7. Avrupa biyolojik arıtmaya uygun atıklar kataloğu	21
Çizelge 2.8. Bazı biyoparçalanabilen atıkların C/N oranları	24
Çizelge 2.9. Sıcaklık ve bekletme süreleri	29
Çizelge 2.10. Bazı gazların sıcaklıklara göre sudaki çözünürlükleri	31
Çizelge 2.11. Amonyak ve amonyum için sınır değerler	36
Çizelge 2.12. Farklı metallerin oluşturdukları inhibisyon veya toksik etkileri ...	40
Çizelge 2.13. Kofermantasyonun faydaları ve limitleri	43
Çizelge 3.1. Kullanılan atıkların karakteristik özellikleri.....	55
Çizelge 3.2. Reaktör karışım içeriği ve karıştırma hızları	59
Çizelge 3.3. Reaktörlerin başlangıç özellikleri.....	60
Çizelge 4.1. N grubu reaktörlerin substrat karışım oranları	62
Çizelge 4.2. A grubu reaktörlerin substrat karışım oranları	69
Çizelge 4.3. Reaktörlerin son karakteristik özellikleri	75
Çizelge 4.4. Reaktörlerin KOİ giderimleri	77

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

C : Karbon

C/N : Karbon/Azot Oranı

CH₄ : Metan

CO₂ : Karbondioksit

COD : Chemical Oxygen Demand (Kimyasal Oksijen İhtiyacı)

H : Hidrojen

H₂O : Su

H₂S : Hidrojen sülfür

H₂ : Hidrojen

K : Potasyum

N : Azot

NaOH : Sodyum Hidroksit

NH₃ : Amonyak

NH₄⁺ : Amonyum iyonu

O : Oksijen

P : Fosfor

TS : Total Solids (Toplam Katı Madde)

TN : Total Nitrogen (Toplam Azot)

S : Kükürt

VS : Volatile Solids (Uçucu Katı Madde)

KISALTMALAR

BVS	: Biyobozunabilir Uçucu Katılar
COD	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)
CNG	: Sıkıştırılmış Doğal Gaz
ÇAYKUR	: Çay İşletmeleri Genel Müdürlüğü
DPT	: Devlet Planlama Teşkilatı
FAO	: Food and Agriculture Organization (Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü)
HRT	: Hidrolik Bekletme Süresi
LPG	: Sıvılaştırılmış Petrol Gazı
OLR	: Organik Yükleme Oranı
RPM	: Revolutions Per Minute (Dakikadaki Devir Sayısı)
RVS	: Bozunmayan Uçucu Katılar
TETKB	: Türkiye Enerji Ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
TOC	: Toplam Organik Karbon
TS	: Türk Standardı
TUIK	: Türkiye İstatistik Kurumu
YEK	: Yenilenebilir Enerji Kanunu

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Dünya genelinde hızlı nüfus artışı ve sanayileşme, gıda talebinde artışa neden olmaktadır. Eş zamanlı olarak, tarım ve hayvancılık sektörü de büyümektedir. Büyüyen bu endüstri, hayvansal ve tarımsal atıkları meydana getirmekte ve atık yönetimi sorunları oluşturmaktadır. Atıklar kontrol edilmediği takdirde çevre kirliliği ortadan kaldırılamaz ve insan sağlığını önemli ölçüde tehdit eder [1].

En önemli hayvansal atıklardan biri, yüzey su kaynaklarının ötrofikasyonuna yol açan, patojenik problemlere ve kötü kokunun oluşmasına sebep olan ve metan gazı oluşumu nedeniyle küresel ısınmaya neden olan sığır gübresidir. Türkiye İstatistik Kurumu'nun (TUIK) 2017 yılı verilerine göre Türkiye'de toplam 16.105.025 sığır bulunmaktadır [2]. Literatürden elde edilen verilere göre, bir sığırdan ortalama 10 kg/gün, 3.65 ton/yıl gübre elde edilebilmektedir [3–5]. Verilere göre Türkiye'de sığır gübresinden 58.783.341 ton/yıl, 1.939.850.261 m³/yıl biyogaz ve 9.117.296 MWh elektrik eşdeğeri elde edilebilmektedir [5,6].

Türkiye'de elektrik üretimi amaçlı tarımsal ve hayvansal atıklara dayalı mevcut biyogaz tesisi sayısı 24 olup, toplam kurulu gücü 78,5 MWe, toplam elektrik üretimi yılda 699.166 MWh'dir. Bu tesislere hükümet tarafından yenilenebilir enerji kaynakları arasında en yüksek tarife olan 13.3 \$ sent / kWh tarife garantisi 10 yıl sağlanmaktadır. Türkiye, 2017 yılında 540 MW kurulu güce sahip biyokütle kapasitesine sahiptir. Türkiye Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (TETKB), 2019'da 700 MW'a ve 2023'te 1000 MW'a ulaşmayı hedeflemektedir [7]. Hedef doğrultusunda mevcut tesislerin sayısı artık sınırlıdır ve dolayısıyla enerji verimliliği de yetersiz kalmaktadır. Tesislerin sayısı artırılmalı ve daha sonra biyogaz verimliliği üzerine çalışmalar yapılmalıdır.

Sığır gübresi konusunda bugüne kadar yapılmış çok sayıda çalışma yapılmış ve anaerobik fermantasyon ile biyogaz ve organik gübre eldesi en çok kullanılan yöntemlerdir. Anaerobik fermantasyon, esas olarak anaerobik ortamda organik maddeden metan ve karbondioksit (CO₂) içeren biyogaz elde etme işlemidir. Hayvan gübreleri genellikle kojenerasyon sisteminde elektrik üretimi sağlayan biyogaz ve organik gübre üretmek için anaerobik fermantasyon işlemine tabii tutulmaktadır. Bununla birlikte, bazı substratların karakteristik özelliklerinden dolayı, tek substratın anaerobik fermantasyonundan (mono fermantasyon) dolayı elverişsiz koşullar ortaya çıkabilir. Örneğin hayvan gübresi yüksek azot (N) içeriğine bağlı olarak metanojenlerin inhibisyonuna neden olabilir ve düşük organik yüke sahiptir, tersine bitkiler ve tarımsal atıklar mevsimseldir ve düşük N içeriğine sahiptir. Bu tür problemler, kofermantasyon yöntemi olarak adlandırılan yardımcı substrat katılarak çözülebilir, bu şekilde metan verimi artırılabilir [8,9].

Geleneksel olarak, anaerobik fermantasyon, tek bir substratı içerir, ancak kofermantasyon, iki veya daha fazla substrattan oluşan homojen bir karışımının fermantasyon işlemidir. Kofermantasyon, besin dengesini artırır, hayvan gübresi veya atık su çamuru ile karışarak partikül, yüzen, çökelen atıklarının homojenleşmesine izin verir, reolojik özellikleri optimize eder, düzenli biyogaz üretimini artırır ve ek gübre sağlar [10]. Sığır gübresinin yağlı tortular, alkol kalıntıları, tarımsal atıklar ve gıda endüstrisi veya gıda atığı gibi yüksek metan potansiyeli atıklarıyla birlikte fermantasyonu, sığır gübresinin monofermantasyonundan daha fazla biyogaz üretir. Bu nedenle, kofermantasyon biyogaz tesislerinin karlılığını artırabilir. Ayrıca, büyük miktarlarda ve birçok yerde üretilen ve hayvan gübresi ile ortak fermentasyon için uygun olan gıda endüstrisinin organik atıkları atılmak yerine kullanılıp ekonomiye kazandırılmış olur [11,12]. Sebze ve tarımsal atıklar, özellikle hayvan yemi olarak kullanılan saman, mısır sapı, şeker pancarı yaprakları, mısır silajı, pancar posası veya saman hasırı gibi yeni ürünler elde edilebilenler hariç, kofermantasyon yönteminde yardımcı substrat olarak değerlendirilmelidir [4].

Gıda ve Tarım Örgütü'nün (FAO), 2015 yılında dünya çay üretimi ve ticaretinin bugünkü ve gelecekteki gelişimine ilişkin raporuna göre, Türkiye, yıllık çay üretimi

miktarına göre sırasıyla Çin, Hindistan, Sri Lanka ve Kenya'dan sonra Dünya'da 5. pozisyonda Avrupa'da birinci sıradadır [13]. TUIK çay üretim verilerine göre Türkiye'de 2017 yılında toplam çay üretimi 1300 bin tondur [14].

Kurutulmuş ve öğütülmüş çay yaprakları sıcak su ile demlemek suretiyle kullanılır ve daha sonra sonuçlar atık olarak değerlendirilebilir. Ülkemizde büyük miktarlarda üretilen ve tüketilen çayın oluşan atıkları diğer evsel atıklarla da bir karışım olarak atılmasının yanı sıra, yüksek nem içeriğine de sahiptir. Bu yüzden atıldığında kolayca bozulur ve su sızıntısı, koku gibi sorunlara neden olur. Aşırı tüketime bağlı olarak, çay yaprakları atık miktarı da artmaktadır. Çay yaprakları atıklarının bertarafı ve yeniden kullanımı için yeni yöntemler geliştirilmelidir. Çay sadece suyla demlenmiş ve diğer maddelerle karışmamış olması nedeniyle kaynakta atık ayrımı prensibi açısından çok uygundur.

Çay yaprakları yararlı amino asit, protein, vitamin, tanen ve polifenol içeriğine sahiptir. Çay yapraklarının demlenmesinden sonra, bazı besin elementleri hala çay yapraklarında kalır [15]. Bu nedenle, bu atık, yem veya başka bir ürün olarak değerlendirilmediği sürece biyogaz üretimi için kullanılabilir.

Sığır, koyun, kümes hayvanları, atıksu arıtma çamuru, silaj, arpa, buğday samanı, çeltik samanı atığı vb. atıklar literatürde incelenmiştir ve biyogaz potansiyeli ve metan içeriği hakkında yeterli bilgi bulunmaktadır, ancak evsel çay atığı ile ilgili verilere erişilememiştir [16–18]. Çay atıkları ile ilgili yapılan çalışmalarda, endüstriyel çay atıklarının toprağa mineral desteği olarak kullanımı [19], endüstriyel soğuk çay üretimi sızıntı suyundan biyogaz üretimi [20], gama radyasyonu ile taze siyah çayda bakteriyel kontaminasyonun azaltılması ve önemli minerallerin belirlenmesi [21], çeşitli soğuk çayların uçucu bileşikleri ve sensör özellikleri [22], çay bitkisinin atıklarından aktif karbon üretimi, gibi konular üzerinde durulmuştur ancak sığır gübresi ve evsel çay atıklarının birlikte fermantasyonu ile biyogaz üretimi konusunda hiçbir çalışma yapılmamıştır. Bu çalışmada, ilk kez optimum biyogaz veriminin belirlenmesi amacıyla, sığır gübresi ile evsel çay atıklarının kofermantasyonun verimi araştırılmıştır.

BÖLÜM 2

GENEL BİLGİLER

2.1. BİYOGAZ TARİHÇESİ

Çok eski kaynaklar, enerji kaynağı için atık su ve yenilenebilir kaynakların kullanılmasının yeni olmadığını ve milattan önce de biliniyor olduğunu göstermektedir. M.Ö. 3000 civarında bile Sümerler, atıkların anaerobik temizliğini uygulamışlardır. Romalı alim Pliny, M.Ö. 50 civarında, bataklıkların yüzeyinin altında görünen ışıltılı ışıkları anlatmıştır [23].

Birkaç yüzyıldan beri, organik atıkların büyük yığınlarda çürümesine izin verildiğinde, yanıcı gazın üretildiği bilinmektedir. Örneğin, on yedinci yüzyılda Van Helmont, çürüyen organik malzemenin yanıcı gazlar ürettiğini kaydetmiştir. Volta, 1776 yılında ne kadar organik madde kullanıldığı ve malzemenin ne kadar gaz ürettiği arasında doğrudan bir bağlantı olduğunu ortaya çıkarmıştır. Bu yanıcı gazın metan olduğu, 1804-1808 yıllarında John Dalton ve Humphrey Davy tarafından bağımsız olarak yürütülen çalışmalarla resmileştirilmiştir [24].

Bechamp, 1868'de, organik maddenin ayrışması sırasında metan oluşumunun mikrobiyolojik bir süreçten geçtiğini bildirmiştir. Omelianski, 1890'larda, selülozun metan fermantasyonu sırasında hidrojen, asetik asit ve bütirik asit salınımından sorumlu izole mikropların olduğunu belirtmiştir. Ayrıca, metanın belki de hidrojen ve karbon dioksit arasındaki mikroorganizma aracılı reaksiyondan dolayı oluştuğunu bildirmiştir [25].

Daha sonra, 1910 yılında, Sohngen, Omelianski'nin bulgularını yayınlamıştır. Ayrıca, kompleks materyallerin fermantasyonunun, hidrojen, karbon dioksit ve asetik asit oluşturmak için oksidasyon-redüksiyon reaksiyonları yoluyla meydana geldiğini

de bildirmiştir. Hidrojenin daha sonra metan oluşturmak için karbondioksit ile reaksiyona girdiğini göstermiştir. Ayrıca dekarboksilasyon yoluyla asetik asitin metan oluşturduğunu varsaymıştır. Bu varsayım, on yıllardır oldukça tartışmalı bir konu olarak kalmaya devam etmiştir ancak şu anda esas olarak doğru olduğu bilinmektedir [25].

İkinci dünya savaşına kadar biyogaz kullanımı çok hızlı ilerlemiştir ve daha verimli sistemler, örneğin yüzen-gaz toplayıcılar, verimli fermantör karıştırıcıları ve fermantasyon verimini arttırmak için ısıtma sistemleri geliştirilmeye başlanmıştır. Avrupa'da, aralıklı dikey vidalı konveyörler ile çalkalanan son derece teknik küresel çürütücüler tercih edilmiştir. Amerika Birleşik Devletleri'nde, basit silindirik tanklar, altı yüzen, sürekli olarak sirkülasyon ve karıştırma yapan üst kısımda tüm boruları toplayan sistemler kullanılmıştır [23].

1955 civarında biyogazın önemi, petrolün fazlalığı nedeniyle biyogazın artık karlı olmadığı için önemli ölçüde azalmıştır. Petrol fiyatı çok düşüktür. 1970 yılında petrol krizi kaynaklı biyogaz talebi artmıştır. Tesis sayısı Bavyera'da 15'e, Baden-Württemberg'de 10'a kadar çıkmıştır. Daha sonra, 1990'larda biyogaz teknolojisi iki nedenden dolayı teşvik edilmiştir:

1. Biyogazdan elde edilen gücü kullanmanın karlılığı,
2. 1994 yılında uygulanan geri dönüşüm yönetimi ve atık önleme ve yönetim yasası ile katı atıkların bertarafı için daha yüksek maliyetler ortaya çıkmasıdır.

2000 yılında, biyogaz tesisleri tarafından sağlanan gücün sübvansiyonu için kuralları belirten “Yenilenebilir Enerjiler” yasası yürürlüğe girmiştir. Geçtiğimiz birkaç yılda, özellikle daha yüksek sübvansiyonlar uygulandıktan sonra biyogaz tesislerinin sayısı sürekli artmaktadır [23].

Çizelge 2.1. Biyogazın global kullanımı [26].

<i>Kullanım / Uygulama</i>	<i>Ülke / Bölge</i>	<i>Sorunlar</i>
<p>Yerel ve ulusal enerji ağına girmek için doğal gazın dönüşümü.</p> <p>Daha sonra ısı ve elektrik üretimi için kullanılır.</p> <p>Yerel yönetim ofisleri burada önemli son kullanıcılarıdır</p>	Avrupa, İskandinavya, ABD	<p>Aşağı doğru hareket etmekle birlikte, doğal gazın dönüşüm maliyeti hala nispeten yüksektir. Bununla birlikte, biyogazın üretim maliyeti, doğal gazın üretiminden daha yüksektir.</p> <p>Metre küp başına ortalama 8 sent (ABD). Petrol fiyatı yükselmeye devam ederse bu değişebilir.</p>
<p>Isı veya elektrik üretmek için içten yanmalı motorlarda yakılır.</p> <p>Büyük motor, daha yüksek elektrik dönüşüm verimliliği.</p> <p>Hamur ve kağıt üreticileri özellikle çok kullanırlar.</p>	<p>İskandinavya da dahil olmak üzere Avrupa. ABD'de yükselen kullanım.</p> <p>Asya ve Latin Amerika'da motorlar, genellikle küçük ölçekli birimler olsalar da, endüstride giderek daha fazla kullanılıyorlar.</p>	<p>Dönüşüm verimlilikleri, daha küçük motorlar için nispeten düşüktür (% 25'in altında) ve bu da toplam maliyete önemli ölçüde etkide bulunur.</p>
<p>Ev ısıtma ve pişirme, biyokütle yakma (yakacak odun / yığın odun).</p>	<p>Kuzey Amerika, özellikle kırsal alanlarda;</p> <p>Batı Avrupa'daki daha soğuk ülkeler ve Doğu Avrupa</p>	<p>Artan yakacak odun kıtlığı sebebiyle birçok yerli soba ve fırın alternatif yakıtlara veya hammaddelere geçmektedir.</p> <p>Bunlar, her ikisi de düşük egzoz dumanı ve sıcaklıkları yayan, pelet ve mısır içerir.</p>
<p>Elektrik üreten gaz ve buhar türbinlerini çalıştırmak için yakıt olarak kullanılmaktadır.</p> <p>Verimlilik seviyeleri, daha büyük (800 kW'dan büyük) ünitelerde %75'e kadar çıkabilir.</p>	<p>İskandinavya da dahil olmak üzere, Avrupa'da sanayi sektörlerinde artan kullanım.</p> <p>ABD'de yavaş bir hızda olsa da bazı destekler vardır.</p>	<p>Verimliliklerin içten yanmalı motor tabanlı sistemlerde daha düşük olduğu küçük ölçekli (800kW'dan az) türbinler için ekonomik değildir.</p>
<p>Yerel otobüs ve kamyon filolarına güç sağlamak için yakıt olarak.Egzoz dumanı ve azot oksit emisyonları dizelden daha düşüktür.</p>	Avrupa, İskandinavya ve ABD'de belediye otobüsü ve kamyon filoları.	CNG ile ortak olarak, mevcut haliyle biyogaz yakıtı, dizel veya benzinle çalışan araçlardan çok daha sınırlı bir sürüş aralığı sağlar.

Çizelge 2.1 (devam ediyor).

<p>Biyogaz da sıkıştırılmış doğal gaz (CNG) dolmuş istasyonlarına kolayca dahil edilebilir.</p>	<p>Hindistan ve Çin'deki büyük şehirlerde deneysel projeler var.</p>	<p>Buna ek olarak, çoğu ülkede benzin istasyonlarında biyogazın bulunması azdır.</p> <p>Almanya ve İsveç istisnalardır. İsveç merkezli Svensk Biogas, 2007'nin başlarında kamuoyundan biri olarak, "bölgesel olarak yakıt ikmali yapan istasyonlar kurarak biyogaz pazarını bir araç yakıtı olarak geliştirmek ve genişletmek" olduğunu açıkladı.</p>
<p>Yakıt hücrelerinde yakıt olarak. Araştırma, yakıt hücrelerini hidrojen yerine biyogazla güçlendirmeye devam ediyor, yaygın olarak daha pahalı ve kullanımı zor ve depolanmış olarak kabul ediliyor.</p> <p>Uygulamanın nihai amacı, hücrelerin çıkışını elektrik şebekelerine bağlamaktır. Teoride, en azından, bu yüksek hacimli bir uygulama haline gelebilir.</p>	<p>Bu uygulamadaki çoğu araştırma İskandinavya'da gerçekleşiyor.</p>	<p>Araştırma, yüksek maliyeti nedeniyle yavaş yavaş ilerlemektedir.</p> <p>Bununla birlikte, ABD'deki bazı üniversiteler ve yatırım fonları, son zamanlarda araştırmaya katılmaya ilgi duyduklarını ifade etmişlerdir.</p>
<p>Elektrik şebekelerine bağlı olmayan alanlarda kırsal elektrikleştirme: soğutma, aydınlatma, pişirme ve ısıtma amaçlı (evsel ve ticari).</p>	<p>Asya, özellikle Hindistan, Çin ve Bangladeş'te en gelişmiş olmasına rağmen, tüm gelişmekte olan ülkeler bir ölçüde.</p> <p>Meksika ve Brezilya'da kullanım hızla artıyor.</p> <p>Afrika ülkeleri arasında, biyogaz üretiminden artı kalan bulamaçtan yüksek kaliteli gübre eldesi nedeniyle büyük ölçüde ilgi artmaktadır.</p>	<p>Daha küçük ölçekli biyogaz üniteleri kurmak ve yönetmek gelişmekte olan ülkelere bağımsız çiftçiler için pahalıdır.</p> <p>Sonuç olarak, topluluk düzeyinde tesisler çoğu durumda özel / kamu kooperatifleri olarak faaliyet göstermektedir. Finansman sıklıkla yurt dışından gelir.</p>

Türkiye’de biyogaz üretimi ile ilgili ilk çalışmalar 1957 yılında Toprak ve Su Araştırma Enstitüsünde başlamıştır. 1960’larda bazı çalışmalar yapılarak Devlet Üretme Çiftliklerinde pilot tesisler kurulmuştur. Bunun sonucu olarak Tarım Bakanlığına bağlı olarak 1963 yılında başlatılan çalışmalarda 5 tanesi Eskişehir Toprak Su Araştırma Enstitüsünde, 2 tanesi Eskişehir’in köylerinde biri de Çorum deneme istasyonunda olmak üzere toplam 8 adet biyogaz tesisi kurulmuştur. Bu tesislerin bir kısmından verimli bir kısmından verimsiz sonuçlar alınmıştır. Buna rağmen yönetimlerin biyogaz üretimine sıcak bakmamaları, teknik eleman bulunmaması, çiftçilerin yeterince eğitilmemesi gibi nedenlerden dolayı çalışmalara son verilmiştir. Ancak 1980 sonrasında UNICEF’in hem finansal hem de teknik bilgi yönünden desteklediği biyogaz üretim çalışmaları Devlet Planlama Teşkilatı (DPT) tarafından başlatılmıştır. İlk çalışmalar Muş-Alparslan Devlet Üretme Çiftliğinde 35 m³ lük bir tesis kurularak başlamıştır. 1982 yılında konuyla ilgili sorumluluk Toprak Su Araştırma Enstitüsüne verilmiş ve devletin köylülere sağladığı krediyle 6, 8, 12 ve 50 m³ lük olmak üzere toplam 1000’e yakın biyogaz tesisi kurulmuştur. 2000’li yıllarda ise biyogaz üretimi çalışmalarına özellikle üniversitelerin önderlik ettiği araştırma projeleri olmuştur [27,28].

Türkiye, sadece hayvan atıkları ile çalışabilecek, 2.000 adet biyogaz tesisi kapasitesine sahiptir. Fakat, şu anda ülkede 36’sı çalışmakta olan toplam 85 biyogaz tesisi bulunmaktadır. Çoğu biyogaz tesisi belediye veya sanayi bünyesi içerisinde (çöp gazı veya atıksu arıtma tesisi) ve genellikle Türkiye’nin batısında konumlanmıştır (özellikle İstanbul, Kocaeli). Tarım sektörü içerisinde var olan tesislerin sayısını tam olarak tespit etmek ne yazık ki mümkün olamamıştır [29].

Yenilenebilir Enerji Kanun No. 5346, yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretimi amacıyla kullanımı 10 Mayıs 2005 tarihinde kabul edilmiştir. Kanunun ana amaçları, yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretme amacıyla kullanılması (ısı üretimi dahil değil) dahil enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi, sera gazı emisyon oranlarının düşürülmesi, atık ürünlere dair araştırmaları, çevrenin korunmasını ve amaçların gerçekleştirilmesi için gerekli sektörün geliştirilmesini oluşturmaktadır [29].

5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına Dair Kanununun (Yenilenebilir Enerji Kanunu, YEK) 2005 yılında yürürlüğe girmesi ile birlikte yenilenebilir enerji alanında ivme yakalanmıştır. Fakat ikincil mevzuatın yokluğu ile nispeten düşük sabit fiyat garantisi düzeyleri neticesinde 2005-2010 yılları arasında yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırım sınırlı kalmıştır. Bununla birlikte, Aralık 2010'da YEK' te yapılan değişikliklerle bazı kaynaklar için daha yüksek sabit fiyat garantisi ve parasal/parasal olmayan teşvikler getirilerek, Yenilenebilir Enerji piyasasının hareketlendiği görülmektedir. Özellikle sabit fiyat garantilerinin revize edilmesinin ardından yerli ve yabancı yatırımcıların çevre dostu enerji kaynaklarına olan ilgisi bir hayli artmıştır [30].

Enerji Vizyon 2023 Türkiye Projesi dahilinde enerjiye yönelik bazı öncelikler belirlenmiştir ve bu öncelikler arasından biyogaz ile ilgili olanlar aşağıda sıralandığı şekildedir:

1. Tohum iyileştirme ve enerji bitkilerinin geliştirilmesi,
2. Biyokütle enerji teknolojileri üzerine araştırma yapılması,
3. Biyogaz sistemleri için kırsal ve kentsel uygulamalar geliştirilmesi,
4. Biyokütle gazlaştırma ve gaz temizleme sistemleri üzerine araştırma yapılması,
5. Atıklardan enerji elde etme ve atık yönetimi oluşturulması [29].

2.2. BİYOGAZ VE ANAEROBİK FERMANTASYON

Organik madde, gıda, bitki döküntüleri, hayvan gübresi, kanalizasyon çamuru, kentsel katı atıkların biyolojik olarak parçalanabilen kısımları, serbest oksijen yokluğunda ayrışmaya uğradığında, normal olarak %40-70 metandan gerisi çoğunlukla karbondioksit ve diğer gazların izlerinden oluşan bir gaz üretir. Ateşlendiğinde bu gaz sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) veya sıkıştırılmış doğal gaza (CNG) benzer şekilde temiz bir şekilde yanar, yani is yapmaz veya kötü koku vermez. Bu gaz genellikle "biyogaz" olarak adlandırılır ve bu da tam olmayan ve kesin olmayan bir terimdir çünkü aerobik ayrışım (karbondioksit) ile üretilen gaz

aynı zamanda diğer biyogazın olduğu gibi biyo-bozunmanın bir sonucu olduğu için “biyogaz”dır. Ancak “biyogaz” kelimesi, organik maddenin anaerobik ayrışmasıyla oluşan yanıcı CH₄ - CO₂ karışımını (diğer gazların izlerinin yanı sıra) göstermek için kullanılmıştır. Biyogaz, LPG ve CNG'den daha az olsa da iyi bir kalorifik değere sahiptir (Çizelge 2.2).

Çizelge 2.2. Çeşitli yakıtların kalorifik değerlerinin karşılaştırılması [24].

<i>Yakıt</i>	<i>Kalorifik değeri (yaklaşık)</i>
Doğal gaz	8,600 kcal m ⁻³
Sıvılaştırılmış Petrol Gazı	10,800 kcal kg ⁻¹
Gaz yağı	10,300 kcal kg ⁻¹
Dizel	10,700 kcal kg ⁻¹
Biyogaz	5,000 kcal m ⁻³

Biyogaz, biyogenik maddelerden, aslında her türlü biyokütleden, anaerobik koşullar altında doğal olarak oluşur. Bu doğal olarak oluşan biyogazın ana bileşeni olan metan, atmosfere salınmasıyla küresel ısınmaya önemli bir etkide bulunur. Geçtiğimiz yüzyılda, metan enerji üretimi, ısıtma ve ulaşım amaçlı en çok kullanılan yakıtlardan biri haline gelmiştir. Günümüzde toplumda kullanılan metanların büyük çoğunluğu bugün doğal gaz formunda iken, çürüyen biyokütleden oluşan metanı yakalamada hızla artan ilgi vardır. Bu tabii ki tabiattaki tüm doğal kaynaklardan salınan metanı yakalamak anlamına gelmez. Bu biyogaz sürecinin tamamen içerildiği, kontrol ve optimize edildiği, yenilenebilir, çevreye duyarlı, gaz biyoyakıt üretmek için doğanın potansiyelinden yararlanan ticari olarak uygun bir sanayi kurulabilmesi anlamına gelir [31].

Biyogaz, organik maddelerin anaerobik fermantasyonu yoluyla üretilir ve tipik olarak %55-70 CH₄ (ancak bu daha yüksek olabilir), %30-45 CO₂ ve bazı küçük bileşenlerden (örn. hidrojen sülfür ve su) oluşmaktadır. Hayvan dışkıları, çimen ve mısır gibi tarımsal atıklar, mezbaaha atıkları, endüstriyel atıklar, kentsel katı atıkların organik kısmı ve kanalizasyon çamuru gibi atıklar anaerobik sindirime uygundur. Biyogaz bileşimi, beslenen atık cinsine göre değişiklik gösterir. Örneğin çimen atıklarından elde edilen biyogaz yaklaşık %55 oranında metan (CH₄) içerirken, tavuk

dışkısından elde edilen biyogaz %60-80 oranında metan (CH₄) içermektedir. Anaerobik fermantasyon sürecinin sonunda kalan sindirilmiş organik madde, bulamaç olarak bilinir ve geleneksel imal edilmiş gübre yerine kullanılabilir [32].

Çizelge 2.3. Biyogazın genel özellikleri [23].

Bileşim	%55 -70 Metan (CH₄) %30 - 45 oranında Karbondioksit (CO₂) Diğer gazların izleri
Enerji içeriği	6.0 - 6.5 kWh m ⁻³
Yakıt eşdeğeri	0,60 - 0,65 L gaz yağı / m ³
Patlama sınırı	% 6 - 12 biyogaz havada
Ateşleme sıcaklığı	650 - 750 °C (yukarıda belirtilen metan içeriği ile)
Kritik basınç	75 - 89 bar
Kritik sıcaklık	- 82.5 ° C
Normal yoğunluk	1,2 kg m ⁻³
Koku	Çürük yumurta kokusu (kükürttten arındırılmış biyogaz kokusu zor fark edilebilir.)
Molar Kütle	16.043 kg kmol ⁻¹

Çizelge 2.4. Metanın genel özellikleri [23].

	Sıcaklık	Basınç [bar]	Yoğunluk [kg L⁻¹]
Kritik nokta	-82.59 °C (190.56° K)	45.98	0.162
Kaynama noktası 1.013 bar	-161.52°C (111.63 K)	-	0.4226
Üçlü nokta	- 182.47 °C (90.68 K)	0.117	-

Çizelge 2.5. Biyogazda tipik bileşenler ve kirleticiler [23].

Bileşen	İçerik	Etkisi
CO₂	Hacimce %25-50	Kalorifik değeri düşürür. Motorların vuruş özelliklerini ve metan sayısını artırır. Korozyona neden olur. (Düşük konsantre karbon asit) Alkali yakıt hücrelerine zarar verir

Çizelge 2.5 (devam ediyor).

H₂S	Hacimce %0-0.5	Ekipman ve boru sistemlerinde korozif etki (stres korozyon); Bu nedenle birçok motor üreticisi, hacimce % 0.05'lik bir üst limit belirledi. Brülör sonrası SO ₂ emisyonları veya yetersiz yanma ile H ₂ S emisyonları - üst limit hacimce %0,1 olarak belirlendi. Katolizörleri bozar.
NH₃	Hacimce %0-0.05	Brülörlerin yakıt hücrelerine zarar vermesinden sonra NO _x emisyonları oluşur.
Su buharı	Hacimce %1-5	Ekipman ve boru sistemlerinin korozyonuna neden olur. Kondensatlar ekipman ve tesise zarar verir. Boru sistemlerinin ve nozulların donma riski vardır.
Toz	> 5 µ m	Nozulları ve yakıt hücrelerini engeller
N₂	Hacimce %0-5	Kalorifik değeri düşürür. Motorların vuruntu karşıtı özelliklerini artırır.
Silaksonlar	0 – 50 mg m ⁻³	Aşındırıcıdır ve motorlar hasar verir.

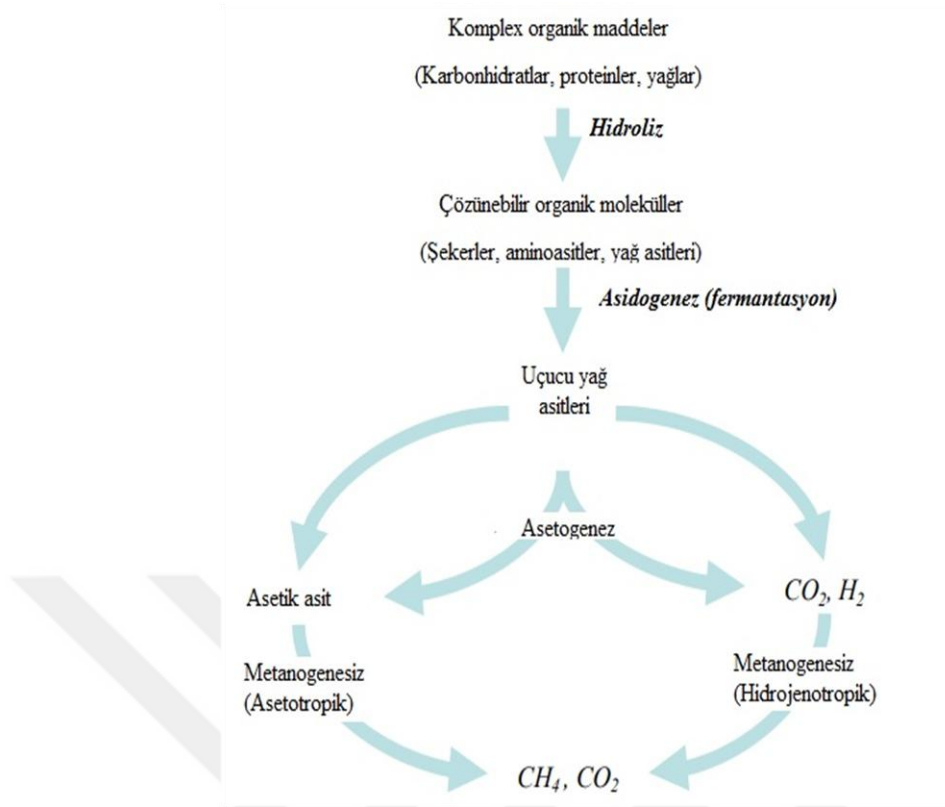
Anaerobik sindirim, %30'un altındaki (ideal olarak %5-12.5 aralığında) kuru madde içeriğine sahip atıklardan, gübre, atık çamuru, gıda ve diğer organik yaş atıklar gibi atıklardan enerji üretmenin en etkili yoludur. Anaerobik fermantasyon teknolojisi, metan ve karbondioksit üretmek için reaktöre beslenen yaş organik atıkların anaerobik fermantasyonunu içerir, elde edilen metan, ısıtma, elektrik üretimi veya bir taşıt yakıtı olarak kullanılır. Yaklaşık %30 veya daha fazla kuru madde içeriği için, kuru anaerobik fermantasyon yöntemleri şu anda ticarileştirilmektedir. Almanya, biyokütle bitkilerini hammadde karışımının bir parçası olarak kullanmaktadır. Anaerobik sindirim, bakterilerin organik maddeyi oksijensiz koşullarda fermente ettiği ısıtılmış, kapalı bir kaptaki (fermantör) gerçekleşir. Fermantör için ısıtma, metanla çalışan bir kazandan veya gaz motoru sisteminden geri kazanılan ısıdan elde edilir. Fermantör tankının sıcaklığı, beslenen atığın tipik olarak 15-30 gün boyunca fermantörde kaldığı mezofilik sıcaklık aralığına (30-35°C) veya bekletme süresinin genellikle 12-15 gün olduğu termofilik aralığa (55-65°C) yükseltilebilir. Termofilik fermantasyon sistemleri daha yüksek metan üretimi sağlar ancak daha pahalı teknoloji, daha fazla enerji girişi ve daha yüksek bir işletme ve izleme gereksinimi getirir. Tipik olarak, besleme yapılan biyokütle katılarının kütlelerinin yaklaşık %30-60'ı biyogaz (metan ve karbon dioksit) haline dönüştürülür, daha yüksek dönüşüm

oranları daha uzun kalma sürelerine dayanır. Ayrışmanın ilk aşaması enzimik hidrolizdir; karbonhidratlar şekere, proteinlere amino asitlere ve lipitlere yağ asitlerine ayrılır. Metanojenik bakteriler, anaerobik sindirimin ana yararlı enerjiyi ürettikleri için metan üretmek için uçucu yağ asitleri, hidrojen ve CO₂'yi kullanır [33].

Anaerobik fermantasyon, serbest oksijenin yokluğunda organik atıkların bakteriyel fermentasyonunu içerir. Fermantasyon Şekil 2.1'de olduğu üzere, dört aşamalı bir işlemde karmaşık biyobozunur organiklerin parçalanmasına yol açar.

1. Büyük protein makromolekülleri, yağlar ve karbonhidrat polimerler (selüloz ve nişasta gibi) hidroliz yoluyla amino asitlere, uzun zincirli yağ asitlerine ve şekere ayrılır.
2. Bu ürünler daha sonra asidojeniz sırasında fermente edilir, esas olarak laktik, propiyonik, bütirik ve valerik asit gibi uçucu yağ asitleri oluşturur.
3. Asetojenezde bakteri bu fermantasyon ürünlerini tüketir ve asetik asit, karbondioksit ve hidrojen üretir.
4. Metanojenik organizmalar, metan üretmek için asetat, hidrojen ve bazı karbondioksiti tüketir. Bunu başarmak için metanojen bakteriler tarafından üç biyokimyasal yol kullanılır:

1. asetotropik yol ($4\text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow 4\text{CO}_2 + 4\text{CH}_4$),
2. hidrojenotropik yol ($\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$),
3. metilotropik yol ($4\text{CH}_3\text{OH} + 6\text{H}_2 \rightarrow 3\text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$) [34].



Şekil 2.1. Anaerobik fermentasyon biyokimyasal dönüşüm yolları

Anaerobik fermentasyonun faydaları aşağıda listelenmiştir;

1. Doğal, bol miktarda bulunan atık kaynaklarını kullanır.
2. Aerobik kompostlama veya çöp bertarafından çok daha az toprak gerektirir.
3. Depolama alanına gitmesi gereken atık miktarını ve ağırlığını azaltır.
4. Net enerji üreten bir süreçtir.
5. Ürettiği yenilenebilir yakıt, yüksek kalitededir ve birçok uygulamada başarıyla kullanılmaktadır.
6. Patojenleri yok eder ve fosil yakıtların yerini alır.
7. Karbondioksit ve metan (güçlü sera gazı) emisyonlarını büyük ölçüde azaltır.
8. Kötü kokuları büyük ölçüde ortadan kaldırır.
9. Temizlenmiş bir kompost ve besin açısından zengin bir sıvı gübre üretebilir.
10. Çoğu malzemenin geri dönüşüm potansiyelini maksimuma çıkarır.
11. Yaşam döngüsü açısından, diğer arıtma süreçlerinden çok daha uygun maliyetlidir [26].

Tüm biyoteknolojik süreçlerle ortak olarak, anaerobik fermantasyon sürecinin bazı dezavantajları vardır. En ciddi olanı, odunun önemli bir bileşeni olan lignini indirgememesidir. Bunun nedeni büyük olasılıkla anaerobik bakterilerin oksijenin kendisinden bile daha erken çıkmasıdır, bu da henüz gelişmemiş olan odunsu bitkilere uyum sağlama fırsatı verilmedikleri anlamına gelir. Buna rağmen, üreticiler ve araştırmacılar, su ürünleri, deniz bitkileri ve odunsu biyokütle gibi mahsullerini, anaerobik fermantasyon hammaddesi olarak başarıyla kullanmışlardır. Anaerobik fermantasyon süreci ayrıca, anaerobik bakterilerin daha az geliştiği veya hiç gelişmediği düşük sıcaklıklı ortamlarda daha az işlev görür. Daha sıcak, tropikal iklimlerde, aksine, süreç daha az problemle karşı karşıyadır. Sonuç olarak, daha soğuk iklimlerde bulunan üreticilerin reaktörleri ısıtması gerekmektedir. Bir reaktör içindeki sıcaklık 20°C'nin altına düştüğünde, biyogaz üretimi yavaşlar ve donma noktasına ulaştığında fermantasyon meydana gelmez [26].

2.3. BİYOGAZ ÜRETİMİNDE HAMMADDE KAYNAKLARI

Tarihsel olarak, anaerobik sindirim, hayvan gübresi ve bulamaçların arıtılması ve atık su arıtma tesislerindeki atık çamurunun stabilizasyonu ile ilgilidir. 1970'lerde, sanayi ve kentsel atıklardan organik olanları biyogaz kaynağı olarak tanıtmıştır. Bu durum, artan çevresel yönetim bilincinin ve yeterli atık yönetimi stratejilerine olan talebin yüksek olmasından kaynaklanmaktaydı ve yüksek oranlı reaktör konfigürasyonlarının ve karmaşık proses kontrol tekniklerinin geliştirilmesi sayesinde mümkün olmuştur [35].

Biyogaz için hammadde olarak kullanılmak üzere özel olarak tahsis edilen mısır, çimenler, tahıllar, pancarlar, patatesler ve ayçiçeği gibi ekinlerin yetiştirilmesi, 1990'larda Almanya ve Avusturya gibi ülkelerde geliştirildi, ancak bu fikir çok daha eskiydi ve çeşitli ürünlerin metan potansiyeli 1930'larda Buswell tarafından araştırıldı [36]. Bazı organik atıkların biyogaz ve metan verim değerleri Çizelge 2.6'da verilmiştir.

Çizelge 2.6. Çeşitli biyogaz hammaddelerinin biyogaz ve metan verimleri [37].

<i>Hammadde</i>	<i>Metan Verimi</i> (%)	<i>Biyogaz Verimi</i> (m ³ /ton)
Sıvı Sığır Gübresi	60	25
Sıvı Domuz Gübresi	65	28
Sığır Gübresi	60	45
Domuz Gübresi	60	60
Patates Kabuğu Atıkları	-	74
Kümes Hayvanları Gübresi	60	80
Pancar	53	88
Organik Atık	61	100
Tatlı Sorgum	54	108
Yem Pancarları	51	111
Ot Silajı	54	172
Mısır Silajı	52	202
Buğday Samanı	50-60	200-300
Çavdar Samanı	59	200-300
Dökülmüş Ağaç Yaprakları	58	210-290
Mezbaha Atıkları	Değişken	250
Arpa Samanı	59	290-310
Keten	59	360
Kenevir	59	360
Yer Fıstığı Kabuğu	-	365
Alg	63	420-500
Atık Su Çamuru	65-80	310-800

2.3.1. Tarımsal Biyogaz Hammaddeleri

Biyogaz için kullanılan hammadde substratları öncelikle biyogaz besleme stokları için en büyük potansiyeli olan tarım sektöründen elde edilmektedir [35]

2.3.1.1. Hayvan gübresi ve atıkları

Hayvancılık, çoğu ülkede tarım sektörünün önemli bir parçasıdır ve dünya çapında sera gazı emisyonlarının % 18'ini oluşturmaktadır [31]. Bu emisyonların çoğu, dünya genelinde üretildiği tahmin edilen yılda 13 milyar ton hayvan gübresi ve bulamaçtan kaynaklanmaktadır [38].

Geçmişteki uygulamalar, gübrenin tarım arazisi üzerinde herhangi bir sınırlama olmaksızın yayılmasına izin vermiştir, ancak şimdi, birçok ülkede giderek daha fazla sınırlayıcı çevre mevzuatı, anaerobik fermantasyon gibi gübre arıtım ve yönetim teknolojileri gerektirmektedir. ABD'de anaerobik fermantasyonu "hayvan gübresinden yenilenebilir enerji sağlayan, su kirliliğinden ve hava kirliliğinden kaçınmak gibi çeşitli faydalar sağlayabilen eşsiz bir tedavi çözümü" olarak kabul edilmiştir [39].

Anaerobik fermantasyon çevre kirliliğine neden olan hayvan gübresi ve bulamaç atıklarını biyogaz (yenilenebilir yakıt olarak) ve değerli biyo-gübreleyici olarak kullanılan değerli kaynaklara yükseltmektedir. Çeşitli hayvanlardan (domuzlar, sığırlar, kümes hayvanları, atlar, vizon ve diğerleri) elde edilen gübre ve bulamaçlar biyogaz üretimi için ham madde olarak kullanılabilir. Bunlar farklı kuru madde içerikleriyle karakterize edilir: katı çiftlik gübresi (%10-30 kuru madde) veya sıvı bulamaç (%10 kuru maddenin altında). Bileşimleri ayrıca, menşe türüne ve hayvan yeminin kalitesine göre farklılık gösterir. Basitlik için, genel olarak "hayvan gübresi" terimi kullanılır. Hayvan gübresi, anaerobik fermantasyon için mükemmel bir hammadde substratıdır; Karbon nitrojen (C: N) oranı yaklaşık 25: 1'dir ve anaerobik mikroorganizmaların büyümesi için gerekli olan çeşitli besinler açısından zengindir. Anaerobik reaktör sisteminde önemli bir pH azalması durumunda fermantasyon sürecini stabilize edebilen yüksek bir tampon kapasitesine sahiptir, doğal anaerobik mikroorganizmaların içeriğine sahiptir, yüksek erişilebilir ve ucuzdur [31].

2.3.1.2. Bitkisel atıklar

Bitki kalıntıları kategorisinde çeşitli bitkisel tarım yan ürünleri ve hasat artıkları, bitkiler ve bitki parçaları, düşük kaliteli veya bozulmuş mahsuller, meyveler ve sebzeler ve bozulmuş yem silajı bulunur. Bitki artıkları genellikle hayvan gübrelere ve diğer hammadde tipleri ile birlikte yardımcı maddeler olarak sindirilir. Çoğunun bir sindiriciye beslenmeden önce ön işlem görmesi gerekir. Ön işlemler, anaerobik mikroorganizmaların bu yapılara erişimini kolaylaştırmak için ligno-selülozik moleküllerin kırılmasını hedefleyen daha karmaşık işlemlere kadar basit mekanik parçacık boyut küçültme işlemine kadar uzanmaktadır. 1 cm'lik bir partikül büyüklüğü, diğer ham madde türleri ile uygun kullanım ve karıştırma sağlar ve iyi bir sindirim sağlar [40].

2.3.1.3. Enerji bitkileri

Enerji üretimi için özel olarak ayrılmış ürün yetiştiriciliği, 1990'larda Almanya ve Avusturya gibi ülkelerde geliştirilmiştir ancak Buswell, 1930'larda olduğu gibi çeşitli ürünlerin metan potansiyelini araştırmıştır [36]. Orta Avrupa'da bazı yeni tanıtilen enerji ürünleri arasında Silifony Perfoliatum, Sorghum Bicolor, Sorghum Sudanese ve Helianthus Tuberosus bulunmaktadır. Farklı bitki türleri ile karışık kırma işlemi de düşünülmüştür. Yüksek oranda lignin içeren biyokütle, anaerobik mikroorganizmalar tarafından etkili bir şekilde ayrıştırılamadığından, odunsu ürünler halen anaerobik fermantasyon için kullanılmamaktadır. Devam eden araştırmalar şu anda biyogaz üretimi için hammadde olarak odunsu biyo-kütlenin verimli kullanımı için ayrıştırma ön-işlemleri ve teknolojilerine odaklanmaktadır [37].

2.3.2 Endüstriyel Biyogaz Hammaddeleri

Tarımsal hammaddeleri işleyen endüstriyel faaliyetlerle önemli miktarda yan ürün, kalıntı ve atık üretilmektedir. Bu endüstriler arasında yiyecek ve içecek, yem, balık işleme, süt, nişasta, şeker, ilaç, biyokimyasal ve kozmetik, küspe, kâğıt ve mezbahalar bulunmaktadır. Bu endüstrilerden elde edilen atıklar çeşitlidir ve kökenlerine göre çeşitli metan potansiyelleri, kuru madde içerikleri, yapıları ve

bileşimlerine sahiptir. Çoğunlukla yaygın olanları homojen, kolay sindirilebilir ve lipit, protein veya şeker bakımından zengin olmalarıdır [31].

Birçok endüstriyel atık, hayvan gübresi ile birlikte kofermantasyon işlemine tabii tutulmaktadır ve elde edilen bulamaç gübre olarak kullanılmaktadır. Hayvan gübresi ve endüstriyel atıkların birlikte sindirimi metan üretimini artırır, çünkü çoğu organik atık türünün metan verimi hayvan gübresininkinden çok daha yüksektir, bu da çoğu kez metre küp hammadde başına 30–500 m³ metan aralığındadır [41].

2.3.3. Kentsel Atıklar

2.3.3.1. Kaynağında ayrılmış organik atıklar

Kaynağında ayrılmış organik atık, ayrı olarak toplanan gıda atıkları, bahçe atıkları ve diğer benzer organik atıklar gibi evsel atıkların organik fraksiyonunu ifade eder. Artan kentleşme ve tüketim modelleri, gerekli atık yönetimini önemli ve zorunlu kılmaktadır. Kaynağında ayırma yöntemi, anaerobik fermantasyon hammaddesi olarak kullanılmak üzere temiz ve yüksek kaliteli malzemeler sağlayabilen ve aynı zamanda organik maddelerin kullanılmadan çöp atık depolama ve yakma işlemlerine gitmesini azaltan bir çözümdür [42].

Ayrı olarak toplanan organik ev atıkları, genellikle gübre bazlı anaerobik fermantasyon tesislerinde hayvan gübresi ve bulamaçlarla birlikte sindirilir. Toplumda artan miktarda evsel atık oluşması, çok yüksek bir anaerobik fermantasyon potansiyelini göstermektedir. Evsel atıkların biyogaz için bir hammadde olarak kullanılması arazi kullanımı için sorun oluşturmaz ve olumsuz sürdürülebilirlik etkileri yoktur [43].

Anaerobik fermantasyon hammaddesi olarak geri dönüşüme uygun olması için, organik ev atıkları yüksek saflığa sahip olmalıdır. Yabancı maddelerin varlığından dolayı düşük saflıkta atığın, biyogaz tesisinde teknik arızalarına neden olabileceğini, kirletici bir kaynak olabileceğini ve gübre olarak bulamacın kullanımı üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olabileceğini belirtilmiştir [40].

Organik ev atıkları yüksek bir biyobozunurluğa ve metan verimine sahiptir. Besin içeriği iyi dengelenmiş ve anaerobik mikroorganizmaların metabolizması için elverişlidir [44].

2.3.3.2. Atık su çamuru

Belediye atıksularının aerobik arıtılmasından kaynaklanan birincil ve ikincil çamurun arıtılmasında kullanılan anaerobik sindirim, dünya çapında standart bir teknolojidir. Bu teknoloji, binlerce atık su arıtma tesisinin modern arıtma sistemlerinin bir parçası olarak kullanılmaktadır. Kanalizasyon çamuru, hayvan çamurlarına benzer bir metan potansiyeline sahiptir (birincil çamur, atık aktif çamurdan daha yüksek bir metan potansiyeline sahiptir). Metan verimini arttırmak, bakteri biyokütlesinin parçalanmasını sağlamak ve organik maddelerin, örneğin mekanik parçalanma, kimyasal hidrolizler, termal hidrolizler ve enzimatik bozulma gibi sonraki anaerobik bozunmaya kolayca erişilebilmesi için çeşitli ön işlemler uygulanabilir [45].

Biyogaz hammaddesi olarak kanalizasyon çamuru kullanımı için sınırlayıcı faktör, kirletici maddelerin yüksek içeriği ve gübre olarak kullanılan bulamaçta daha sonraki varlıklarıyla ilgili risklerdir. Kökeni nedeniyle kanalizasyon çamuru önemli miktarda biyolojik ve kimyasal kirletici içerir. Atık su çamurunun anaerobik sindirim için hammadde olarak kullanılması nedeniyle atık ürünlerin gübre olarak kullanılması için, ulusal mevzuat ve kalite standartları ile düzenlenmektedir. Arıtılmış kanalizasyon çamurunun gübre veya diğer tarımsal amaçlı kullanımının yasaklandığı, diğer ülkelerde ise bir gübre olarak kullanımının ağır metal ve kalıcı organik kirletici maddelerin konsantrasyonlarının sınır değerlerinin yanı sıra, patojenlerin ve diğer biyolojik vektörlerin etkisiz hale getirilmesi için gerekli olan sağlık gerekliliklerinin katı kurallar tarafından kontrol edildiği ülkeler vardır [46].

Kanalizasyon çamuru genellikle biyogaz verimini ve proses stabilitesini geliştiren sanayi ve evsel atıklardan gelen gübre ve/veya organik atıklarla birlikte kofermantasyon işlemine tabii tutulmaktadır [47].

2.4. BİYOGAZ ÜRETİMİNDE KULLANILAN SİSTEMLER

2.4.1. Kesikli Beslemeli (Batch) Fermantasyon Sistemi

Tesisin fermantörü (üretim tankı) hayvansal ve/veya bitkisel atıklar ile doldurulmakta ve alıkoyma, bekletme süresi kadar bekletilerek biyogazın oluşumu tamamlanmaktadır. Kullanılan organik maddeye ve sistem sıcaklığına bağlı olarak bekleme süresi değişmektedir. Bu süre sonunda tesisin fermantörü (reaktörü) tamamen boşaltılmakta ve yeniden doldurulmaktadır. Küçük operasyonel gereksinimlere sahip oldukça basit bir sistemdir. Biyogaz talebine, kullanılacak hammaddelerin miktarına ve kullanılabilirliğine bağlı olarak bir anaerobik tankta veya bir dizi tankta kurulum yapılabilir [48,49].

Kesikli beslemeli fermantasyon sistemi, kuru organik maddeler (katı bitkisel atık) için en uygun olanıdır. Bu tip biyo-atıklar, sindirime tek başına tanka beslenir. Reaktöre beslenen organik atığa ve çalışma sıcaklığına bağlı olarak kesikli beslemeli reaktörde biyogaz üretimi yavaşça başlar, zamanla artar ve 4 ila 8 hafta arasında biyogaz üretim miktarı düşer. Bu nedenle birden fazla kesikli beslemeli reaktörden oluşan sistemler, en azından bir tanesi sürekli biyogaz üreteceğinden dolayı tercih edilmektedir [48,49].

2.4.2. Beslemeli - Kesikli Fermantasyon Sistemi

Burada fermantör başlangıçta belirli oranda organik madde ile doldurulmakta ve geri kalan hacim fermantasyon süresine bölünerek günlük miktarlarla tamamlanmaktadır. Belirli fermantasyon süresi sonunda fermantör tamamen boşaltılarak yeniden doldurulmaktadır [48].

2.4.3. Sürekli Beslemeli Fermantasyon Sistemi

Bu fermantasyon biçiminde fermantörden gaz çıkışı başladığında günlük olarak besleme yapılır. Sisteme aktarılan karışım kadar gazı alınmış çökelti sistemden dışarıya alınır. Organik madde fermantöre her gün belirli miktarlarda verilmekte, alıkoyma süresi kadar bekletilmekte ve aynı oranlarda fermente olmuş materyal günlük olarak fermantörden alınmaktadır. Böylece günlük beslemelerle sürekli biyogaz üretimi sağlanmaktadır. Her bir beslemede genellikle 14-40 gün arası bir bekletme süresi gerekmektedir. Sürekli beslemeli reaktörlerde, bekletme süresi ısıtma ve karıştırma ile azaltılabilir. Bu modellerin dezavantajı, hammaddenin sulandırılmasının gerekmesidir. Sürekli beslemeli fermantasyon sistemlerinin, kesikli sistemlere göre avantajı ise tek birimden sürekli biyogaz, biyogübre sağlanması ve sürekli olarak küçük miktarlarda atıkların işlenmesine ve arıtımına imkan sağlamasıdır [48,49].

2.5. ANAEROBİK FERMANTASYONU ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Biyogaz elde etmek için bir anaerobik sindirim sürecinin başarılı bir şekilde çalıştırılmasında göz önünde bulundurulması gereken bazı hususlar aşağıda açıklanmaktadır.

2.5.1. Atık Kompozisyonu ve Uçucu Katı Maddeler

Anaerobik sindirim ile işlenen atıklar, biyo-bozunur bir organik kısım, yanıcı kısım ve bir atıl kısım içerebilir. Biyobozunur organik kısım, mutfak artıkları, yiyecek kalıntısı ve çim ve ağaç kesimlerini içerir. Yanıcı kısım, daha kalın ahşap, kağıt ve karton içeren yavaş yavaş bozunan lignoselülozik organik madde içerir. Bu lignoselülozik organik materyaller, anaerobik koşullar altında kolayca bozunmadıklarından, atıktan enerji üreten tesisler için daha uygundur. Son olarak, atıl kısım taş, cam, kum, metal gibi malzemeler içerir. Anaerobik sindirimden önce atıl kısmın uzaklaştırılması önemlidir, aksi takdirde reaktör tankının hacmini ve ekipmanın aşınmasını arttırır [50].

Organik atıklardaki uçucu katı maddeler (VS), besleme atıklarının tamamen yanmasıyla elde edilen kül içeriği hariç toplam katı madde olarak ölçülür. Uçucu katı maddeler, biyo-bozunabilir uçucu katıları (BVS) kısmı ve refrakter (bozunmayan) uçucu katıları (RVS) içerir. Kentsel katı atıkların biyo-bozunabilir uçucu katı madde kısmının bilgisi, atıkların biyobozunabilirliğinin, biyogaz üretiminin, organik yükleme oranının ve C/N oranının daha iyi tahmin edilmesinde yardımcı olduğunu göstermiştir. Lignin, anaerobik bakteriler tarafından kolaylıkla ayrıştırılmayan ve organik kentsel katı atıklarda bozunmayan uçucu katıları oluşturan karmaşık bir organik maddedir. Yüksek Uçucu Katı maddeler ve düşük biyobozunur olmayan madde ile karakterize edilen atık, anaerobik sindirim işleminde en uygun olanıdır. Atıkların bileşimi, hem verimi hem de biyogaz kalitesini ve aynı zamanda kompost kalitesini etkiler [51].

Anaerobik sindirimden biyogaz üretimi için çok çeşitli biyokütle türleri substrat (hammadde) olarak kullanılabilir. Avrupa biyogaz üretiminde kullanılan en yaygın biyokütle kategorileri aşağıda ve Çizelge 2.7'de listelenmiştir.

Çizelge 2.7. Avrupa biyolojik arıtmaya uygun atıklar kataloğu [37].

<i>Atık Kodu</i>	<i>Atık Tanımı</i>	<i>Detaylar</i>
02 00 00	Tarım, bahçecilik, su ürünleri yetiştiriciliği, ormancılık, avcılık ve balıkçılık, gıda hazırlama ve işleme atıkları.	Tarım, bahçecilik, su ürünleri yetiştiriciliği, ormancılık, avcılık ve balıkçılıktan kaynaklanan atıklar
		Et, balık ve diğer gıdaların hazırlanması ve işlenmesinden kaynaklanan hayvansal kökenli atık
		Meyve, sebze, tahıl, yemeklik yağ, kakao, çay ve tütün hazırlama ve işleme atıklarından: konserve üretimi;
		maya ve maya özütü üretimi, melas hazırlama ve fermantasyon
		Şeker işlenmesinden elde edilen atıklar
		Süt ürünleri endüstrisinden elde edilen atıklar
		Fırıncılık ve şekerleme endüstrisindeki atıklar
		Alkollü ve alkolsüz içeceklerin üretiminden elde edilen atıklar (kahve, çay ve kakao hariç)

Çizelge 2.7 (devam ediyor).

03 00 00	Ağaç işlenmesinden elde edilen atıklar, mobilya ve mobilya üretimi, kağıt hamuru, kağıt ve karton	Ağaç işleme ve panel üretimi atıkları.
		Kağıt hamuru, kağıt ve karton üretim ve işleme atıkları.
04 00 00	Deri, kürk ve tekstil atıkları	Deri ve kürk endüstrisinden elde edilen atıklar
		Tekstil endüstrisinden elde edilen atıklar
15 00 00	Atık paketleme; emici maddeler, silme bezleri, filtre malzemeleri ve koruyucu kıyafetler	Ambalajlama (ayrı toplanan kentsel ambalaj atıkları dahil)
19 00 00	Atık yönetim tesislerinden, tesis dışı atık su arıtma tesislerinden ve endüstriyel kullanım için insan tüketimine yönelik suyun hazırlanmasından kaynaklanan atık maddeler	Atıkların anaerobik arıtılmasından elde edilen atıklar
		Aksi belirtilmedikçe atık su arıtma tesislerinden elde edilen atıklar
		Endüstriyel kullanım veya insan tüketimi için amaçlanan suyun hazırlanmasından elde edilen atıklar
20 00 00	Ayrı olarak toplanan kısımlar dahil olmak üzere kentsel atıklar (evsel atık ve benzeri ticari, endüstriyel ve kurumsal atıklar)	Ayrı olarak toplanan fraksiyonlar
		Bahçe ve park atıkları
		Diğer kentsel atıklar

2.5.2. C / N Oranı

Organik bir malzemede bulunan karbon ve azotun nispi oranları karbon/azot (C/N) oranı cinsinden ifade edilir. 20-30 arasındaki C/N oranının anaerobik sindirim için optimum olduğu düşünülmektedir. C/N oranı çok yüksekse, azot, protein gereksinimlerini karşılamak için metanojenler tarafından hızlı bir şekilde tüketilir ve artık malzemedeki kalan karbon içeriğine tepki verecek azot mevcut değildir. Sonuç olarak biyogaz üretimi sona erer [24].

Tüm organik maddeler, hayvansal gübreler, bitkisel atıkları, kentsel atıklar, vb belirli oranda karbon ve azot içermektedirler. Anaerobik bakteriler enerji ihtiyacını organik maddelerdeki karbondan sağlamaktadırlar. Karbondan sonra en önemli besi maddesi olan Azot, bakterilerin büyümesi ve çoğalması için gereklidir. Azot öncelikle amino asitlerin, proteinlerin ve nükleik asitlerin sentezinde gerekli elementi sağlar. Bununla birlikte amonyağa dönüşen azot, uçucu yağ asitlerini tamponlayarak pH'ın düşmesini engellemektedir. Bunun sayesinde metan oluşturucu (metanojen) bakterilerin yaşam alanına uygun pH şartları sağlanmaktadır [27].

C/N oranı çok düşükse, azot serbest bırakılır ve amonyak formunda birikir. Bu, malzemenin pH'ını artırır. pH değeri 8,5'ten yüksek olduğunda, metanojenik bakteriler üzerinde toksik etki göstermeye başlar. Düşük biyogaz sistemlerinde en çok tercih edilen atık olan inek gübresi gibi hayvansal atıkların ortalama C/N oranı 24'tür. Bitki materyalleri yüksek oranda karbon içerir ve böylece C/N oranı yüksektir; örneğin, pirinç samanı ve talaş, sırasıyla 70 ve 200 C/N oranlarına sahiptir. İnsan dışkıları yaklaşık 8 C/N oranına sahiptir. Anaerobik fermantasyon materyalinin C/N seviyesini optimum seviyelerde tutmak için, yüksek C/N oranındaki materyaller düşük C/N oranındaki materyallerle karıştırılabilir [24].

Substratın C/N oranı 16:1 - 25:1 aralığında olmalıdır. Fakat bu sadece bir bulgudur çünkü nitrojen lignin yapılarına da bağlanabilir. Anaerobik işleme çok fazla biyokütlenin gelişmemesi nedeniyle besinlere ihtiyaç çok azdır, bu nedenle metan oluşumu için bir besin oranı C: N: P: S = 500-1000: 15-20: 5: 3 ve/veya COD: N: P: S = 800: 5: 1: 0.5 olan organik madde oranı bile yeterlidir. Çok düşük C/N oranına sahip substratlar, artan amonyak üretimine ve metan üretiminin inhibisyonuna yol açar. Çok yüksek bir C/N oranı, nitrojen eksikliği anlamına gelir ve bu da protein oluşumu için olumsuz sonuçlar doğurur ve böylece mikroorganizmaların enerji ve yapısal madde metabolizması sonuçlanır. Dengeli bir kompozisyon kesinlikle gereklidir. Nepal'de yapıldığı gibi, fil gübresinin insan atıklarıyla kofermantasyonu ve Çin'de her zamanki gibi pirinç samanı ve kanalizasyon atığı karışımının hazırlanması bunun birer örneğidir [23].

Çizelge 2.8. Bazı biyoparçalanabilen atıkların C/N oranları [24,27].

<i>Ham madde</i>	<i>C / N oranı</i>	<i>Su ile seyreltme</i>
Ördek Gübresi	8	—
İnsan Dışkısı	8	03:07
Kümes Hayvanları Gübresi	10-14	01:03
Keçi Gübresi	12	02:03
Domuz Gübresi	18-20	01:02
Koyun Gübresi	19-22	01:01
Sığır Gübresi	18-24	01:01
At Gübresi	15	02:03
Fil Gübresi	43	02:03
Güvercin Gübresi	2	01:03
Kaz Gübresi	2	02:03
İdrar	1	—
Kan	3	—
Balık Atığı	8	—
Kesimhane Atığı	8	—
Ekmek	25	—
Gazete	800	—
Taze Çim	12	—
Yulaf Samanı	120	—
Pirinç Samanı	60-70	—
Buğday Samanı	90	—
Mısır Samanı	60	—
Yer Fıstığı Kabuğu	20	—
Soya Fasulyesi	5	—
Soya Fasulyesi Sapı	32	—
Ağaç Yaprakları	50	—
Şeker Kamışı	150	—
Pamuk Tohumu	5	—
Su Sümbülü	16-25	—
Kentsel Katı Atık	40	—
Talaş	> 200	—

Hayvan gübrelerinin C/N oranları genellikle 15/1 ila 30/1 arasında değişmektedir. Hayvan gübreleri, bitkisel atıklar, tarımsal atıklar, kentsel ve endüstriyel atıklara ait kuru bazda C/N oranları Çizelge 2.8’te verilmiştir [27].

Karbon/azot (C/N) oranı da proses stabilitesi için önemlidir. C/N oranının 25 ila 32 arasında bir değerde olduğu durumlarda, metan verimi üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğu bildirilmiştir. Düşük C/N oranlarında, biyokütle sentezi için fazla nitrojen riski gerekmemektedir ve dolayısıyla inhibitör hale gelmektedir. Aksine, çok yüksek bir C/N oranı biyokütle sentezi için N eksikliğine yol açacaktır. Çok yüksek COD konsantrasyonu ve azot içeriği düşük olan zeytinyağı atık suları gibi atıkların tek başına parçalanamayacağı gösterilmiştir. Zeytin değirmeni atıklarının başarılı bir şekilde fermantasyonu için nitrojen ilavesi veya düşük C/N oranına sahip atıklar ile kofermantasyonu gerekmektedir [41].

C/N oranı, organik materyallerde bulunan karbon ve azot miktarı arasındaki ilişkiyi temsil eder ve anaerobik organizmaların büyüme için ihtiyaç duyduğu besin dengesinin bir göstergesidir [50]. Farklı C/N oranlarına sahip malzemeler, biyogaz verimleri bakımından büyük farklılıklar göstermektedir. Genellikle anaerobik sindirim sırasında mikroorganizmaların karbonu nitrojenden 25–30 kat daha hızlı kullandığı bulunmuştur [52]. Anaerobik fermantasyondaki C/N oranları, hücre üretimi için yeterli nitrojen teminini sağlamak ve besleme stoğunda bulunan karbonun bozunması için optimum 10:1 ila 30:1 arasında değişmektedir, C/N oranı 15:1 ve 25:1 arasındadır [32,53–55]. Bununla birlikte, bazı besin maddelerinin fazla miktarları da anaerobik fermantasyon sürecine engel olabilir [56]. Bu nedenle, yüksek bir C/N oranı hızlı bir azot tüketimine, diğer bir deyişle düşük protein oluşumu ve anaerobların enerji ve yapısal metabolizmasında bir düşüşe neden olacak ve bu da daha düşük substrat bozunma verimliliğine ve sonuç olarak daha düşük gaz üretim oranlarına neden olacaktır [23,32,57]. Bunun aksine, düşük bir C/N oranı veya çok fazla azot, amonyak birikmesine neden olabilir ve bu da 8.5'in üzerinde pH değerlerine yol açacak ve anaerobik verimin azalmasına neden olacaktır [50,54]. Ek olarak, bulamaç kalitesi amonyak üretimi ile azalır [58]. Yukarıda belirtildiği gibi, artan azot konsantrasyonu ve pH değerleri C/N oranını etkileyen en önemli faktörlerdir. Ayrıca C/N oranının sıcaklık, düşük seviyelerde fosfor ve eser

elementler, işlem ayrıştırma verimliliği ve substratın bileşimi ile değiştiği bildirilmiştir [32]. Etkin anaerobik fermantasyon tesisi çalışması için C/N oranının istenen aralıkta kaldığı besleme stoğunun uygun bileşimi sağlanmalıdır. Optimum biyogaz üretimi için dengeli bir C/N oranının muhafaza edilmesi gerektiği açıktır. C/N oranı ya açık olarak ya da sadece tesise giren atık türlerini takip ederek ve her birinin göreceli yapısını bilerek izlenebilir [23,32].

2.5.3. Seyreltme

Gerekirse, çok kalın veya çok ince olmayan bir bulamaç oluşturmak için hammaddeye su ilave edilmelidir. Bir malzeme çok fazla seyreltilirse, katı partiküller fermantörde dibe çökebilir ve bozulmayabilir. Bulamaç çok kalınsa, karıştırılması zor olabilir ve gaz akışının fermantörün üst kısmına geçmesini engelleyebilir. Farklı sistemler, genellikle %10-25 aralığındaki katıların, farklı seviyelerde çamur yoğunluğunu idare edebilir [24].

2.5.4. pH

Optimum biyogaz üretimi, giriş karışımının pH değeri 6 ile 7 arasında olduğunda elde edilir. İlk fermantasyon periyodu sırasında, büyük miktarlarda organik asit üretilir ve karışımın pH'ı azalır. Fermantasyon devam ettikçe ve amonyak konsantrasyonu arttıkça azotun sindirimi nedeniyle pH değeri artar. Metan gazı üretimi stabilize olduğunda, pH 7,2 ve 8,2 arasında kalır. Bitki materyali kesikli besleme sisteminde fermente edildiğinde, asetojen / fermantasyon aşaması hızlıdır ve pH'ı azaltan ve daha fazla sindirimi engelleyen organik asitler üretir. Bu gibi durumlarda, pH'ta azalma genellikle kireç ilavesiyle kontrol edilebilir [24].

pH, anaerobik sindirimin tüm aşamalarında anaerobların büyümesini etkilediği için önemli bir çalışma parametresidir. Bununla birlikte, domuz gübresi gibi çok tamponlu substratlarda çok zayıf bir gösterge olduğu belirtilmiştir [59]. Biyokimya açısından, hammadde bozulmasının ilk aşamaları asidik bir ortam gerektirirken, daha sonraki aşamalarda, metan üretildiğinde, nötr bir pH ortamı avantajlıdır [32].

Dolayısıyla, hidroliz ve asidogenez safhaları için pH değeri 4.0 ile 6.5 arasında olmalı, metanojenez aşamasında ise 7.0 civarında olmalıdır [60].

Sindirim ilk aşamalarında, yani hidroliz ve asidogenezde, VFA ve COD artışının bir sonucu olarak pH'ta bir azalma kaydedilmiştir [61]. Bazı yazarlara göre, VFA konsantrasyonu 4000 mgL⁻¹'i aştığında pH değişiklikleri meydana gelirken, bir diğer yazar anaerobik fermantasyon dengesinin bozulmalarının gözlemlenebileceği en yüksek VFA konsantrasyonunun 2000 mgL⁻¹ değerini aşmadığını belirtmiştir [62,63]. Asetojenez ve metanojenez aşamaları sırasında 1000-1500 mgL⁻¹'den büyük VFA konsantrasyonları fermantasyon işlemini inhibe eder [64]. Ek olarak, sindiricide uçucu katı maddeler aşırı yüklendiğinde ortaya çıkan asit birikimi, pH değerinde azalmaya neden olarak, daha fazla organik asit üreten ve sonuç olarak daha da düşük olan pH değerlerine, metanojenik bakteriler için ölümcül bir seviyeye neden olan asidojenik bakterilerin artmasıyla sonuçlanır [58]. pH değeri, VFA konsantrasyonu, bikarbonat konsantrasyonu ve sistemin alkalinitesinin yanı sıra, özellikle partikül reaktörlerinde bekletme süresi ve organik yükleme oranı ile birlikte fermantördeki gazın CO₂ kısmının bir fonksiyonudur [65]. Genel olarak, 5'in üzerindeki pH değerleri, CH₄ üretiminin verimliliğini yüzde 75'ten fazla artırır. Anaerobik sindirimde maksimum biyogaz verimi elde etmek için optimal pH aralığı 6.5-7.5 olmasına rağmen, anaerobik fermantasyon tesislerindeki aralığı nispeten genişletir ve pH'ın optimal değeri substrat ve sindirim tekniğiyle değişir [66].

2.5.5. Sıcaklık

Farklı türlerde metanojenik bakteriler, üç farklı sıcaklık aralığında en iyi şekilde çalışırlar: 50–65, 20–40 ve <10°C. İlgili bakterilere sırasıyla termofilik, mezofilik ve sakrofilik denir. Bu dar sıcaklık aralığının dışında, ilgili mikrobiyal topluluklar hayatta kalamazlar. Büyük ölçekli anaerobik sindirim genellikle daha az sayıda çürütücü ile mezofilik modda gerçekleştirilir. Mezofilik sıcaklık aralığı 20 ila 40°C arasındadır, ancak anaerobik sindirim için en uygun olduğu düşünülen mezofilik sıcaklık 35°C'dir. Termofilik fermantasyonda 55°C ideal olarak kabul edilir. Termofilik anaerobik sindirim süreci genellikle mezofilik süreçten daha verimli olmasına rağmen, kontrol edilmesi daha zordur ve ayrıca ekstra enerji girdilerine de

ihtiyaç vardır [24]. Fermantasyon sıcaklığı veya reaktör içi varyasyonları, metan oluşturucu ve uçucu asit oluşturan bakterileri büyük ölçüde etkilediği için biyogaz üretim prosesinde önemli bir role sahiptir [58,67]. Farklı sıcaklık aralıklarına göre anaerobik sindirim, anaeroblar ile sakrofilik (12-30 ° C), mezofilik (30–40 ° C, tercihen 35 ° C) ve termofilik (50-60 ° C, tercihen 55 ° C) olarak sınıflandırılabilir. Mezofilik veya termofilik sıcaklıklarda en iyi performans elde edilmektedir [68–71]. Termofilik şartlar altında çalışan reaktörler, daha yüksek sindirim oranı ve yükleme oranı, substratın daha iyi bozunma verimi, daha iyi katı madde çökmesi ve daha düşük tutma süresi nedeniyle ,mezofilik sindirimdeki mikroorganizmaların daha az besin ihtiyacı olmasına karşın, mezofilik reaktörlere kıyasla daha yüksek gaz verimi elde ettiği belirtilmiştir [32].

Sıcaklık ve bekletme süresinin peynir altı suyu, büyükbaş ve kümes hayvanları gübresine etkisinin incelendiği bir çalışmada yazarlar, daha önce bu konuyla ilgili çalışma yapmış olan ve 55 ° C'nin altında bir sıcaklıkta düşüşün biyogaz veriminde artışa neden olduğunu gözlemlemiş olan diğer yazarların çalışma sonuçları ile uyumlu olarak, yüzde 62'lik metan içeriğine sahip maksimum gaz üretiminin 40 ° C'de on gün süre ile elde edildiğini bildirmişlerdir [72,73].

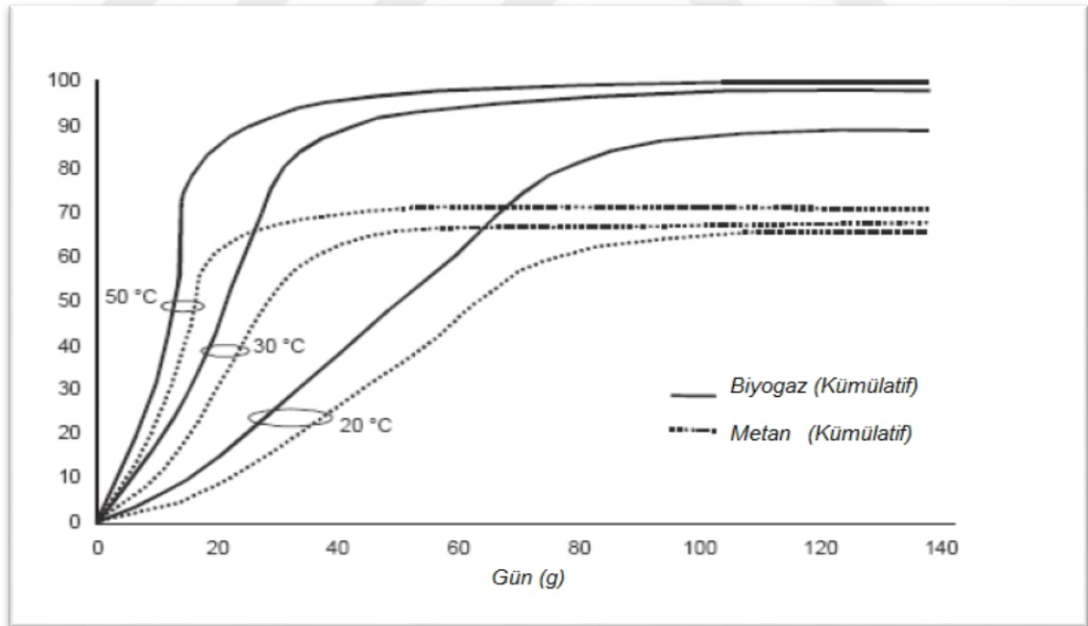
Konuyla ilgili yapılan bir diğer çalışmada, lignoselülozik malzemedeki maksimum biyogaz üretiminin termofilik sıcaklıklarda elde edildiği gösterilmiştir [74]. Ayrıca, bir diğer çalışmada, termofilik koşullar altında sıcaklık dalgalanmalarının $\pm 1^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta tutulması gerektiğini, çünkü $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'lik bir normal sıcaklık aralığından ayrılmanın yüzde 30 daha az biyogaz üretimi ile sonuçlanabileceğini belirtmiştir. Bununla birlikte, aynı yazarlar mezofilik koşullar altındaki mikroorganizmaların $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 'lik sıcaklık dalgalanmalarını tolere edebileceğini belirtmişlerdir. [57,75]. Öte yandan yapılan diğer çalışmalarda, aktif sakrofilik mikrobik toplulukların uzun süreli adaptasyonunun, düşük sıcaklıklarda sığır gübresinin etkin bir şekilde fermente edilmesi için gerekli olabileceğini belirtilmiştir. Son olarak, literatüre dayanarak, termofilik ve mezofilik koşullardaki anaerobik çürütücülerin göreceli performansları tam olarak kesin ve tutarlı bir farklılık göstermemektedir [76,77].

Anaerobik fermantasyon işlemi, üç sıcaklık aralığına bölünmüş farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilebilir: sakrofilik (25°C'nin altında), mezofilik (25°C-45°C) ve termofilik (45°C-70°C). Proses sıcaklığı ve hidrolik bekleme süresi arasında doğrudan bir ilişki vardır (Çizelge 2.9) [11].

Çizelge 2.9. Sıcaklık ve bekletme süreleri [11].

<i>Sıcaklık Aralığı</i>	<i>Proses sıcaklıkları</i>	<i>Minimum tutulma süresi</i>
Sakrofilik	< 20 °C	70 ila 80 gün
Mezofilik	30 - 42 °C	30 ila 40 gün
Termofilik	43 - 55 °C	15 ila 20 gün

Anaerobik sindirim için sıcaklık kararlılığı belirleyicidir. Uygulamada, kullanılan sıcaklık, kullanılan besleme stoğuna göre seçilir ve gerekli işlem sıcaklığı genellikle zemin veya duvar ısıtma sistemleri tarafından sağlanır. Şekil 2.2'de sıcaklık ve bekletme süresine bağlı olarak biyogaz verimlerinin oranlarını göstermektedir [11].



Şekil 2.2. Sıcaklık ve tutma süresine bağlı olarak biyogaz verimleri [11]

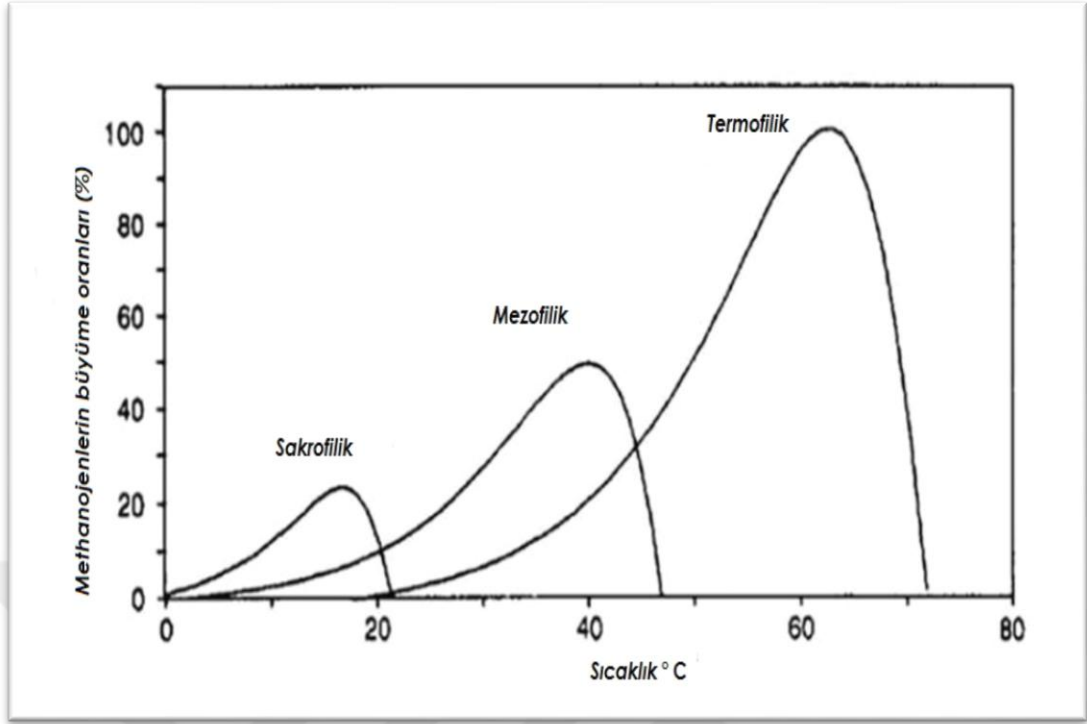
Birçok modern biyogaz tesisi termofilik proses sıcaklıklarında çalışmaktadır, çünkü termofilik süreç, mezofilik ve sakrofilik süreçlere kıyasla birçok avantaj sağlamaktadır:

1. Patojenlerin etkili yıkımı
2. Yüksek sıcaklıkta metanojenik bakterilerin daha yüksek büyüme oranı
3. Azaltılmış bekletme süresi, işlemi daha hızlı ve daha verimli hale getirir
4. Geliştirilmiş sindirilebilirlik ve substratların kullanılabilirliği
5. Katı substratların daha iyi parçalanması ve daha iyi substrat kullanımı
6. Sıvı ve katı kesimleri ayırmak için daha iyi bir imkan [11].

Termofilik işlem bazı dezavantajlara da sahiptir:

1. Daha büyük derecede dengesizlik
2. Yüksek sıcaklık nedeniyle daha büyük enerji talebi
3. Amonyak inhibisyonunun daha yüksek riski [11].

Çalışma sıcaklığı amonyak toksisitesini etkiler. Amonyak toksisitesi, artan sıcaklıkla artar ve işlem sıcaklığını azaltarak düşürülebilir. Bununla birlikte, sıcaklığı 50°C veya altına düşürürken, termofilik mikroorganizmaların büyüme oranı büyük ölçüde düşer ve gerçek hidrolik bekletme süresinden daha düşük bir büyüme oranına bağlı olarak mikrobiyal popülasyonun yok olma riski ortaya çıkabilir. Bu, iyi işleyen bir termofilik reaktörün, termofilik organizmaların büyüme hızları nedeniyle daha yüksek bir dereceye kadar yükleme yapılabildiği veya düşük bir hidrolik bekletme süresinde, mezofilik reaktörden daha fazla çalıştırılabileceği anlamına gelir [11].



Şekil 2.3. Sıcaklığa bağlı olarak metanojenlerin büyüme oranı [11].

Çeşitli bileşiklerin (NH_3 , H_2 , CH_4 , H_2S ve VFA) çözünürlüğü de sıcaklığa bağlıdır. Bu, süreç üzerinde inhibisyon etkisine sahip olan malzemeler için büyük önem taşıyabilir. Bazı gazların sıcaklık ve sudaki çözünürlükleri arasındaki ilişki Çizelge 2.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 2.10. Bazı gazların sıcaklıklara göre sudaki çözünürlükleri [41].

Gaz	Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	Çözünürlük Mmol /L su	Çözünürlük değişimi $50^{\circ}\text{C} - 35^{\circ}\text{C}$
H_2	35	0,749	3,3 %
	50	0,725	
CO_2	35	26,6	36 %
	50	19,6	
H_2S	35	82,2	31 %
	50	62,8	
CH_4	35	1,14	19 %
	50	0,962	

Anaerobik fermantasyon substratının viskozitesi, sıcaklık ile ters orantılıdır. Bu, substratın yüksek sıcaklıklarda daha fazla sıvı olduğu ve böylece çözülmüş malzemenin difüzyonunun kolaylaştırıldığı anlamına gelir. Termofilik çalışma sıcaklığı, daha hızlı kimyasal reaksiyon oranlarına, dolayısıyla metan üretiminin daha yüksek verimliliğine, daha yüksek çözünürlük ve daha düşük viskoziteye neden olur. Termofilik süreçte daha yüksek enerji talebi, daha yüksek biyogaz verimi ile sağlanmaktadır. Sıcaklık değişiklikleri veya dalgalanmalar biyogaz üretimini olumsuz yönde etkileyeceğinden, sindirim sürecinde sabit bir sıcaklığın muhafaza edilmesi önemlidir. Termofilik bakteriler ± 1 ° C sıcaklık dalgalanmalarına karşı daha hassastır ve maksimum metan üretimine ulaşmak için yeni bir sıcaklığa uyum sağlamak daha uzun süre gerektirir. Mezofilik bakteriler sıcaklık dalgalanmalarına karşı daha az duyarlıdır. Metan üretiminde önemli bir azalma olmaksızın ± 3 ° C sıcaklık dalgalanmaları tolere edilir [11].

2.5.6. Organik Yükleme Oranı

Bu, özellikle fermantöre sürekli besleme yapıldığında önemli bir süreç kontrol parametresidir. Aşırı yükleme kolayca sistem arızasına yol açabilir. Bu, atıkların bulamaçla yetersiz karışması durumunda gerçekleşebilir. Uçucu yağ asitleri konsantrasyonunda önemli bir artışa neden olabilir ve bu da pH'ta keskin bir düşüşe neden olur. Bu olduğunda, sisteme besleme hızı, süreç yeniden stabilize olana kadar bir süre için azaltılmalıdır [24].

Organik yükleme oranı (OLR) ve hidrolik tutma süresi (HRT), çürütücü boyutlarının planlanması için kullanılan iki ana parametredir. Optimum değerleri, alt tabakaya ve çürütücülerin çalışma sıcaklığına özeldir [78]. Ek olarak, maksimum gaz çıkışı üreten ve daha sonra substrat miktarında daha fazla artışta, daha fazla gaz üretmeyecek olan belirli bir tesis büyüklüğü için optimum yükleme oranı vardır. Bununla birlikte, organik yükleme oranı ile ilgili araştırma çelişkilidir. Örneğin, domuz gübresinin katı kısmının, kuru ot silajı ile kofermantasyonu değerlendirildiğinde, organik yükleme oranının reaktör performansını önemli ölçüde etkilediği kaydedilmiştir. Organik yükleme oranı üç kat arttığında hacimsel metan verimi yüzde 88 artarken, spesifik metan üretimi (yani, uçucu katıların kg'ı başına üretilen

metan miktarı) yüzde 38 azalmıştır. Ek olarak, gübrenin OLR'si 346 kg VS gün⁻¹'den 1030 kg'lık VS⁻¹'e yükseldiğinde, biyogaz verimi 67'den 202 m³gün⁻¹'e çıkmıştır. Buna karşılık, metan veriminin yükleme hızındaki azalma ile arttığı bulunmuştur. Ancak, bu yazarlar azalan OLR'ye maruz kalan bir reaktörün hammadde tedariki ve enerji üretimi açısından yetersiz olduğunu belirtmişlerdir. OLR, sindirime ne kadar uçucu katıların konulduğunu belirler, diğer bir deyişle, toplam katı veya uçucu katı madde olarak birim zamanda birim hacim başına beslenen biyokütle miktarı (kg (reaktör hacmi m³gün⁻¹) [32].

Bir biyogaz tesisinin yapımı ve işletilmesi ekonomik ve teknik hususların birleşimidir. Substratın tam sindirimi ile maksimum biyogaz veriminin elde edilmesi, sindirimin içindeki substratın uzun bir tutulma süresini ve buna uygun olarak büyük bir digester boyutunu gerektirecektir. Uygulamada, sistem tasarımının seçimi (reaktör ebat ve tip) ya da uygulanabilir bekletme süreleri daima mümkün olan en yüksek biyogaz verimine sahip olmak ve doğru tesis ekonomisine sahip olma arasındaki bir uzlaşmaya dayanmaktadır. Bu bağlamda organik yükleme oranı, birim hacimde ve birim zamanda ne kadar organik kuru maddenin reaktöre beslenmesini aşağıdaki denkleme göre gösteren önemli bir parametredir [11]:

$$BR = m * c / VR \quad (2.1)$$

BR : Organik yük [kg / d * m³]

m : Birim zaman başına beslenen substrat kütlesi [kg / d]

c : Organik madde konsantrasyonu [%]

VR : Reaktör hacmi [m³]

2.5.7. Bekletme Süresi

"Bekletme süresi", arzu edilen bozunma derecesini elde etmek için organik materyal (substrat) ve mikroorganizmaların ("katılar") bir sindiricide birlikte kalması gereken süredir. Bu hedefi bir anaerobik reaktörde gerçekleştirmek için gerekli olan "substrat bekletme süresi" daha kısa ise reaktör daha etkilidir. Fakat düşük "substrat tutma süreleri" elde etmek için aynı anda yüksek mikroorganizma ("katı") tutma süreleri elde etmek gereklidir [24].

2.5.7.1. Hidrolik Bekletme Süresi

Substrat bekletme süresini belirtmek için yaygın olarak kullanılan terim "hidrolik bekletme süresi" dir. Bu, aerobik olarak parçalanmaya çalışılan organik bir materyalin, bir fermantöre, girişinden çıkışına kadar geçirdiği zamanlardır [24]. Biyogaz çürütücünün boyutlandırılması için önemli bir parametre, hidrolik tutma süresidir (HRT). HRT, substratın reaktör tankının içinde tutulduğu ortalama zaman aralığıdır. HRT, aşağıdaki denkleme göre sindirim hacmine ve birim zaman başına beslenen substrat hacmine bağlıdır [11].

$$HRT = VR / V$$

HRT : hidrolik tutma süresi [gün]

VR : Reaktör hacmi [m³]

V : Birim zaman başına beslenen substrat hacmi [m³/d]

Yukarıdaki denkleme göre, organik yükün arttırılması HRT'yi azaltır. Alıkoyma süresi, atık su ile ayrılan mikroorganizmaların (bulamaç) yeniden üretilmiş mikroorganizmaların miktarından daha yüksek olmamasını sağlamak için yeterince uzun olmalıdır. Anaerobik bakterilerin çoğalma oranı genellikle 10 gün veya daha fazladır. Kısa bir HRT iyi bir substrat akış hızı sağlar, ancak daha düşük bir gaz verimi sağlar. Bu nedenle HRT'nin kullanılan substratların spesifik ayrışma oranına adapte edilmesi önemlidir. Hedeflenen HRT'nin, günlük hammadde girişinin ve substratın ayrışma oranının bilinmesi durumunda, gerekli sindirim hacmini hesaplamak mümkündür [11].

2.5.7.2. Katı Madde Bekleme Süresi

“Katı maddeler”, bir fermantörde mikroorganizmaları göstermek için yaygın olarak kullanılan terimdir. Kesin bir terim değildir, çünkü çoğu fermantör atığı, canlı biyokütlenin oluşturduğu zorunlu olmayan askıda katı maddeler içerir. Böylece bu katılar mikroorganizmalarla birlikte de mevcuttur. Ayrıca, anaerobik sindirime katılan herhangi bir substratta (uçucu olmayan veya “refrakter” organikler hariç) “uçucu katı madde” içeriğidir. Dolayısıyla "yüksek katıların sindirimi" veya "katı-

besleme sindirimi" gibi terimler de, "katı maddelerin" mikroorganizmaları göstermesi amaçlanmadığı biyogaz alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Dolayısıyla mikroorganizmalar retansiyon süresi bağlamında "mikroorganizmalar" yerine "katı" teriminin kullanılması karışıklık kaynağı olabilir. Katı maddelerin bekletme süresi, aktif mikroorganizmaların bir fermantörde kalma süresidir [24].

2.5.8. İnhibisyon ve Toksikite

Biyogaz besleme stoklarındaki bazı maddeler anaerobik mikropları inhibe edebilir veya zehirli olabilir. İnhibisyon, büyümenin azalması veya durması anlamına gelirken, toksisite mikropların ölümüne neden olur. Biyogaz hammaddelerinde inhibitör veya toksik maddelerin bulunup bulunmadığını bilmek önemlidir. Mikrobiyal topluluğun inhibitör maddelere adapte olması mümkündür [31].

Özellikle ağır metaller ve deterjanlar gibi mineral iyonları, bir sindiricide bakteri üremesini engelleyen maddeler arasındadır. Küçük miktarlarda mineraller (sodyum, potasyum, kalsiyum, magnezyum, amonyum ve sülfür) bakteriyel büyümeyi uyarır, ancak daha yüksek konsantrasyonlarda toksik etkisi vardır. Bakır, nikel, kobalt, krom, çinko ve kurşun gibi ağır metaller, çok küçük miktarlarda bakteriyel büyüme için gereklidir, ancak daha yüksek miktarlarda toksik etkisi vardır. Sabun gibi deterjanlar, antibiyotik ve organik çözücüler de bakterileri inhibe eder. Toksik maddeler tarafından inhibisyonu takiben fermantörlerin geri kazanımı, ancak gıda maddelerinin beslenmesi ve yıkanması veya inhibe edici maddelerin konsantrasyonunun toksik seviyenin altına itilmesi için, içeriğin yıkanması veya seyreltilmesi ile sağlanabilir [24]. Demir, nikel, kobalt, selenyum, molibden veya tungsten gibi eser elementler, anaerobik fermantasyon mikroorganizmalarının, karbon, azot, fosfor ve kükürt gibi makrobesinlerin büyümesi ve hayatta kalması için eşit derecede önemlidir. Makrobesinlerin karbon, azot, fosfor ve sülfürün optimal oranı (C:N:P:S) 600: 15: 5: 1 olarak kabul edilir. Substratın çok yüksek sindirilebilirliğinin yanı sıra besinlerin ve eser elementlerin yetersiz tedariki, anaerobik fermantasyon sürecindeki inhibisyon ve rahatsızlıklara neden olabilir. Anaerobik mikroorganizmaların aktivitesini etkileyen başka bir faktör de toksik bileşiklerin varlığıdır. Bunlar, besleme sistemi ile birlikte anaerobik fermantasyon sistemine getirilebilir veya işlem sırasında üretilebilir [11].

2.5.8.1. Amonyak inhibisyonu

Amonyak, azot bakımından zengin substratlardan anaerobik sindirimde üretilir. Amonyak azotunun ($\text{NH}_3_{(aq)}$), ayrışmamış formunun, azot bakımından zengin biyogaz fermentasyonlarında inhibitör bileşen olduğu bilinmektedir. $\text{NH}_3_{(aq)}$ konsantrasyonu, sıcaklık ve pH'ye güçlü bir şekilde bağlıdır. Farklı literatür kaynaklarında farklı inhibitör konsantrasyonları verilmiştir. Sıcaklık ve pH'ın amonyak inhibisyonu üzerindeki etkisine ek olarak, mikropların yüksek amonyak konsantrasyonlarına adaptasyonu da önemli bir faktördür. Uygulamada, yüksek azot içerikli hammadde beslemeleri sıklıkla biyogaz tesislerinde proses stabilitesi üzerinde sorun oluşturmaktadır. Düşük nitrojen besleme stoklarından yüksek azot besleme stoklarına hızlı değişiklikler özellikle sorunlu olabilir. Yüksek amonyak konsantrasyonlarında kararlı bir anaerobik işlem için, mikropların iyi uyarlanması, iyi eser element mevcudiyeti ve düşük ila orta hidrojen sülfid konsantrasyonu gibi parametreler bir ön koşuldur [31].

Çizelge 2.11. Amonyak ve amonyum için sınır değerler [79].

<i>Madde</i>	<i>Etkileşim</i>	<i>İnhibisyon başlama konsantrasyonu (mg/L)</i>	<i>Toksosite (mg/L adapte olan mikroorganizma)</i>
Amonyum	Ca ²⁺ , Na ⁺	1500-10000	30000
Amonyak	-	80	150

En önemli endojen inhibitörlerden biri amonyaktır (NH_3). Amonyak, proteinler gibi azot içeren maddelerin bakteriyel bozulması sırasında oluşur. Azot bakteriyel büyüme için gereklidir ve amonyak önemli bir azot kaynağıdır. Ancak yüksek konsantrasyonlarda amonyak, bakteriler için oldukça zehirlidir. Sulu bir çözeltide amonyak her zaman amonyumla (NH_4^+) bir dengede bulunur. Bu denge, ortamın asitliği, pH'ı ve sıcaklığı ile belirlenir ve amonyum, amonyak kadar zehirli olmadığı için bu denge önemlidir:



Yüksek pH ve sıcaklık değerlerinde yukarıdaki denklik sağa doğru kayar ve ortam mikroorganizmalar için toksik hale gelir. Termofilik biyogaz sistemlerinin amonyak inhibisyonuna, mezofilik biyogaz sistemlerinden daha hassas olmalarının sebebi budur [79,80].

2.5.8.2. Nitrat (NO₃⁻)

Nitrat, ayrışmanın ilk aşamasında, herhangi bir durumda, metanasyondan önce, nitrat giderilir. Metanasyonun inhibisyonu sadece yüksek nitrat içeriği NO₃⁻ N > 50 mg Mg⁻¹ olan substratlarla mümkündür. Denitrifikasyon düzgün çalışmıyorsa durum böyledir. Bu nedenle, nitrat bakımından zengin çamurlar fermente edilmeden önce, oksijen nitrat/nitrit içinde bağlı olarak, örneğin bir nitrat giderme aşamasında, anaerobik reaktördeki denitrifikasyonda ayrılmalıdır. Anaerobik reaktördeki denitrifikasyonda, redoks potansiyeli, anaerobik süreci destekleyerek daha olumsuz olur, biyogaz daha yüksek azot içeriğinden dolayı gaz kalitesi azalır, karbon tüketilir metan için kullanılabilir değildir [23].

2.5.8.3. Kükürt bileşenleri

Atıklar ve endüstriyel atık su, yüksek konsantrasyonda sülfür bileşikleri içerebilir, örneğin; maya üretiminden çıkan atık su, viskoz ipek, kartonlar, sitrik asit veya lif levha. Sülfür bileşikleri sülfat (yüksek konsantrasyonlarda endüstriyel atık sularda), sülfid, gazda hidrojen sülfid, sıvıda çözünmemiş hidrojen sülfür olarak (toksik olarak), ayrılmış formda HS⁻, S⁻ olarak mevcut olabilir. Sülfat problemlili olabilir, çünkü H₂S, metan formasyonundan önce bir aşamada gelişir ve H₂S prosese engel olabilir [23].



Sülfat aynı zamanda metan oluşumunu da engelleyebilir, çünkü sülfatla bozulan mikroorganizmalar daha az enerjiye ihtiyaç duydukları ve/veya bir simbiyoz partnerine ihtiyaç duymadıkları için baskındırlar: sadece karbondioksit ve hidrojen

veya asetik asitin metanasyonu için $-135.4 \text{ kJ mol}^{-1}$ ve/veya $-30.9 \text{ kJ mol}^{-1}$ serbest enerjiye ihtiyaç duyulurken, sülfat bozunması için -154 kJ mol^{-1} ve/veya -43 kJ mol^{-1} arası gereklidir. Atık suda 50 mg L^{-1} 'e kadar çözülmüş sülfür, biyoreaktörde pH 6,8'in altında ise metan oluşumu problemlerine yol açmaz. Mikroorganizmalar kendilerini sülfide adapte edebilir ve $600 \text{ mg L}^{-1} \text{ Na}_2\text{S}$ ve $1000 \text{ mg L}^{-1} \text{ H}_2\text{S}$ 'de yaşayabilir [23].

H_2S neredeyse tüm substratlarla yan ürün olarak gelişir. Biyogazla kaçır ve zayıf bir asit olarak substratta ayrışmamış ve ayrışmış formda çözülür, böylece hidrojen sülfür iyonları ve sülfür iyonları gelişir [23].



Ayrışmamış ve ayrışmış form arasındaki kimyasal denge, pH değerine bağlıdır. Azaltılmış pH değeri ile, çözünmemiş ayrışmış hidrojen sülfür oranı yükselir. Çözülmüş formda, yaklaşık 50 mg L^{-1} 'lik bir konsantrasyonda bile doğrudan hücreler zehir olarak çalışır. Bunun üzerinde, H_2S , çözülmeyen sülfürler olarak temel eser elementlerin çökmesi ile dolaylı olarak proses inhibisyonuna neden olabilir. Bununla birlikte, sıcaklık da önemlidir: yükselen sıcaklık ile hidrojen sülfürün toksisitesi artar. Bazı durumlarda, özellikle eğer substrat, bunların çökeltmesi gereken bir seviyede ağır metal iyonları içeriyorsa, substrattaki hidrojen sülfür elverişlidir. Biyogazın H_2S içeriğinin sürekli izlenmesi tavsiye edilir. Beklenmedik bir yükselme, kostik soda ilave ederek pH değerinin artırılarak, bir H_2S toplayıcısı olarak çalışan demir tuzu eklenerek, hacim yükünü düşürerek önlem alınmalıdır. Atık sudaki yüksek kükürt içeriği beklendiğinde, iki aşamalı bir işlem tercih edilmelidir, böylece ilk aşamada sülfür bileşikleri uzaklaştırılabilir [23].

2.5.8.4. Organik asitler (Yağ asitleri ve amino asitler)

Normalde, substratta organik asitler bulunur. Bunlar metalaşma sırasında ayrışır. Kısmen ayrışmamış ve kısmen ayrışmış formda bulunurlar. Özellikle ayrılmamış asitler, inhibe edici bir etkiye sahiptir, doğasını değiştirdikleri hücreler içine lipofilikler olarak nüfuz ederler. Çok fazla miktarda organik asit biyoreaktöre kısa

sürede beslenir ve/veya bozunması engellenirse, çok güçlü bir asitletme gerçekleşir. Bu nedenle, metan reaktörünün yükü, sadece asitleştirilebilen substratları veya özellikle silolanmış enerji reaktörlerini fermente etmek için çok yavaş artırılabilir. İnhibe edici etki ek olarak pH değerindeki düşüşle yoğunlaşır. pH <7'de, inhibe edici eşik 1000 mg L⁻¹ asetik asit kadardır. İzo-bütirik asit veya izo-valerik asit için inhibisyon eşiği, adaptasyon olmaksızın 50 mg L⁻¹ ayrışmamış yağ asiti konsantrasyonu kadar düşük olabilir. Propiyonik asit, 5 mg L⁻¹ konsantrasyonunda bile güçlü bir şekilde inhibe olur (pH = 7'de yaklaşık 700 mg L⁻¹ ayrışmamış aside karşılık gelir). Aromatik amino asitler, örneğin, patates işleminden çıkan atık su ile muhtemelen, inhibisyona yol açar [23].

Anaerobik fermantasyon işleminin stabilitesi, asidojenez sırasında üretilen VFA (örneğin, asetat, propionat, bütirat) gibi ara ürünlerin, altı atoma kadar bir karbon zinciri konsantrasyonu ile yansıtılmaktadır [37]. Bu bileşiklerin konsantrasyonu, anaerobik fermantasyon işleminin izlenmesinde en önemli parametrelerden biridir; çünkü pH değerinin düşürülmesine yol açabilecek kabul edilebilir aralıktaki konsantrasyonlarında bir artış, dengesiz bir sindirim sürecini gösterir. Bununla birlikte, VFA'ların birikimi, her zaman reaktörde tampon kapasitesine bağlı olarak pH değerinde azalma ile sonuçlanmayacaktır. Aynı VFA konsantrasyonu bir tür reaktör için uygun olabilir, ancak başka bir tip için inhibitör olabilir, dolayısıyla VFA konsantrasyonu bağımsız bir işlem izleme parametresi olarak önerilemez [31,40].

2.5.8.5. Oksijen

Asitleyici bakterilerin çoğu anaerobiktir, böylece oksijenin dışarıda bırakılması asidifikasyon için kesinlikle gerekli değildir. Ancak metanojenikler zorunlu olarak anaerobiktir, inhibisyon 0.1 mg L⁻¹ O₂ ile başlar. Oksijen yerine nitrat, sülfat veya karbonat alırlar (hidrojen alıcısı olarak). Operasyonel koşullar altında metanojenikler her zaman mevcut oksijeni hemen tüketen anaerobik asitleştirici bakterilerin varlığında büyürler, kapalı reaktörlerde anaerobik koşullar korunabilir. Biyogazın biyoteknolojik kükürtsüzleştirilmesi için sıklıkla enjekte edilen az miktarda hava, genellikle metan formasyonu üzerinde hiçbir engelleyici etkiye sahip değildir [37].

2.5.8.6. Ağır metaller

Bakterilerin aktivitesini uyararak düşük konsantrasyonlarda eser elementler olarak hareket eden ağır metaller, daha yüksek konsantrasyonlarda toksik etkilere sahip olabilirler [23].

Çizelge 2.12. Farklı metallerin oluşturdukları inhibisyon veya toksik etkileri [23].

Madde	İz element olarak gerekli olan minimum miktar (mg/L)	Etkilenen parametreler	İnhibisyon başlama konsantrasyonu (mg/L)		Toksisite (mg/L adapte olan mikroorganizma)
			Serbest iyon	Karbonat olarak	
Cr	0,005-50	-	28-300	530	500
Fe	1-10	CO ₂ 'nin CH ₄ 'e anaerobik dönüşümü sırasında gereklidir. Hidrojenazlarda bulunur. İnorganik maddeleri indirger. Hücre enzimlerinde, taşıma ve depolama proteinlerinde bulunur.	Belirtilmemiş	1750	Belirtilmemiş
Ni	0,005-0,5	CO ₂ 'nin CH ₄ 'e anaerobik dönüşümü sırasında gereklidir. Hidrojenazlarda hücre enzimlerinde bulunur.	10-300	-	30-1000
Cu	Asetojenik mikroorganizmalar için ek olarak gerekmektedir	Hücre enzimlerinde bulunur. Taşıma ve depolama proteinlerinde bulunur	40-300	170	170-300
Mg		Yapısal proteinlerde bulunur.	-	-	-
Zn	Asetojenik mikroorganizmalar için ek olarak gerekmektedir	Yapısal proteinlerde, hücre enzimlerinde bulunur. Taşıma ve depolama proteinlerinde bulunur.	400	160	250-600
Cd	Belirtilmemiş	-	70-600	180	20-600
Pb	0,02-200	-	8-340	Belirtilmemiş	340
Co	0,003-0,05	CO ₂ 'nin CH ₄ 'e anaerobik dönüşümü sırasında gereklidir. Hücre enzimlerinde bulunur.	Belirtilmemiş	Belirtilmemiş	Belirtilmemiş
Se	-	-	-	-	-
Mo	0,005-0,05	CO ₂ 'nin CH ₄ 'e anaerobik dönüşümü sırasında gereklidir. Hücre enzimlerinde bulunur.	Belirtilmemiş	Belirtilmemiş	Belirtilmemiş
Mn	0,005-50	Hücre enzimlerinde bulunur.	1500	Belirtilmemiş	Belirtilmemiş
W	-	Hücre enzimlerinde bulunur.	-	-	-
Ca	-	Yapısal proteinlerde bulunur.	-	-	-
V	-	Hücre enzimlerinde bulunur.	-	-	-
Na	-	-	-	-	-
K	-	-	-	-	-

Özellikle kurşun, kadmiyum, bakır, çinko, nikel ve krom biyogaz tesislerinde bozulmaya yol açabilir, fakat aynı zamanda sodyum, potasyum, kalsiyum ve magnezyum da olabilir. Biyokütle içindeki kurşun, kadmiyum, krom, bakır, nikel, cıva ve çinko içeriği fermantasyon sırasında artar, ancak sadece az miktardadır. Domuz sıvı gübresinin yüksek çinko içeriği, genellikle bir antibiyotik olarak bir çinko katkı maddesi içeren yavru domuz yeminden kaynaklanır. Ağır metaller 1-2 mg L⁻¹ sülfidlerle bağlanabilir veya çökebilir. Bakır, kadmiyum, kurşun ve çinko, polifosfatlar (kompleks yapıcı maddeler) ile giderilebilir. Onlar da artık biyolojik olarak mevcut değildir [23].

2.5.9. Karıştırma

Bir sindirici içinde sıvı homojenliğini ve dolayısıyla proses stabilitesini korumak için karıştırma gereklidir. Karışmanın amacı, gelen materyali bakterilerle birleştirmek, pisliğin oluşumunu durdurmak ve digesterde belirgin sıcaklık gradyanlarından kaçınmaktır. Çok hızlı karıştırma bakteri topluluğunu bozabilirken, çok yavaş bir karıştırma işlemi yetersiz karıştırma ve kısa devreye neden olabilir. Gerekli olan karıştırma derecesi de fermantasyon karışımının içeriğine bağlıdır [24].

Reaktörün karıştırılması çok dikkatli yapılmalıdır. Bir yandan, her mikroorganizma besinlerle eşit olarak desteklenmeli ve düzgün çalkalama ile elde edilebilen metabolizma ürünleri, eşit olarak uzaklaştırılmalıdır. Taze substrat, aktif bakteriler ile taze substratı aşılama için bozulmuş substratla karıştırılmalıdır. Biyogaz, reaktörden etkin bir şekilde çıkarılmalıdır. Asetojenik ve metanojenik mikroorganizmadan oluşan simbiyoz rahatsız edilmemelidir. Mikroorganizmalar aslında strese duyarlıdır ve çok güçlü çalkalama ile yok edilebilirler. Çok yoğun bir gazdan dolayı köpüklenme yeterli çalkalama ile önlenemez. Biyoreaktördeki sıcaklık gradyanları daha düşük reaksiyon verimi ile sonuçlanır. Yüzer ve batan tabakalar yok edilmeli, enerji tüketimi en aza indirilmelidir. Katılar, daha sonra dışarıya atılmak zorunda oldukları için deşarja ulaşmaları engellenmelidir [23].

2.5.10. Patojenler

Kentsel katı atıklarında bulunan belirli patojenik bakteriler ve virüsler, anaerobik fermantasyon işlemi için atıkları işleyen işçilere enfeksiyon riski taşıyabilir. Hayvan gübresinden daha yüksek bir enfeksiyon riski taşıdığı düşünülen arıtma çamuru ve evsel atıklar için, en az 1 saat 70 ° C'de ön işlem yapılması gerekmektedir [24].

2.6. KOFERMANTASYON İLE BİYOGAZ ÜRETİMİ

Kofermentasyon, iki veya daha fazla substratın homojen bir karışımının eş zamanlı fermantasyonudur. Geleneksel olarak, anaerobik sindirim tek bir substratın tek başına sindirimidir. Son zamanlarda, çeşitli substratların aynı zamanda fermente edilmesiyle birlikte anaerobik sindirimin daha kararlı hale geldiği anlaşılmıştır. En yaygın durum, büyük miktarda bir ana temel substratın (örneğin, gübre ya da kanalizasyon çamuru), küçük miktarda tek ya da çeşitli ek substratlar birlikte karıştırılıp parçalanmasıdır [81].

Organik maddelerin anaerobik fermantasyon işlemine tabii tutulduğunda (mono-sindirim), substrat özelliklerine bağlı bazı dezavantajlar arzeder. Örneğin,

1. Kanalizasyon Çamuru düşük organik yüklerle karakterize edilir,
2. Hayvan gübrelerinin düşük organik yükleri ve methanojenleri önleyebilecek yüksek N konsantrasyonları vardır.
3. Kentsel katı atıkların organik kısmının uygun olmayan materyalleri olduğu gibi, nispeten yüksek bir ağır metal konsantrasyonu da vardır.
4. Ekinler ve tarımsal endüstriyel atıklar, N'den yoksun olabilecek mevsimsel substratlardır
5. Mezbaha atıkları, her ikisi de metanojenik aktivitenin potansiyel inhibitörleri olan yüksek konsantrasyonlu azot ve/veya uzun zincirli yağ asitleri ile ilişkili riskleri içerir.

Bu problemlerin çoğu, kofermantasyon olarak adlandırılan, fermantasyon atığına yardımcı bir substratın eklenmesiyle çözülebilir [8].

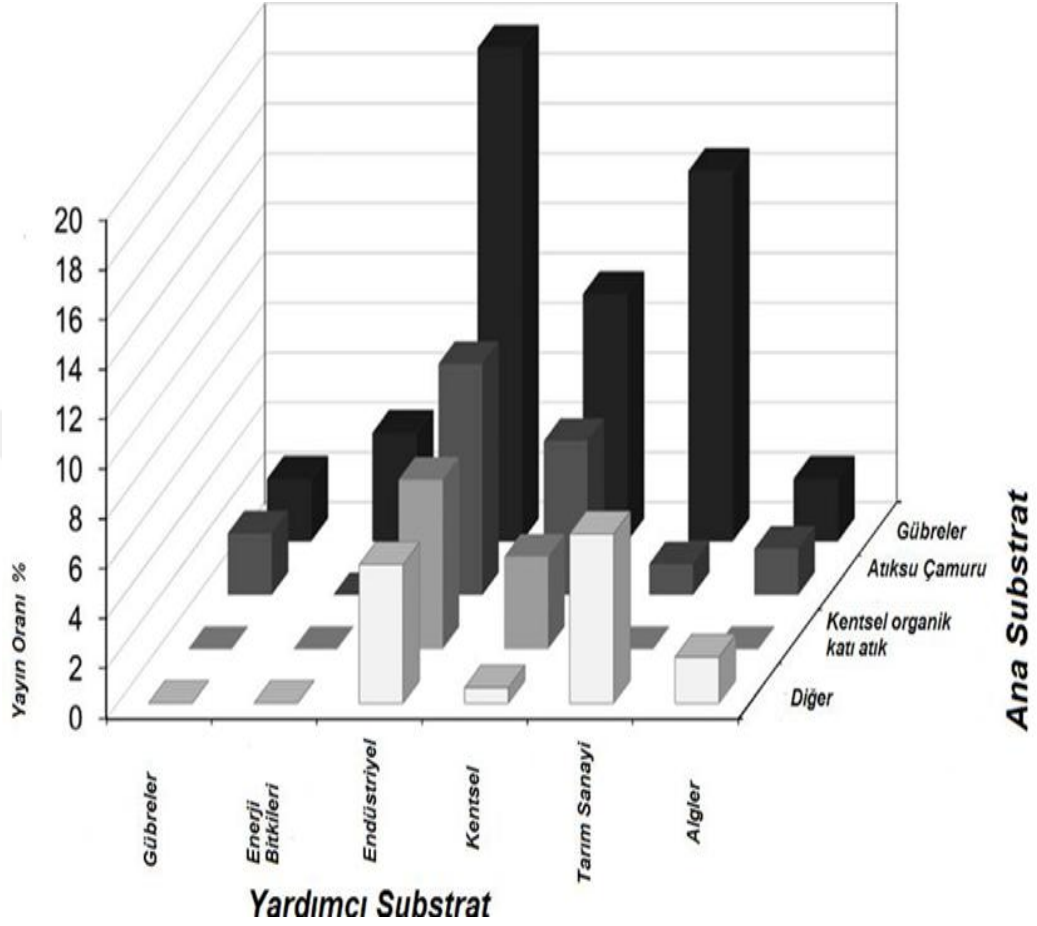
Potansiyel metan verimi, farklı anaerobik fermantasyon substratlarının değerlendirilmesinde önemli kriterlerden biridir. Hayvan gübresi oldukça düşük metan verimine sahiptir. Bu nedenle, pratikte hayvan gübresi tek başına sindirilmmez, ancak biyogaz üretimini arttırmak için yüksek metan verimi ile diğer yardımcı maddelerle karıştırılır. Gübre ve bulamaçlarla birlikte sindirim için eklenen ortak substratlar, gıda, balıkçılık ve yem endüstrilerinden yağlı artıklar, alkollü atıklar, bira ve şeker endüstrilerinden veya özel olarak yetiştirilen enerji ürünlerinden oluşur [37].

Çizelge 2.13. Kofermantasyonun faydaları ve limitleri [10].

<i>Fayda</i>	<i>Limit</i>
Gelişmiş besin dengesi ve sindirim	Çürütücüde artan kimyasal Oksijen ihtiyacı
Partikül, yüzen, çöken, asitleştirici vb. atıkların, gübre veya kanalizasyon çamuru ile seyreltilerek dengelenmesi	Ek ön arıtma gereksinimleri
Ek biyogaz eldesi	Artan karıştırma gereksinimleri
Atık arıtımını için muhtemel ücretler	Atıksu arıtma ihtiyacı
Ek gübre (toprak düzenleyici) ıslahı	Yüksek kullanım derecesi gerekli
Yenilenebilir biyokütle (“Enerji bitkileri”) tarımda kullanılabilir.	Kullanılabilirliğin ve oranların azal-tılması
	Hijyen gereksinimleri
	Fermante edilen atık için arazi kulla-nım kısıtlamaları
	Ekonomik açıdan ürün maliyetlerine ve verime bağımlı

Hayvan gübresi genellikle glikolitik yolun üzerinde inhibe edici bir etkiye sahip, yüksek amonyak konsantrasyonunu içerir. Bitkisel atıklar ve hayvan gübresinin kofermantasyonu, yüksek karbon içeren bitkiler eklendiğinde, hammaddenin C/N oranını dengeler dolayısıyla amonyak inhibisyonunu azaltır,yüksek tamponlama kapasitesi ve büyük besin oranı sağlar [82].

2.7. LİTERATÜRDEKİ KOFERMANTASYON ÇALIŞMALARI



Şekil.2.4. 2010-2013 yılları arası ana ve yardımcı substrat yayın dağılımı [8].

2010-2013 yılları arasında yayımlanan makaleler incelendiğinde en çok kullanılan ana substratlar hayvan gübreleri (%54), atık su çamuru (%22) ve kentsel katı atıkların organik kısmı (%11) 'dir. Aynı zamanda, en çok kullanılan yardımcı maddeler endüstriyel atıklar (%41), tarım atıkları (%23) ve kentsel atıklarıdır (% 20) [8].

Peynir altı suyu, büyükbaş hayvan gübresi, kümes hayvanları gübresi ile ilgili yapılan bir çalışmada, kofermantasyonun daha iyi besin dengesi sağlayabildiği bu nedenle daha iyi çürütücü performansı ve daha yüksek biyogaz verimi sağladığı ifade edilmiştir [83].

Kofermantasyon potansiyeli üzerine yapılan bir çalışmada, tek bir atık tipi yerine çeşitli substratların birlikte fermentasyonunun, optimal 300:5:1 olması gereken TOC:A:P (Toplam organik karbon ,azot ve fosfor) besin oranını iyileştirdiğini, aynı zamanda eser metal bileşiklerinin dengelenmesinde olduğu gibi makul mineral karışımları (Na, K, Mg, Mn, vb.) da sağladığını belirtmiştir. Kofermantasyonun bu nedenle stabil ve güvenilir fermentasyon performansı ve iyi kalitede gübre sağlamağa yardımcı olduğunu açıklamıştır [10].

Sığır gübresi ile peynir altı suyunu kofermantasyonu için yapılan bir çalışmada, iki aşamalı, iki fazlı, karıştırılma yapılmayan 155L'lik anaerobik bir reaktörde çalışma yapılmış ve pH'ın metanojenik fazda kontrol edilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır; aksi takdirde biyogaz üretimi mümkün olmadığını belirtilmiştir [84].

Sığır, at, koyun, kümes hayvanları olmak üzere 4 farklı hayvan gübresini ve zeytin, arpa atığı gibi iki farklı bitkisel ürünü kullanmak üzere yapılan bir çalışmada, tasarlanan 16 m³'lük fermentör kullanılmış ve üretilen biyogaz bir kırsal kesimdeki ev aletlerinde kullanılmıştır. Elde edilen biyogaz elektrik üretilmiş, su ısıtma ve yemek pişirmede kullanılmıştır. Fermentör ısıtılmadığından dolayı reaktör içi sıcaklığı; biyogaz miktarı, metan yüzdesi gibi performans parametreleri üzerinde kontrol edici bir etki göstermiştir. Deneysel sonucunda her atık türü için 35 °C'de biyogaz üretimi maksimum değere ulaşmıştır, sıcaklığın bu değer altına düştüğü veya üstüne çıktığı durumda üretilen biyogaz miktarlarının azaldığı kanısına varılmıştır [85].

Türkiye'deki üç önemli tarım endüstrisinin atık sularının; peynir üretimi, kanatlı hayvan yetiştiriciliği ve zeytinyağı endüstrilerinin anaerobik arıtılabilirliği, biyogaz ve metan üretim potansiyeli üzerine çalışma yapılmıştır. İncelenen atıksuların anaerobik biyobozunurluğunu ve biyogaz üretimini belirlemek için deneyler, doğal kauçuk manşonlu tıpalarla kaplanmış 125 mL'lik serum şişelerinde gerçekleştirilmiştir. Serum şişelerinin sıvı hacmi 50 mL ve sıcaklık kontrollü bir odada 35±2°C'de tutulmuştur. Peynir altı suyu, kümes hayvanları gübresi ve zeytinyağı atıksularında anaerobik biyo-dönüşümle, sırasıyla 77±5, 78±3 ve 77±6 yüksek metan içeriğine sahip biyogaz sağlanmıştır. İncelenen peynir altı suyu,

kanatlı yetiştiriciliği ve zeytinyağı değirmeni atıksularının biyo-dönüşümden elde edilen anaerobik metan üretimi 23.4, 33.5 ve 57.5 LCH₄/L atıksu olarak bulunmuştur. Bu nedenle, anaerobik arıtmanın Türkiye'de tarımsal atıksuların arıtımı için uygun bir alternatif sunduğunu, metan gazı şeklinde önemli bir enerji geri kazanımı sağladığını belirtmişlerdir [86].

Koyun ve keçi atıklarının belirli oranlarda zeytin küspesi ile kofermantasyonunun biyogaz üretimine etkilerinin araştırıldığı çalışmada, anaerobik fermantasyon denemeleri mezofilik çalışma koşulları altında (30°C), 40 gün boyunca sürdürülmüştür. En yüksek biyogaz üretimi 29-40 günleri arasında gözlenmiştir. Koyun ya da keçi atıklarını içeren fermantasyon ortamındaki zeytin küspesinin kullanımı arttıkça biyogaz üretimi önemli miktarda azalmıştır. Biyogaz üretimindeki değişikliklerin, pH, elektrik iletkenliği ve toplam çözülmemiş katı değerlerindeki değişikliklere ve fermantasyon sürecindeki toplam ve uçucu katıların azalma değişimlerine bağlı olduğu belirtilmiştir [87].

Sığır gübresinin, meyve-sebze atıklarını ve tavuk gübresi ile kofermantasyonunun etkilerini araştırmak amacıyla yapılan çalışmalarda 18 litrelik sürekli karıştırmalı tank reaktör kullanmış ve çalışmayı mezofilik (35°C) şartlarda yürütülmüştür. Hidrolik bekletme süresi 21 gün olarak ayarlanmış ve yükleme oranı 3,19-5,01 kg VS/m³.d olarak belirlenmiştir. Meyve sebze atıklarının oranının %20 ile %50 arasında artırılması sonucunda metan veriminde 0,23 ile 0,45 m³CH₄/kg VS arasında bir artış gözlenmiştir. Tavuk gübresi miktarının artırılması durumunda ise reaktör performansını olumsuz yönde etkileyecek şartlar ortaya çıkmıştır. Bu durumun amonyak inhibisyonundan kaynaklandığı gözlenmiştir [88].

Kesikli (batch) beslemeli sistemde, mezofilik sıcaklık koşulları altında yapılan evsel katı atık ve gübre kofermantasyonu çalışmasında, farklı karışım oranları ve karıştırma hızını teorik ve deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler sonucunda yüksek organik yükleme oranı ve yoğun karıştırma hızı şartları altında, asitleşme ve prosesin başarısızlıkla sonuçlandığı gözlemlenmiştir. Bununla birlikte organik yükleme oranının düşük olduğu durumda karıştırma hızının prosesi etkilemediğini belirtilmiştir [89].

Bir diğerkofermantasyon çalışmasında yazarlar, sığır gübresi, yemek atıkları ve arıtma çamuru karışımlarının kofermantasyon denemelerini yapmışlardır. Biyogaz verimini artırmak amacıyla, mezofilik ve termofilik şartlarda sürekli karışımı reaktörler tanklarında farklı hidrolik bekletme sürelerinde, ultrason ile ön arıtımı yapılmış olan atıklar ile ön arıtım uygulanmamış olan atıklar için denemeler yaparak karşılaştırmalar yapmışlardır. Organik yükleme oranının arttırılması ve hidrolik bekletme süresinin düşürülmesi durumunda spesifik metan üretiminin düştüğünü gözlenmiştir. Maksimum değer olan 603 L CH₄/kg VS besleme değerine, %70 gübre, %20 yemek atığı ve %10 arıtma çamuru karışımında, 36°C sıcaklık ve 1,2 gVS/L.gün organik yükleme oranında ulaşılmıştır. Organik yükleme oranının 1,5 gVS/L.gün'e yükseltilmesi sonrasında spesifik metan potansiyelinde %20-28 civarında düşüş olduğu gözlenmiştir ve 55 °C sıcaklıkta daha düşük metan oranları elde edilmiştir [90].

İnek gübresiyle tarımsal atıkların kofermantasyonu ile ilgili bir çalışmada, yarı-sürekli beslemeli laboratuvar ölçekli sürekli karıştırılan reaktörlerinde çim silajının, şeker pancarı yaprakları ve yulaf samanının inek gübresiyle kofermantasyonunu değerlendirilmiştir. Beslenen atıklarda bitkilerin uçucu katılarının %40'a varan oranlarda uygulanabilir olduğunu göstermiştir. İnek gübresinin (%70) çim silajı, şeker pancarı yaprakları ve yulaf samanının her biriyle %30 oranında kofermantasyonunda en yüksek spesifik metan verimleri sırasıyla 268, 229 ve 213 LCH₄⁻¹ kg VS elde edilmiştir. Benzer yükleme hızında tek başına inek gübresi ile beslenen reaktörlerde karşılaştırıldığında % 30 oranında şeker pancarı yaprakları, çim ve saman ile %70 oranında gübre ile beslenen birlikte reaktörlerde , hacimsel metan üretimi sırasıyla % 65, 58 ve% 16 oranında artmıştır [82].

Kofermantasyonla ilgili bir diğerkalışmada yazarlar, endüstriyel atık çamuru ile kentsel katı atıkların kofermantasyonunu 3 adet benzer biyoreaktörde 150 gün boyunca çalışmışlardır. Endüstriyel çamur ile kentsel katı atıkların kofermantasyonunu atıkların dengelenmesi ve anaerobik reaktörlerden çıkan sızıntı suyunun arıtılması açısından uygulanabilir bir proses olduğu kanısına varmışlardır. Simülasyonlu anaerobik biyoreaktörlerde endüstriyel çamurun, kensel katı atığa katkısı, %72 metan içeriğinde biyogaz formunda yüksek enerjinin geri kazanıl-

masıdır ve aynı zamanda sızıntı suyu kalitesini arttırmak için uygun bir alternatiftir [91].

Sığır gübresi ve evsel katı atıkların kofermantasyonu ile ilgili bir çalışmada, iki aşamalı, pilot ölçekli deneylerinde, sığır gübresinin anaerobik fermantasyonu sonucu %72 metan oranına sahip 64,8 m³ biyogaz elde etmişlerdir. Sığır gübresi ile evsel katı atıkların kofermantasyonundan ise %73 metan oranına sahip 96,6 m³ biyogaz üretmişlerdir. Sığır gübresi ve sığır gübresi-evsel katı atık karışımının metan verimi sırasıyla 0,08 ve 0,1 m³ CH₄/ton KM olarak bulunmuştur [92].

Sığır gübresi ile hardal yağı küspesi karışımından biyogaz üretiminin geliştirilmesi amacıyla yapılan bir kofermantasyon çalışmasında, başlangıçta sığır gübresine %10 oranında hardal yağı küspesi eklenmiştir ve daha sonra hardal yağı küspesi konsantrasyonu yavaş yavaş %15, %20, %25, %30'a çıkarılmıştır. Hardal yağı küspesinin azot içeriği sığır gübresinden daha fazladır. Karışımındaki hardal küspesi konsantrasyonu artırıldığında, uçucu asit konsantrasyonları da güvenli limitler içerisinde yavaşça artmıştır, pH ise 6,7 ile 7,7 arasında değişkenlik göstermiştir. Sadece sığır gübresi kullanılan kontrol fermantörüne kıyasla gaz üretimindeki maksimum yüzde artışına, Genel olarak %13.38, %25.27, %39.16, % 52.26 ve %63.44 oranında biyogaz artışı karışıma sırasıyla %10, %15, %20, %25 ve %30 hardal yağı küspesi ilavesinde gözlenmiştir. Sindirilen çamurun gübre olarak kullanımı çok iyi olduğu kararına varmışlardır [93].

Sığır ve köpek gübresi kullanarak sebze atıklarından biyogaz eldesi isimli çalışmada, kesikli beslemeli reaktörde, mezofilik koşullar altında, köpek ve büyükbaş hayvan gübreleri arasındaki oranların anaerobik sindirim üzerindeki etkisini araştırılmıştır. Deneyler 28 günde gerçekleştirmişlerdir. 200 litrelik reaktörde ana substrat olarak karışık Çin lahanası ve lahanası kullanmışlardır. Günlük sebze atık yüklemesi, 0.5 kg ve 1.0 kg olarak, denemişlerdir ve 1.0 kg günlük beslemenin optimum biyogaz üretimini sağladığını belirtmişlerdir. Köpek gübresinden ağırlıkça %10 ve % 20 oranında kullanımında, günde üretilen toplam biyogaz miktarı sırasıyla 0.602 m³ ve 0.711 m³ hesaplanmıştır. Köpek gübresi daha yüksek oranda kullanıldığında biyogaz üretiminin arttığı sonucuna varmışlardır [94].

Kara çayır silajı ve büyükbaş gübresi karışımı ile kırmızı yonca silajı ile büyükbaş gübresi karışımının kofermantasyonun biyogaz ve metan üretimi üzerine etkilerini incelemek üzere yapılan çalışmada, silaj ve büyükbaş gübresi, tek substratlar olarak veya ikili karışımların bir parçası olarak inkübe edilmiştir (uçucu katı bazda yem silajı-sığır gübresi oranları: 1: 0, 0.75: 0.25, 0.5: 0.5, 0.25: 0.75 ve 0: 1). Optimum biyogaz eldesi için karıştırma oranları kara çayır – büyükbaş gübresi için 0.75 : 0.25 , kırmızı yonca silajı - büyükbaş gübresi karışımı için ise 0.5 : 0.5 olarak elde edilmiştir [95].

Ön arıtım uygulanmış sığır gübresi ile armut atıklarının anaerobik kofermantasyonunu araştırıldığı çalışmada %0, %25, %75 ve %100 lük içerikler çalışılmıştır. İçerik oranları sığır gübresinin uçucu katılarının yerine armut atıklarının uçucu katıları gelecek şekilde belirlenmiş ve organik yükleme oranı $1,1 \pm 0,4 \text{ g VS L}^{-1} \text{ d}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Yardımcı substratın kullanılmasıyla metan üretiminde artış gözlenmiştir. Tek başına atığın anaerobik fermantasyonundan 1,3-2,8 kat daha fazla metan üretimi gerçekleşmiştir. Genel toplam biyogaz üretimlerine bakıldığında ise 25/75 (sığır gübresi/armut atığı) oranından optimum verim sağlanmıştır [96].

Çay atıkları ile ilgili yapılan bir çalışmada çay posası ve ahır gübresinin, sediment alanına uygulanması ve bitkisel üretime etkisi üzerine çalışmışlardır. Yapılan analizler sonucunda, bitkisel üretim ortamı olma özelliğini önemli açıdan kaybetmiş sedimentlere uygulanan çay posası ve ahır gübresinin, organik madde içeriği, toplam karbon, azot gibi özelliklerinde önemli bir seviyede iyileşme sağladığını tespit etmişlerdir [19].

Çay ile ilgili yapılan diğer bir çalışmada yazarlar, soğuk çay üretim fabrikasından elde edilen sızıntı suyunu kesikli sistem metanojeniz reaktörde biyogaz üretimini test ederek %73 metan içerikli biyogaz eldesi sağlamışlardır [20].

Çay atıkları ile ilgili yapılan çalışmalarda, endüstriyel çay atıklarının toprağa mineral desteği olarak kullanımı [19], endüstriyel soğuk çay üretimi sızıntı suyundan biyogaz üretimi, gama radyasyonu ile taze siyah çayda bakteriyel kontaminasyonun azaltılması ve önemli minerallerin belirlenmesi [20], çeşitli soğuk çayların uçucu

bileşikleri ve sensör özellikleri [21], çay bitkisinin atıklarından aktif karbon üretimi [22], gibi konular üzerinde durulmuştur ancak sığır gübresi ve evsel çay atıklarının kofermantasyonu ile biyogaz üretimi konusunda hiçbir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada, optimum biyogaz veriminin belirlenmesi amacıyla, sığır gübresi ile evsel çay atıklarının kofermantasyonundan optimum biyogaz ve metan verimi eldesi çalışmaları yapılmıştır.



BÖLÜM 3

MATERYAL VE METOD

3.1. ATIK KARAKTERİZASYONU

Bu çalışmada sığır gübresi, evsel çay atıkları ve aşı kullanılmıştır. Sığır gübresi 50 sığıra sahip bir çiftlikten elde edilmiştir. Çay atıkları ise Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi öğrenci kantininden temin edilmiştir. Kullanılan çay markası, İktisadi Devlet Teşekkülü olan ÇAYKUR 'un [Çay İşletmeleri Genel Müdürlüğü] Hemşin organik havzasında üretilen, üretimden tüketime kadar her aşaması sertifikalanmış, hiçbir aşamasında kimyasal kullanılmamış olan organik Hemşin çayıdır. Sadece su ile demlenmiş başka bir atıkla karışmadan kaynağında ayırma yöntemiyle toplanmıştır.

Çalışmada kullanılan aşı ise Karabük üniversitesine ait büyükbaş hayvan gübresi ile mezofilik şartlarda sürekli beslemeli sistemle çalışan 6 m³ reaktöre ve 6 m³ son depolama tankına sahip pilot ölçekli biyogaz tesisinden temin edilmiştir. Atıklar karakterize edildikten sonra kullanılabildiği kadar +5°C 'de buzdolabında bekletilmiştir.

3.2. ANALİTİK METODLAR

Biyogaz ölçümleri günlük olarak su yer değiştirme prensibine göre çalışan bir gazometre ile gerçekleştirilmiştir ve elde edilen biyogazdaki metan, karbondioksit, hidrojen sülfür içeriği GEOTECH 5000 model biyogaz analiz cihazı ile yapılmıştır. pH ölçümleri WTW Inolab 720 ph metreyle, Karbon (C), Azot (N), toplam katı madde (TS), uçucu katı madde (VS) ve kimyasal Oksijen ihtiyacı (COD) ölçümleri standart metotlara göre yapılmıştır [97].



Şekil 3.1. Etüv.

Kuru madde analizi SM 2540 standart metoduna uygun olarak gravimetrik olarak yapılmıştır.



Şekil 3.2. Kül fırını.

Uçucu kuru madde analizi SM 2540 B standart metoduna uygun olarak gravimetrik olarak gerçekleştirilmiştir.

Kimyasal Oksijen ihtiyacı (KOİ) analizleri SM 5220 B standart metoduna uygun olarak Closed- refluxed yöntemi ile titrimetrik olarak ölçülmüştür. KOİ analizlerinde termoreaktör cihazı kullanılmıştır.



Şekil 3.3. Termoreaktör.

Karbon ve Azot içerikleri Thermo Scientific FLASH 2000 Analizör cihazı kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 3.4. Elemental analizör.

Tüm reaktörlerin pH ölçümleri deney başlangıcında ve sonunda pH metre cihazı ile yapılmıştır.



Şekil 3.5. pH metre.

Reaktörlerde üretilen biyogazdaki metan, karbondioksit, hidrojen sülfür içeriği biyogaz analiz cihazı ile yapılmıştır.



Şekil 3.6. Portatif gaz analizörü.



Şekil 3.7. Isıtıcılı manyetik karıştırıcı ve su banyosu.

Reaktör içi istenen sıcaklık ve karıştırma hızını sağlamak için Şekil 3.7’de gösterilen ısıtıcılı manyetik karıştırıcı ve su banyosu kullanılmıştır. Atık karakteristikleri Çizelge 3.1’de özetlenmiştir.

Çizelge 3.1. Kullanılan atıkların karekteristik özellikleri.

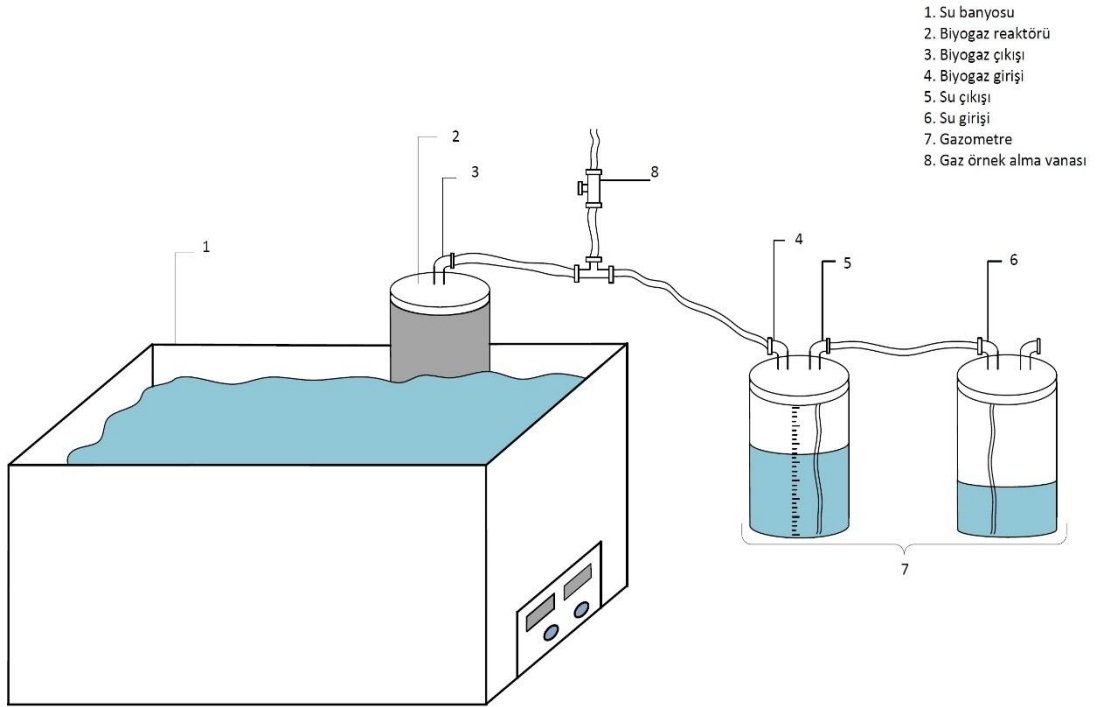
<i>Parametre</i>	<i>Sığır Gübresi</i>	<i>Çay Atığı</i>	<i>Aşı</i>
Karbon, C (%)	38,57±0.5	53,78±0.9	35,81±0.4
Nitrojen, N (%)	5,86±0.6	3,81±0.4	4,43±0.8
C: N	6,582	14,12	8,08
Toplam Katı, TS (%)	23,61±0.8	30,5±0.2	10±0.1
Uçucu katı madde, VS (%)	90,42±4.3	97,21±0.8	91,13±2.7
Kimyasal Oksijen İhtiyacı, KOİ (mg/L)	29600±248	na	na
pH	6,98±0.05	5,37±0.08	7,04±0.07

3.3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

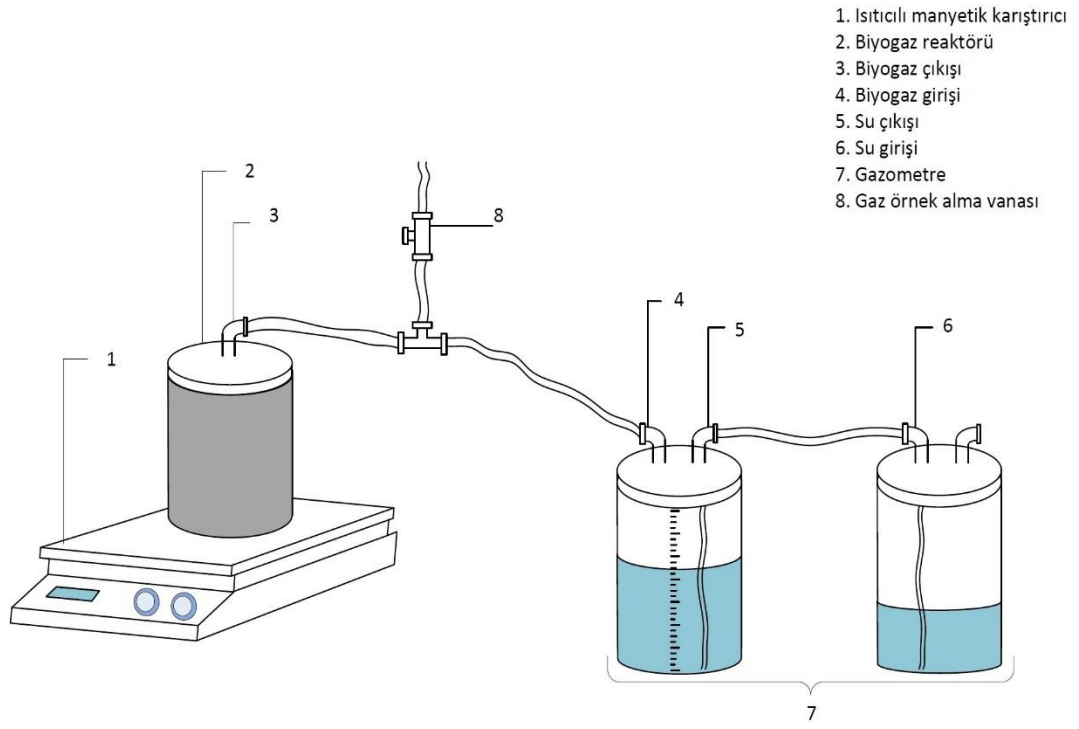
Sığır gübresinin çay atıklarıyla birlikte kofermantasyonu sonucu elde edilecek biyogaz verimini belirlemek için yapılan deneylerde reaktör olarak 1 litrelik cam şişeler kullanılmıştır. Reaktör olarak kullanılan cam şişelerin etrafı ışık almaması için kaplanmıştır, hava sızdırmazlıkları vidalı kapak, conta ve pnömatik hortum ve rekorlar ile sağlanmıştır. Karıştırma hızının biyogaz üretimi üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla iki deney düzeneği kurulmuştur.

Şekil 3.8’de sıcaklık kontrollü su banyosu, sıcaklığı sabit tutmak için kullanılmış ve reaktörler günde bir kez elle çalkalanmıştır.

Şekil 3.9’da gösterilen ikinci düzende ise ısıtıcılı manyetik karıştırıcılar, karıştırma işlemini gerçekleştirmek ve sıcaklığı sabit tutmak için kullanılmıştır. Günlük biyogaz üretimi, su değiştirme prensibi ile ölçülmüştür.



Şekil 3.8. Su banyosu kullanılan deney sistemi.



Şekil 3.9. Manyetik ısıtıcı karıştırıcı kullanılan deney sistemi.



Şekil 3.10. Manyetik ısıtıcı karıştırıcı kullanılan deney setleri.



Şekil 3.11. Su banyosu kullanılan deney setleri I.



Şekil 3.12. Su banyosu kullanılan deney setleri II

Bu çalışmada, sığır gübresi ve çay atıklarının karışım oranı ve reaktör karıştırma hızının biyogaz üretimine etkisi olmak üzere iki önemli faktör incelenmiştir. Tüm reaktörlerde 100 ml aşırı eklenerek, 0.6 litre çalışma hacminde, kuru madde oranı %10 ayarlanmış, deneyler mezofilik şartlarda (37°C) kesikli beslemeli sistem olarak 3 tekerrürlü olarak yapılmıştır. Anaerobik fermantasyon işlemi, reaktörlerdeki biyogaz üretiminin bitimine kadar 80 gün boyunca gerçekleştirilmiştir. Çizelge 3.2’de reaktör karışım oranları ve karıştırma hızları belirtilmiştir.

Çizelge 3.2. Reaktör karışım içeriği ve karıştırma hızları.

<i>Reaktörler</i>	<i>Sığır Gübresi</i>	<i>Çay Atıkları</i>	<i>Karıştırma hızı (rpm)</i>
A1	100%	0%	100
A2	75%	25%	100
A3	50%	50%	100
A4	25%	75%	100
A5	0%	100%	100
N1	100%	0%	0
N2	75%	25%	0
N3	50%	50%	0
N4	25%	75%	0
N5	0%	100%	0

Anaerobik fermantasyon, organik maddelerin biyogaza dönüştürüldüğü hidroliz, asitojenez, asetojenez ve metanojenez basamaklarından oluşan biyolojik bir süreçtir. Sıcaklık, organik yükleme hızı, hidrolik bekleme süresi ve pH gibi parametreler genellikle anaerobik fermantasyon işleminin performansını izlemek için kullanılmıştır. Bunlar arasında en yaygın kullanılan parametre pH'dır. pH, anaerobik fermentasyon sırasında asidojenik ve metanojenik mikrobiyal toplumu doğrudan etkiler [98]. Hidroliz ve asidogenez için optimum pH 5.5-6.5 arasında ve metanojenez için 6.8-7.2 arasındadır [99]. Bu nedenle, 1N Sodyum Hidroksit (NaOH) eklenerek reaktörlerin pH değeri 6.5-7.5 arasında ayarlandı [100]. Anaerobik fermantasyon prosesi genellikle mezofilik ve termofilik sıcaklıklarda gerçekleşmektedir. Metanojenez mikroorganizmalar geniş bir sıcaklık aralığında yaşayabilir fakat optimum çalışma koşulları metanojenez mikroorganizmalar için mezofilik sıcaklıklarda sağlanmaktadır [41]. Bu nedenle, bu çalışma sadece

mezofilik sıcaklık ($37\pm 2^{\circ}\text{C}$) koşullarında gerçekleştirilmiştir. Tüm reaktörlerin başlangıç özellikleri Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Reaktörlerin başlangıç özellikleri.

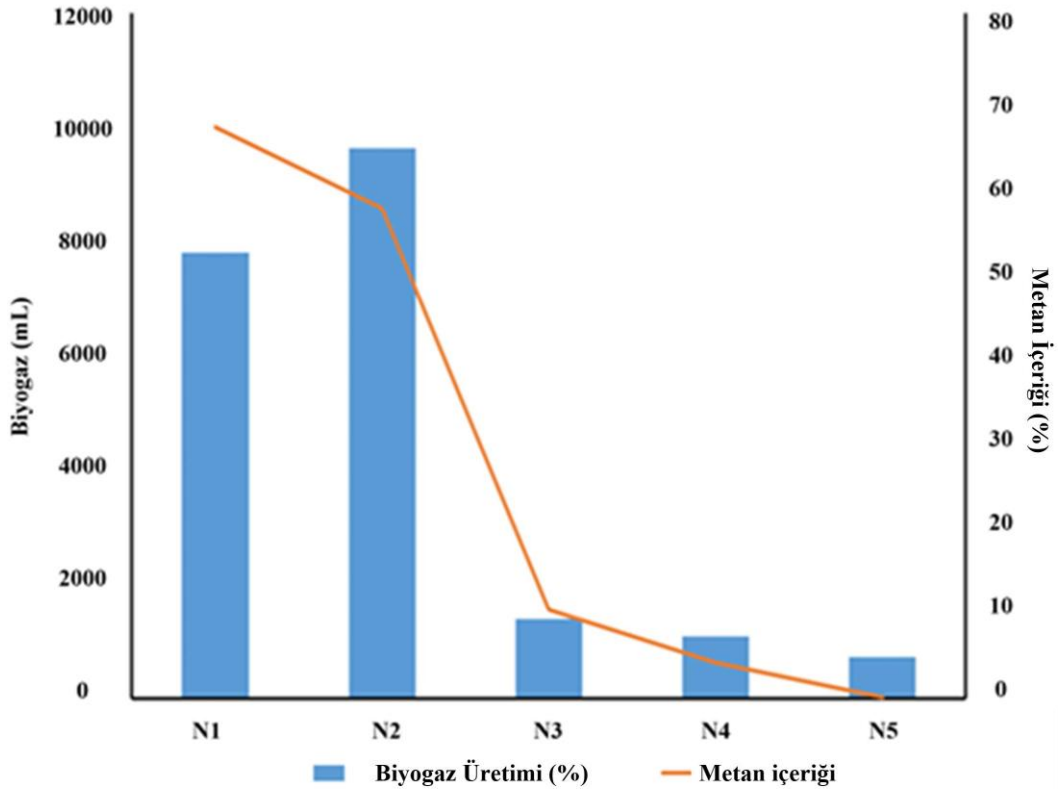
Reaktör	TS (g/L)	VS (%)	KOI (mg/L)	pH
A1	50	76.64 \pm 3.2	29600 \pm 153	7.04 \pm 0.08
A2	50	80.87 \pm 2.8	28200 \pm 242	7.40 \pm 0.05
A3	50	81.64 \pm 1.9	34200 \pm 306	6.81 \pm 0.06
A4	50	83.85 \pm 3.1	40000 \pm 313	6.79 \pm 0.03
A5	50	86.15 \pm 2.4	43400 \pm 297	7.67 \pm 0.04
N1	50	77.23 \pm 2.3	29800 \pm 162	7.29 \pm 0.06
N2	50	80.94 \pm 1.8	28300 \pm 254	7.26 \pm 0.05
N3	50	82.78 \pm 2.7	34100 \pm 330	6.91 \pm 0.05
N4	50	83.22 \pm 1.4	38900 \pm 190	7.07 \pm 0.04
N5	50	84.03 \pm 1.5	41300 \pm 145	7.50 \pm 0.07

BÖLÜM 4

VERİLER VE DEĞERLENDİRMELER

Laboratuvar ölçekli anaerobik fermentasyon çalışmasında 2 önemli parametre üzerinde deneyler yapılmıştır. Bu parametreler büyükbaş hayvan gübresi ve çay atıklarının kofermantasyonundan optimum biyogaz ve metan içeriği eldesi için, reaktör karışım oranları ve besleme yapılan reaktörlerin karıştırma hızının biyogaz üretimi ve metan içeriğine etkisidir.

4.1. Kofermantasyon Deney Sonuçları



Şekil.4.1. N grubu reaktörlerinin toplam biyogaz üretimi ve metan içeriği.

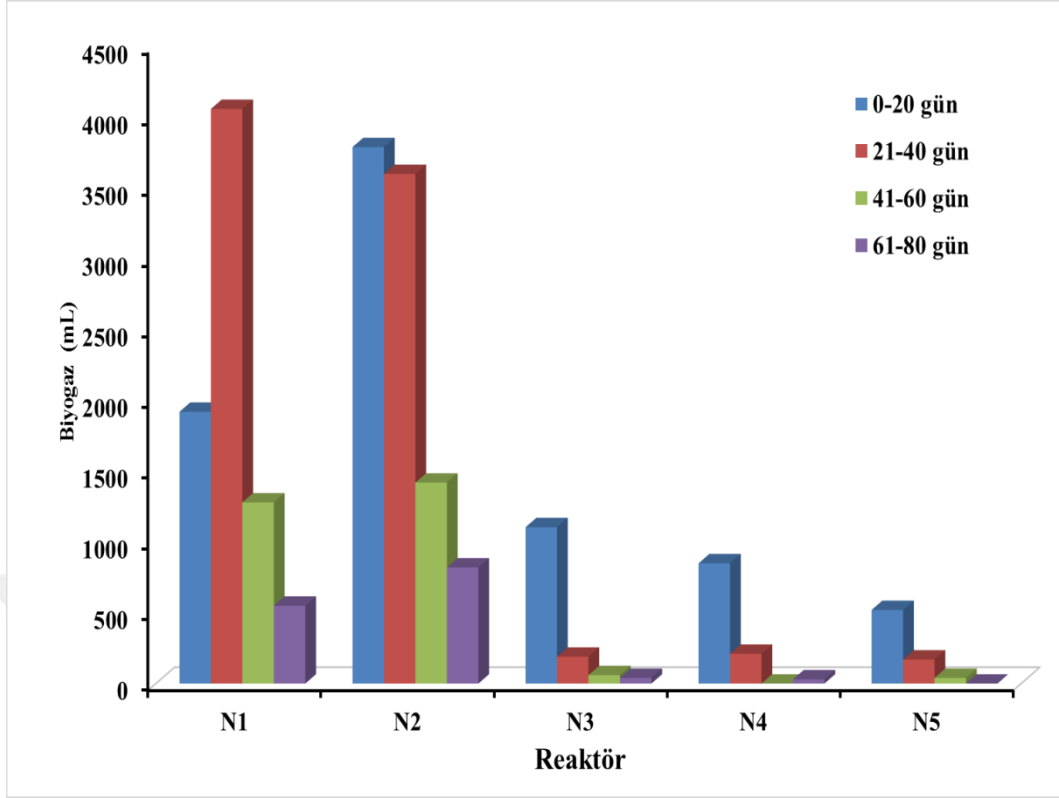
N grubu reaktörleri için toplam biyogaz üretimi ve metan içerikleri Şekil 4.1’de gösterilmiştir. N grubu reaktörlerde substrat karışım oranları Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. N grubu reaktörlerin substrat karışım oranları.

<i>Reaktörler</i>	<i>Sığır Gübresi</i>	<i>Çay Atıkları</i>	<i>Karıştırma hızı (rpm)</i>	<i>Sıcaklık °C</i>	<i>Aştı (ml)</i>	<i>Kuru Madde oranı (%)</i>
N1	100%	0%	0	37	100	10
N2	75%	25%	0	37	100	10
N3	50%	50%	0	37	100	10
N4	25%	75%	0	37	100	10
N5	0%	100%	0	37	100	10

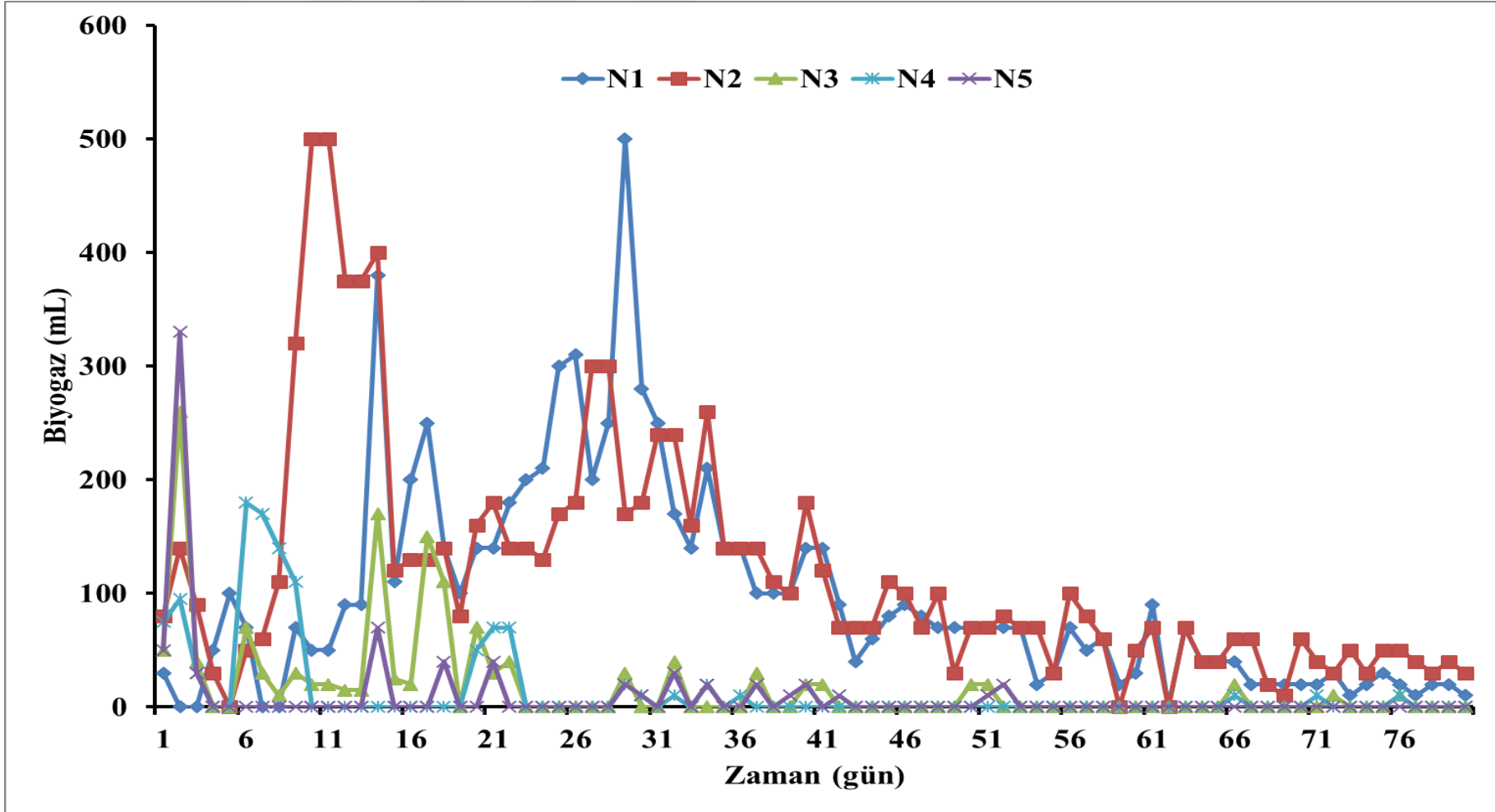
Tüm reaktörler gaz çıkışını engelleyebilecek yüzey tabakası oluşumunu engellemek için, sadece günde 1-2 dakika el ile karıştırılmıştır. Şekil 4.1’de görüldüğü üzere en yüksek biyogaz eldesi N2 reaktöründe elde edilmiş olup onu sırasıyla N1, N3, N4, N5 reaktörleri takip etmiştir.

Reaktörlerden elde edilen biyogazdaki metan içerikleri karşılaştırıldığında ise en yüksek değer N1 nolu reaktörden elde edildiği görülmüştür. Metan içeriğine göre reaktörleri sıraladığımızda ise N1 reaktöründen sonra sırasıyla N2, N3, N4, N5 reaktörleri gelmektedir.

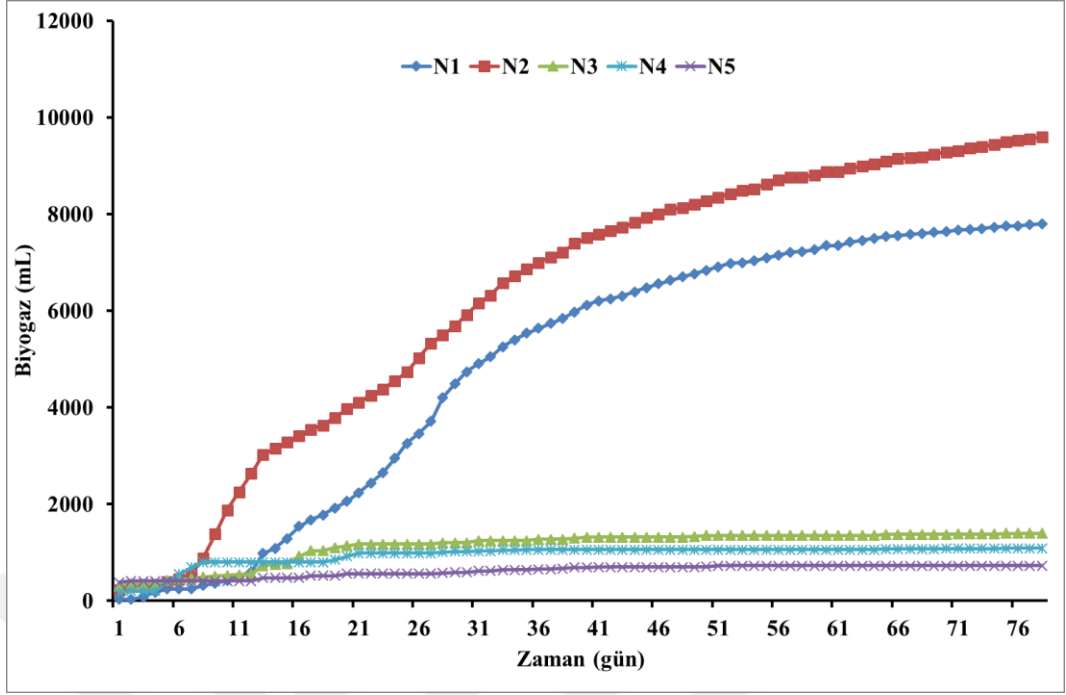


Şekil 4.2. N grubu reaktörleri periyodik biyogaz üretimleri.

N grubu reaktörleri periyodik gaz üretim miktarları Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Elde edilen verilere göre her bir reaktörden en çok ilk 40 gün içerisinde biyogaz elde edilmiştir. 1. Periyot olan ilk 20 günde en çok biyogaz eldesi N2 nolu reaktörden elde edilmiştir. Daha sonra onu sırasıyla N1, N3, N4, N5 reaktörleri takip etmektedir. 20. gün ile 40. gün arası olan 2. Periyotta ise en yüksek biyogaz eldesi sadece büyükbaş hayvan gübresi içeren N1 nolu reaktörden elde edilmiştir. 3. Periyotta her bir reaktörde biyogaz üretim oranı önemli derecede azalmış olup, 4. periyotta her reaktörde en düşük gaz üretimleri gerçekleşmiştir. 80 günün sonunda tüm reaktörlerde gaz üretimleri tamamen durmuş ve deneyler sona erdirilmiştir.

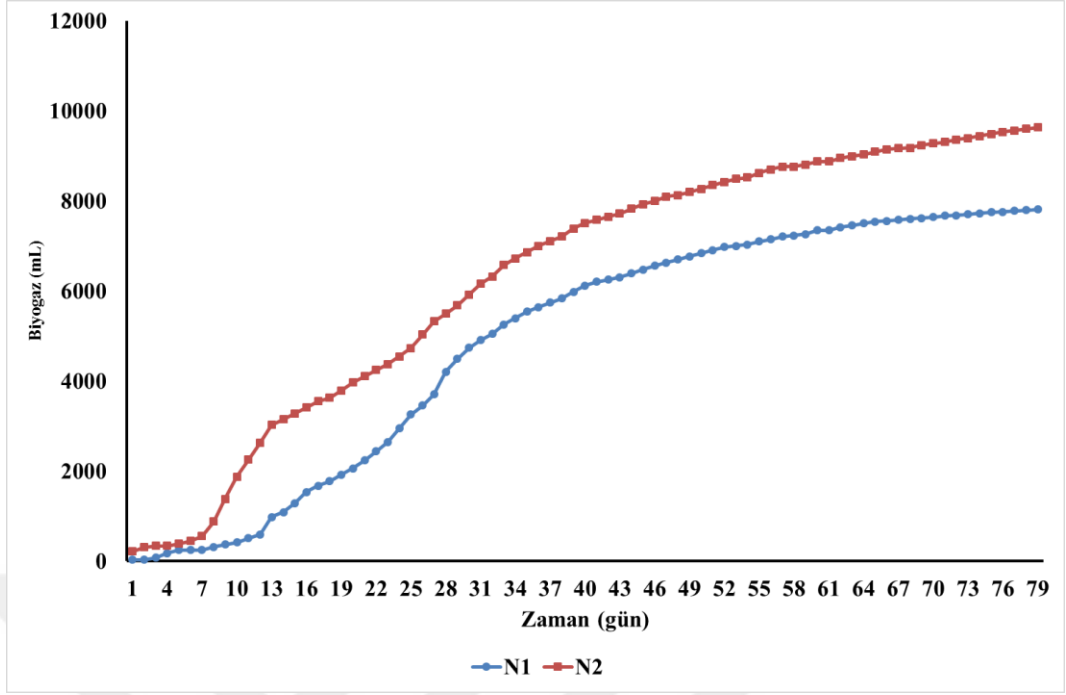


Şekil 4.3. N grubu reaktörleri günlük biyogaz üretimleri.

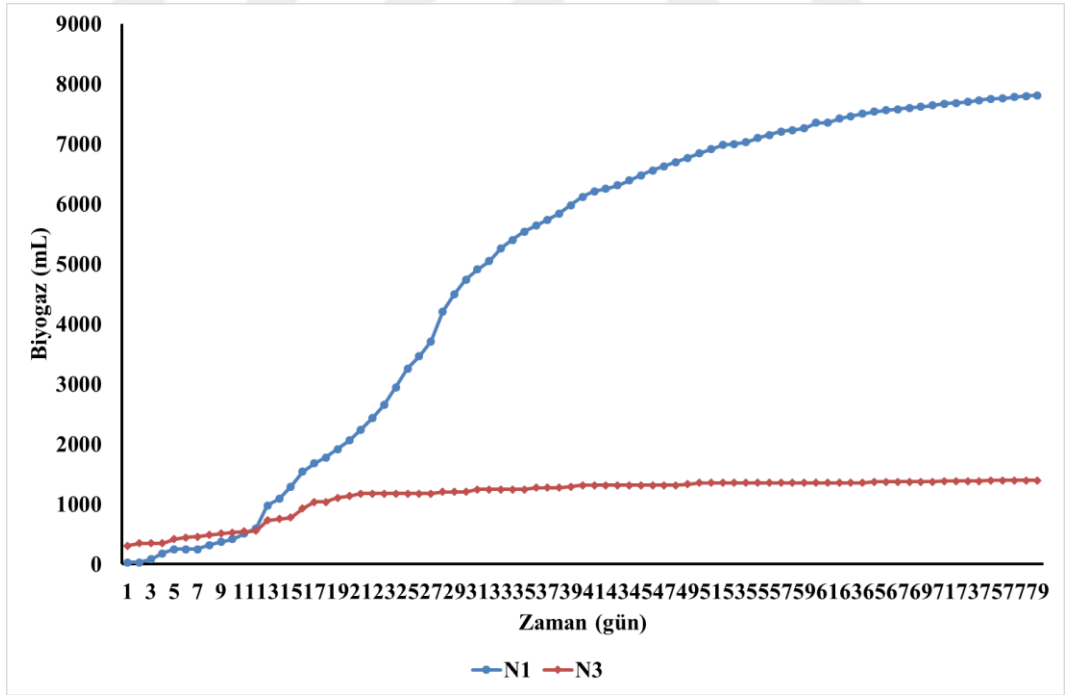


Şekil 4.4 N grubu reaktörleri toplam biyogaz üretimleri.

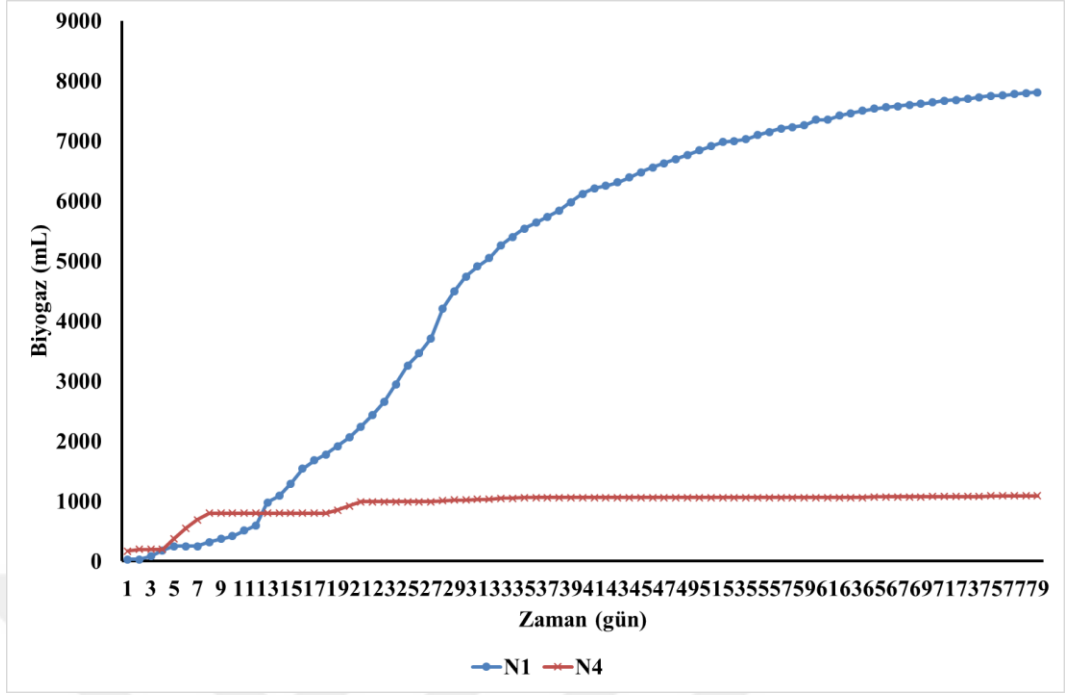
Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te N grubu reaktörlerin günlük ve toplam biyogaz üretimleri verilmiştir. Elde edilen verilerde görüldüğü üzere tüm reaktörlerde günlük biyogaz üretimleri en fazla 3 gün boyunca aynı miktarda üretmiş olup, genellikle değişkenlik göstermektedir. N1 ve N2 reaktörleri hem günlük hem de toplam biyogaz üretiminde diğer reaktörlere nazaran daha fazla biyogaz üretimi sağlamıştır. N1 reaktörü 11. günden sonra günlük biyogaz miktarını arttırmış en yüksek günlük üretimine 29. günde ulaşmış ve daha sonra azalarak üretmeğe devam etmiştir. N2 reaktörü 10. günde en fazla günlük üretimine ulaşmış 40. günden sonra azalarak üretmeyi sürdürmüştür. Ayrıca N3, N4, N5 reaktörleri 20. günden sonraki her gün, çok az ya da hiç biyogaz üretimi sağlamamıştır.



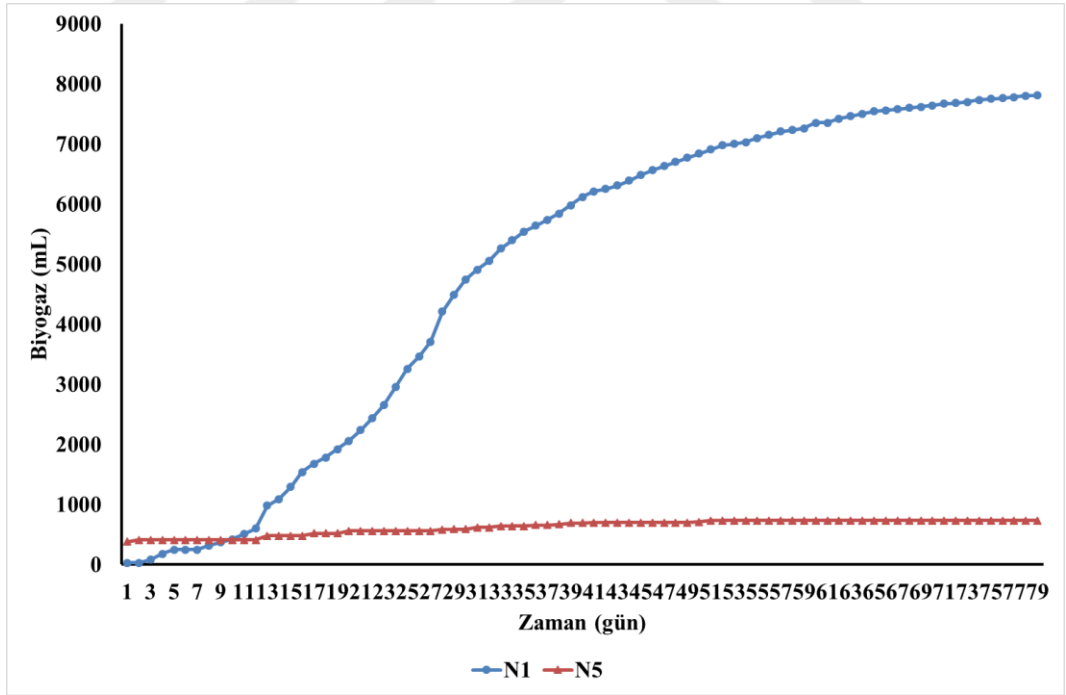
Şekil 4.5. N1 – N2 reaktörleri toplam biyogaz üretimleri karşılaştırılması.



Şekil 4.6. N1 – N3 reaktörleri toplam biyogaz üretimleri karşılaştırılması.

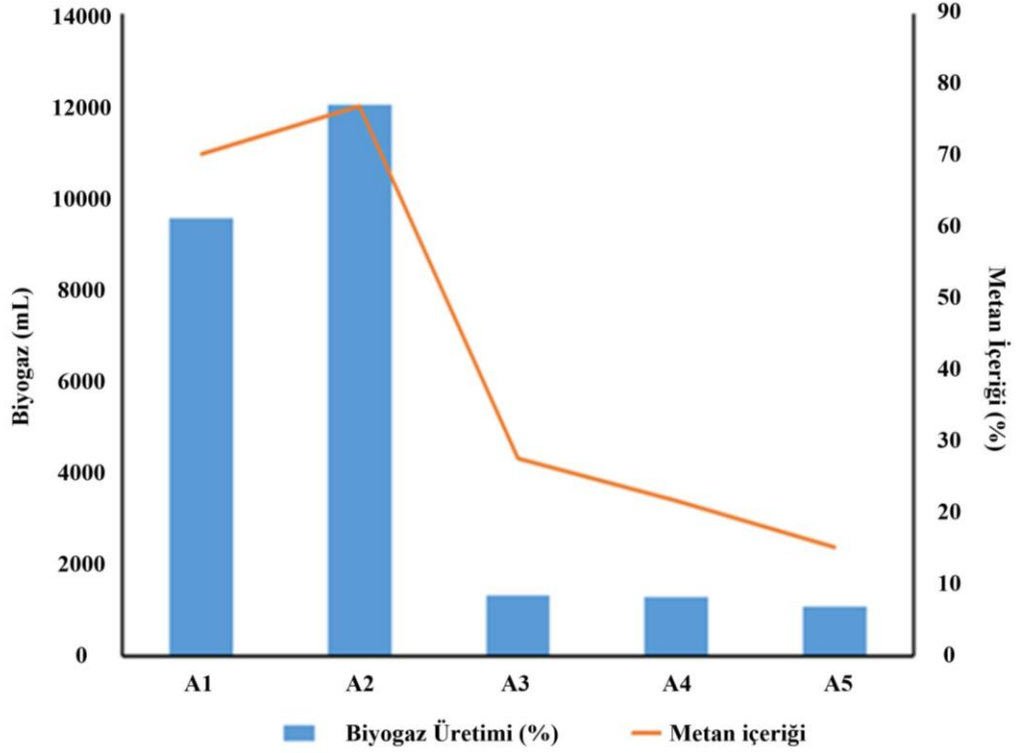


Şekil 4.7. N1 – N4 reaktörleri toplam biyogaz üretimleri karşılaştırılması.



Şekil 4.8. N1 – N5 reaktörleri toplam biyogaz üretimleri karşılaştırılması.

4.2. Karıştırma Hızı Deney Sonuçları



Şekil.4.9. A grubu reaktörlerinin toplam biyogaz üretimi ve metan içeriği.

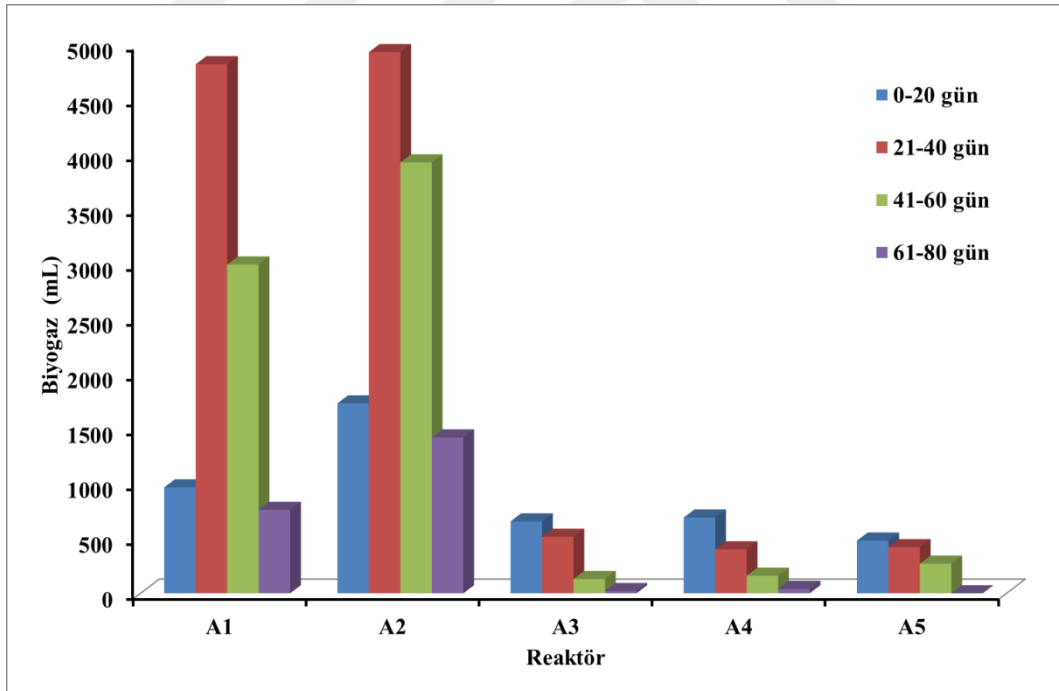
A grubu reaktörleri için toplam biyogaz üretimi ve metan içerikleri Şekil 4.9'da gösterilmiştir. A grubu reaktörlerde substrat karışım oranları Çizelge 4.2'de gösterilmiştir.

Tüm reaktörler karıştırma hızının biyogaz üretimi ve metan verimine etkisini gözlemlemek için, ısıtıcılı manyetik karıştırıcı kullanılarak deney süresince sürekli olarak 100 rpm hızda karıştırılmıştır. Şekil 4.9'da görüldüğü üzere en yüksek biyogaz miktarı A2 reaktöründe elde edilmiş olup, onu sırasıyla A1, A3, A4, A5 reaktörleri takip etmiştir.

Çizelge 4.2. A grubu reaktörlerin substrat karışım oranları.

<i>Reaktörler</i>	<i>Sığır Gübresi</i>	<i>Çay Atıkları</i>	<i>Karıştırma hızı (rpm)</i>	<i>Sıcaklık °C</i>	<i>Aşı (ml)</i>	<i>Kuru Madde oranı (%)</i>
A1	100%	0%	100	37	100	10
A2	75%	25%	100	37	100	10
A3	50%	50%	100	37	100	10
A4	25%	75%	100	37	100	10
A5	0%	100%	100	37	100	10

Reaktörlerden elde edilen biyogazdaki metan içerikleri karşılaştırıldığında ise en yüksek değer A2 nolu reaktörden elde edildiği görülmüştür. Metan içeriğine göre reaktörleri sıraladığımızda ise A2 reaktöründen sonra sırasıyla A1, A3, A4, A5 reaktörleri gelmektedir.

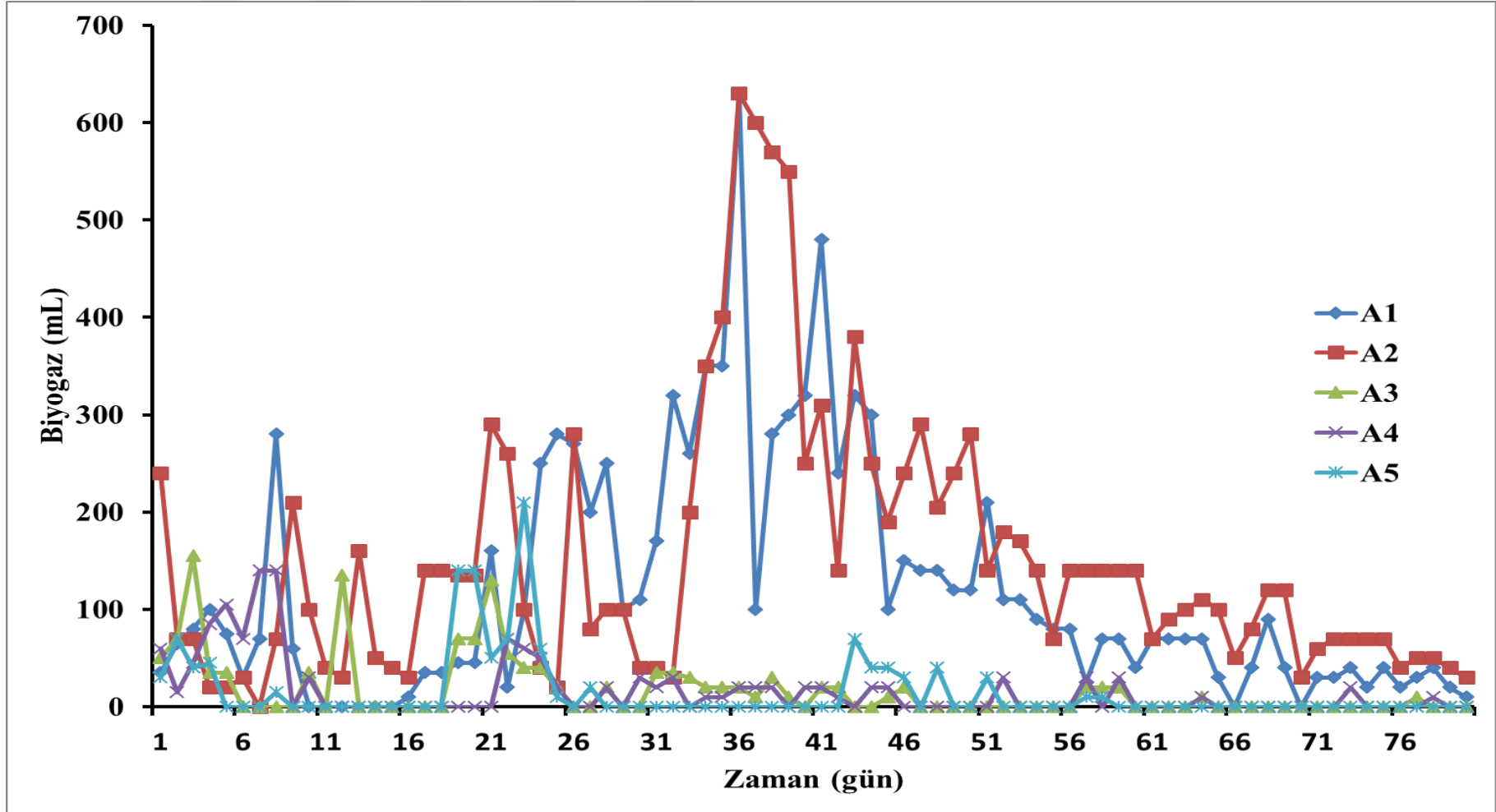


Şekil 4.10. A grubu reaktörleri periyodik biyogaz üretimleri.

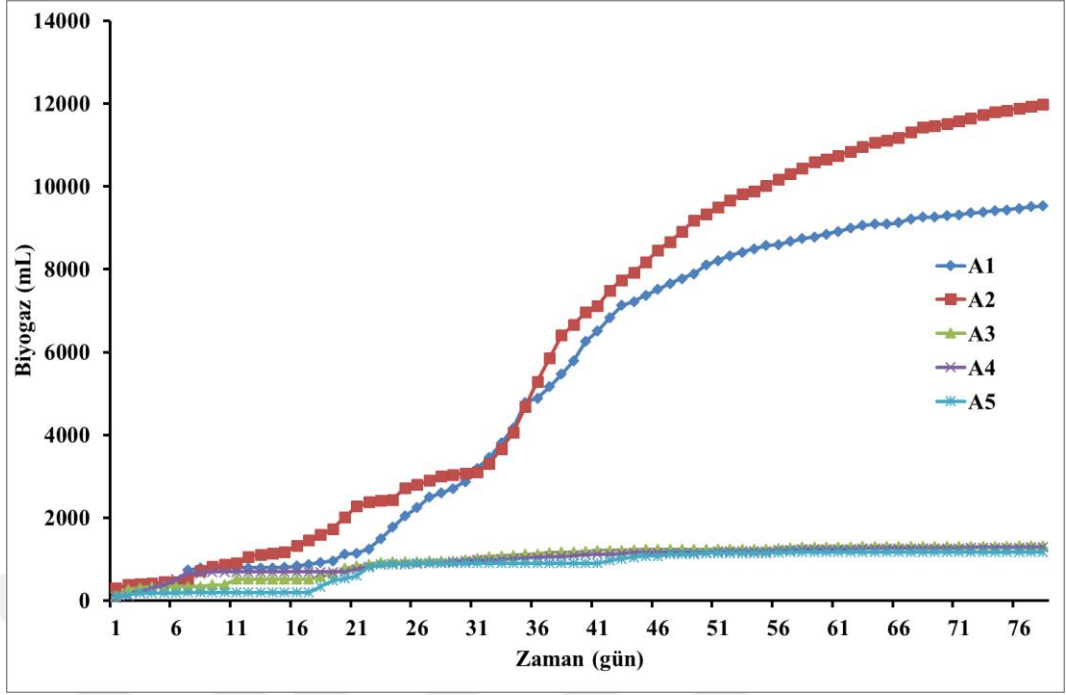
A grubu reaktörleri periyodik gaz üretim miktarları Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Elde edilen verilere göre A1 ve A2 reaktörlerinde en çok biyogaz 20 ila 60. gün içerisinde elde edilmiştir. A3, A4 ve A5 nolu reaktörlerde ise en fazla biyogaz üretimi ilk 40

gün içerisinde gerçekleşmiştir. 1. Periyot olan ilk 20 günde en çok biyogaz eldesi A2 ve A1 nolu reaktörlerden elde edilmiştir. Daha sonra onu sırasıyla A3, A4, A5, reaktörleri takip etmektedir. Fakat A4 ve A5 nolu reaktörlerden üretilen biyogaz içeriği yoğunlukla CO₂ içermekte ve az miktarda metan içermektedir. 2. Periyot olan 20. gün ile 40. gün arasında ise en yüksek biyogaz eldesi A2 ve A1 nolu reaktörden elde edilmiştir. 3. Periyotta her bir reaktörde biyogaz üretim oranı önemli derecede azalmış olup, 4. periyotta her reaktörde en düşük gaz üretimleri gerçekleşmiştir. 80 günün sonunda tüm reaktörlerde gaz üretimleri tamamen durmuş ve deneyler sona erdirilmiştir.



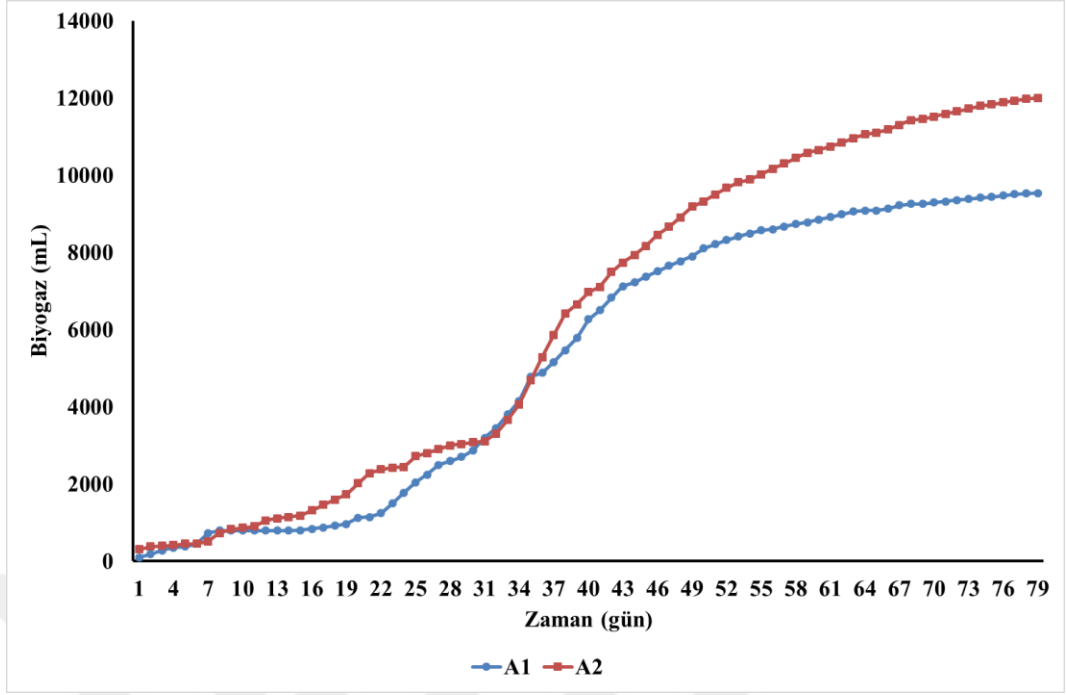


Şekil 4.11. A grubu reaktörleri günlük biyogaz üretimleri.

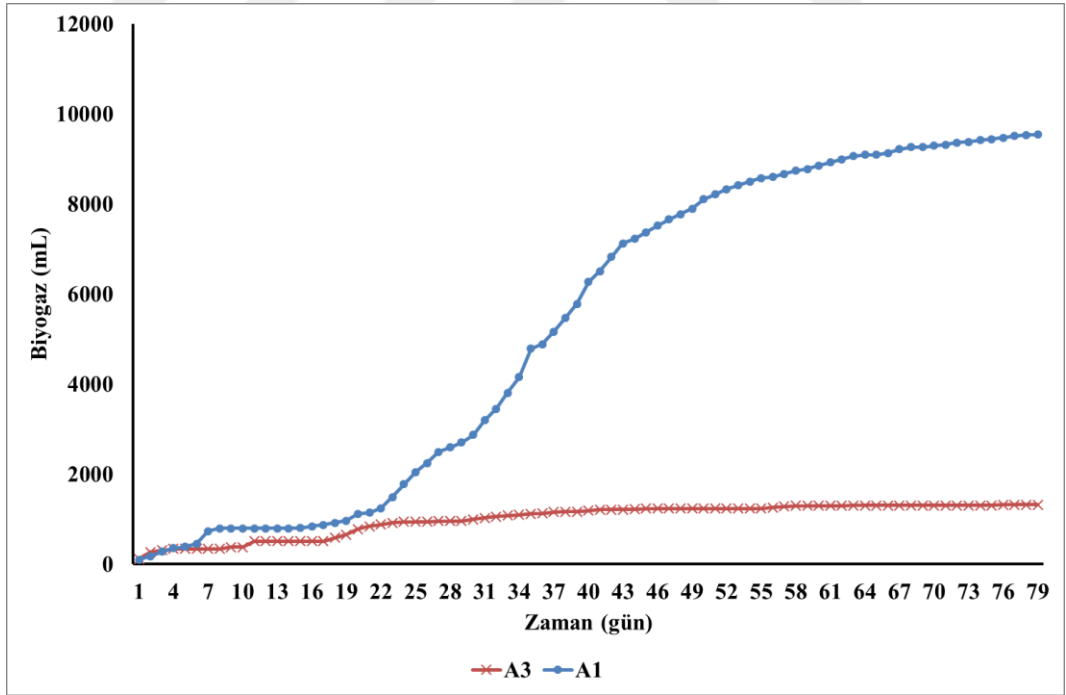


Şekil 4.12. A grubu reaktörleri toplam biyogaz üretimleri.

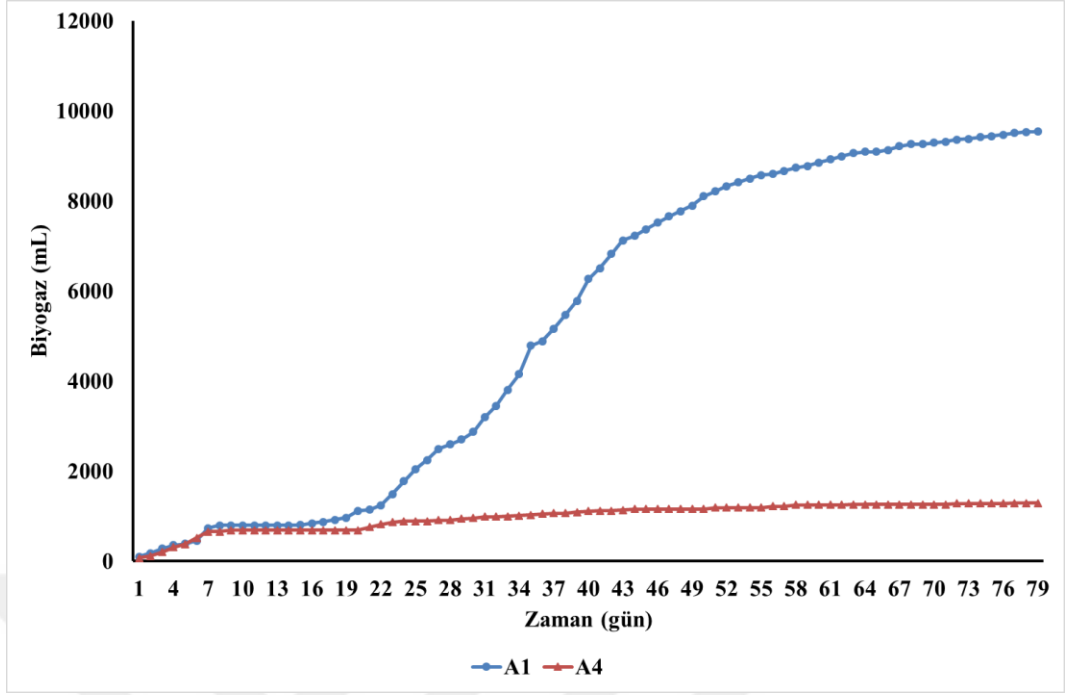
Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de A grubu reaktörlerin günlük ve toplam biyogaz üretimleri verilmiştir. Elde edilen verilerde görüldüğü üzere tüm reaktörlerde günlük biyogaz üretimleri en fazla 4 gün boyunca aynı miktarda üretmiş olup, genellikle değişiklik göstermektedir. A1 ve A2 reaktörleri hem günlük hem de toplam biyogaz üretiminde diğer reaktörlere göre daha fazla biyogaz üretimi sağlamıştır. A1 reaktörü 20. günden itibaren günlük biyogaz miktarını arttırmış en yüksek günlük üretimine 37. günde ulaşmış ve daha sonra azalarak üretmeye devam etmiştir. A2 reaktörü 30. günden itibaren günlük biyogaz üretimini büyük oranda arttırmış ve 37. günde en fazla günlük üretime ulaşmıştır 37. günden sonra azalarak üretmeyi sürdürmüştür. Ayrıca A3, A4, A5 reaktörleri 30. günden sonraki her gün, çok az ya da hiç biyogaz üretimi sağlamamıştır.



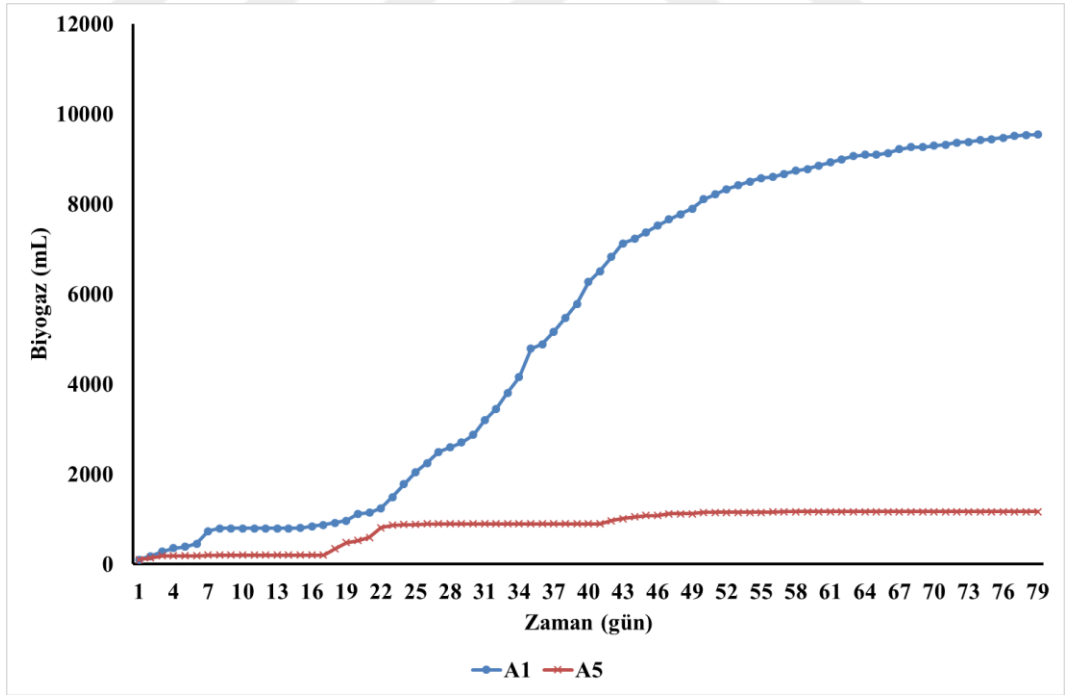
Şekil 4.13. A1-A2 reaktörleri toplam biyogaz üretimleri karşılaştırılması.



Şekil 4.14. A1-A3 reaktörleri toplam biyogaz üretimleri karşılaştırılması.



Şekil 4.15. A1-A4 reaktörleri toplam biyogaz üretimleri karşılaştırılması.



Şekil 4.16. A1-A5 reaktörleri toplam biyogaz üretimleri karşılaştırılması.

A1 ve N1 reaktörleri sadece sığır gübresi ile beslenilmiş olup aralarındaki fark ise karıştırma hızıdır. A1 reaktöründe karıştırma 100 rpm olmasına karşın N1 reaktörü sadece günde 1-2 dakika elle karıştırılmıştır. Deneylerin sonuçlandığı 80 gün sonunda A1 reaktöründen 9540 ml, N1 reaktöründen ise 7810 ml biyogaz elde edilmiştir. Sonuç olarak A1 reaktöründen %22 daha fazla biyogaz elde edilmiştir.

Dahası Çizelge 4.3’de görüldüğü üzere maksimum metan içeriği %70.3 olmak üzere A1 reaktöründen, %66.7 olmak üzere N1 reaktöründen elde edilmiştir. Bu veriler ışığında, 100 rpm olan karıştırma hızının, biyogaz üretimine ve metan içeriğine pozitif anlamda etki ettiği görülmüştür. Buna ek olarak A1 ve N1 reaktörlerinin biyogaz verimleri sırasıyla 248.95 mL/gVS, 203.81 mL/gVS, metan verimleri sırasıyla 175.01 mL/gVS, 135.94 mL/gVS olarak elde edilmiştir. Elde edilen bu veriler, daha önce büyükbaş hayvan gübresi ile ilgili yapılan benzer çalışmalarda olduğu gibi 200-300 mL/gVS aralığında elde edilmiştir [64].

Çizelge 4.3. Reaktörlerin son karakteristik özellikleri

<i>Reaktör</i>	<i>pH İlk</i>	<i>pH Son</i>	<i>Biyogaz Verimi (mL/gVS)</i>	<i>CH₄ (%)</i>	<i>CH₄ Verimi (mL/gVS)</i>	<i>KOİ Giderimi (%)</i>
A1	7.04±0.08	6.97±0.02	248.95±17.2	70.30±2.8	175.01±4.9	75.9
A2	7.40±0.05	7.28±0.04	296.89±18.4	77.10±3.1	228.90±9.1	68.3
A3	6.81±0.06	5.09±0.05	32.33±6.4	27.70±2.2	8.73±4.3	65.1
A4	6.79±0.03	5.39±0.08	30.76±4.2	21.80±1.8	6.70±2.1	67.6
A5	7.67±0.04	5.60±0.09	27.16±3.8	15.30±2.4	4.15±3.2	64.2
N1	7.29±0.06	7.06±0.04	203.81±15.8	66.70±2.8	135.94±6.1	84.1
N2	7.26±0.05	6.98±0.06	238.16±19.6	57.20±3.1	135.75±8.0	77.3
N3	6.91±0.05	5.44±0.07	34.17±5.8	19.20±1.7	6.50±3.3	62.1
N4	7.07±0.04	5.44±0.05	25.99±5.6	14.70±1.3	3.82±1.2	68
N5	7.50±0.07	5.56±0.08	16.71±4.4	8.90±2.3	1.48±0.7	65.1

A2 ve N2 reaktörleri %75 sığır gübresi ve %25 çay atıklarından oluşmaktadır. Deney süresince A2 reaktöründen toplam 12005 ml, N2 reaktöründen toplam 9630 ml biyogaz elde edilmiştir. Elde edilen bu verilere göre A2 reaktörü, aynı karışım oranına fakat farklı karıştırma hızına sahip olan N2 reaktöründen %24.67 daha fazla

biyogaz verimi, aynı karıştırma hızına fakat farklı karışım oranına sahip A1 reaktöründen ise %25.83 daha fazla biyogaz verimi sağlamıştır. Ayrıca Çizelge 4.3'te görüldüğü üzere A2, A1, N2 reaktörleri sırasıyla %77.1, %70.3 ve %57.2 metan verimleri elde edilmiştir. Bu veriler kapsamında, %75 sığır gübresi ve %25 çay atığının kofermentasyonu sonucunda, literatürde tarif edildiği gibi sığır gübresi anaerobik mono-fermantasyonundan daha fazla metan içeriği sağlamıştır.

A3-A4-A5'in toplam biyogaz üretimi Şekil 4.9'da gösterildiği gibi sırasıyla 1320ml, 1290ml ve 1170 ml'dir. Ayrıca N3-N4-N5 reaktörlerindeki biogaz üretimleri sırasıyla 1395ml, 1090ml ve 720 ml'dir. Ek olarak, biyogaz metan içeriği sırasıyla A3-A4-A5 için %27.7, % 21.8 ve % 15.3, N3-N4-N5 için % 19.2, % 14.7 ve % 8.9 elde edilmiştir.

A3 ve N3'ün biyogaz ve metan verimleri karşılaştırıldığında, karıştırma hızının (100 rpm) metan içeriği için pozitif bir girdi olduğu ancak biyogaz üretimi için bazı dezavantajları olduğu bulunmuştur.

A4 ve N4 arasındaki karşılaştırmaya bağlı olarak, 100 rpm karıştırma hızı, biyogaz üretimi ve metan içeriği üzerinde önemli bir rol oynamaktadır. Ayrıca, aynı sonuçlar A5 ve N5'te de elde edilmiştir. Sonuçlara göre, reaktördeki çay atıklarının %25'ten fazla olduğu A3-A4-A5 ve N3-N4-N5'te biyogaz üretimi aşırı miktarda azalmıştır. Literatürdeki çalışmalarda çaydaki polifenol ve taninin antimikrobiyal özelliklere sahip olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle mikroorganizmanın yüksek çay atık içeriği ile engellendiği düşünülmektedir [15].

Deneylein başlangıcında ve sonunda kimysal Oksijen ihtiyacı (KOİ) analizleri yapılmış ve KOİ giderimi verimliliği de araştırılmıştır. KOİ giderim oranları %84,1 ile %62,1 arasındadır. En yüksek KOİ giderimi N1 ve A1'de elde edilmiştir, en düşük giderim ise N3 ve A5'te olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.4. Reaktörlerin KOİ giderimleri.

Reaktör	Giriş KOİ (mg/L)	Çıkış KOİ	KOİ Giderimi (%)
A1	29600±153	7150±280	75.9
A2	28200±242	8950±143	68.3
A3	34200±306	11950±430	65.1
A4	40000±313	12950±234	67.6
A5	43400±297	15550±215	64.2
N1	29800±162	4750±131	84.1
N2	28300±254	6450±290	77.3
N3	34100±330	12950±376	62.1
N4	38900±190	12450±180	68
N5	41300±145	26850±230	65.1

Başlangıçta reaktörlerin pH'ları NaOH eklenerek düzenlenmiş olmasına rağmen, sonraki günlerde reaktör içerisindeki çay miktarı arttığında pH düşmüş, daha sonra metanojenik mikrobiyal topluluk ortadan kalkmıştır. pH değerinin sürekli kimyasal katkı ile istenilen değerde tutulması ek maliyet getirir ve bu nedenle uygulanabilirliği azaltılır.

Sonuçlar, çay atıklarının anaerobik mono-fermantasyonunun ve biyogaz veriminin etkisiz olduğunu göstermektedir. Sığır gübresi ile birlikte kofermantasyonu ile daha iyi biyogaz verimi ve metan oranı elde edilebilir. Bu nedenle optimum biyogaz ve metan verimi sağlamak için %25 çay atığı, %75 sığır gübresi kofermantasyonu optimum karışım oranı olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, büyük miktarlarda üretilen ve tüketilen bir evsel organik atıktan ekonomik ve çevresel faydalar sağlanmaktadır.

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. SONUÇLAR

Biyogazın yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak kullanımı son yıllarda ciddi bir önem kazanmıştır. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler biyogaz yatırımları yapmakta ve birim kütlelerin üretebileceği biyogaz miktarını artırmak için araştırmalar yapmaktadırlar. Biyogaz miktarını arttırmanın birçok farklı yolu vardır. Bunlardan biri kofermantasyon yöntemidir. Bu çalışmada, sığır gübresi ile çay atıklarının birlikte fermantasyonu çalışılmıştır. Türkiye’de Tuik verilerine göre yılda 1300 bin ton yaş çay üretilmekte ve yaklaşık bunun %20 oranında kuru çaya dönüştürüldüğü göz önüne alındığında 260 bin ton içilmiş çay atığı ortaya çıkmaktadır ve diğer evsel atıklarla birlikte çöpe dökülmekte, sızıntı suyu ve diğer atıkları da nemlendirmesi sebebiyle kötü koku gibi problemlere neden olmaktadır. Bu çay atıkları diğer evsel atıklarla karışmadan, kaynağında ayırma prensibine uygun olarak toplanabilir ve hem ekonomik hemde çevresel fayda sağlanabilir bir atıktır.

Deneyle sonuçunda, aynı çalışma koşulları altında A1 reaktörüne (%100 sığır gübresi) kıyasla A2 reaktöründen (% 25 çay atığı - % 75 sığır gübresi) % 25.83 daha fazla biyogaz verimi ve daha fazla metan içeriği (A1 %70.3 - A2 %77.1) elde edilmiştir. Karıştırma hızının biyogaz üretimi üzerindeki etkisi de araştırılmış ve A2 ve N2 reaktörleri karşılaştırıldığında %24.67 daha fazla biyogaz verimi elde edilmiştir.

Büyük baş hayvan gübresinin literatürde %20-30 arası kuru madde içeriği sağladığı bilinmektedir. En iyi performansın sağlandığı A2 reaktörü karışım oranına göre kuru bazda 260 bin ton çay atığı için 780 bin ton kuru bazda büyükbaş hayvan gübresi gerekmektedir. Bu da %25 kuru madde içeriği olduğu varsayıldığında 3120 bin ton

yaş büyükbaş gübresi gerekmektedir ve Türkiye'deki büyükbaş hayvan sayısı göz önüne alındığında bu miktar kolaylıkla temin edilebilir. Ayrıca ülkemizde hayvan gübresi ile çalışan tesis sayısı oldukça yetersizdir bu yolla tesis sayısı da arttırılabilir.

Bu doğrultuda elde edilen deneysel verilerden yola çıkarak, A2 reaktöründe 50 gr kuru maddeden 12 litre biyogaz eldesi sağlanmış olup, 1 ton için 240 m³, toplam 3380 bin ton kuru madde için 811,200,000 m³ biyogaz eldesi sağlanabilmektedir. ISO 6976:2016 doğal gaz kalorifik değerlerin hesaplanması standardına göre, %70.3 metan oranı için enerji değerleri 6,65 kwh/m³, %77.1 için 7.29 kwh/m³ 'tür. Böylece toplamda 5,914,000 MWh enerji elde edilebilmektedir. A1' den elde edilen verilere göre sadece büyükbaş gübresi anaerobik fermantasyonuna ile 4,287,000 MWh enerji elde edilebilirken, kofermantasyon ile daha fazla biyogaz üretimi sayesinde 1,107,000 MWh, metan verimi arttığından dolayı da yaklaşık 520,000 MWh ekstra enerji kazanımı sağlanabilmektedir.

Ayrıca deneyler sonucunda daha yüksek oranda çay atıkları karışımları içeren reaktörlerden (A3-4-5, N3-4-5) daha az biyogaz ve metan verimi eldesinin aşağıdaki nedenlerden dolayı olduğu kararına varılmıştır.

1. Karışımdaki çay oranının artmasıyla, çayın pH değerinin düşük olmasından dolayı reaktör içi karışımın pH değerinin de düşük olması ve metanojenez bakterilerin yaşaması için gereken 6.5-7.5 pH değerinin sağlanamaması,
2. Kofermantasyonu etkileyen bir diğer önemli faktör olan atıkların homojen karıştırılması işleminin, reaktörde çay atıklarının fazla olduğu durumlarda çayın hafif olmasından dolayı yüzmesi veya gübrenin dibe çökmesi,
3. Çayın yapısında bulunan polifenol ve tanin bileşiklerinin antimikrobiyal özelliklere sahip olması nedeniyle, yüksek miktarlarda çay atığı kullanıldığında, biyogaz üretimi sağlayan mikroorganizmaların engellendiği düşünülmektedir.

5.2. ÖNERİLER

1. Büyükbaş hayvan gübresi ve çay atıklarının yanı sıra pH, C/N gibi anaerobik fermantasyonu etkileyecek faktör değerlerini daha iyi şartlara taşıyacak atık ve atıklar eklenerek tekrar kofermantasyon işlemine tabi tutulabilir.
2. Batch (kesikli) besleme sistemi yerine kesikli beslemeli veya sürekli beslemeli bir sistem kurularak farklı deneyler yapılabilir.
3. Yapılan deneylerde büyükbaş hayvan gübresine uygun olması ve daha az maliyetli olması nedeniyle mezofilik sıcaklık şartları altında gerçekleştirilmiş olup, aynı karışım oranları termofilik sıcaklık şartları altında denenebilir.
4. Yapılacak deneylerde büyükbaş hayvan gübresi yerine atık su çamuru ana substrat veya yardımcı substrat olarak denenebilir.
5. Kuru fermantasyon sisteminde aynı atıklar denenebilir.
6. Elde edilen anaerobik sindirilmiş atığın katı ve sıvı gübre olarak veya toprak düzenleyicisi kullanımı üzerine çalışma yapılabilir.

KAYNAKLAR

1. Zou, S., Wang, X., Chen, Y., Wan, H., and Feng, Y., "Enhancement of biogas production in anaerobic co-digestion by ultrasonic pretreatment", *Energy Conversion And Management*, 112: 226–235 (2016).
2. Internet: Türkiye İstatistik Kurumu (TUIK), "Türkiye Hayvancılık İstatistikleri", <https://biruni.tuik.gov.tr/hayvancilikapp/hayvancilik.zul> (2018).
3. "Berkes, F. and Kışlalıoğlu M. B., "Çevre ve Ekoloji, 4. Basım", Remzi Kitabevi, 1993.", *Remzi Kitabevi*, .
4. Werner, U., Stohr, U., and Hees, N., "Biogas Plants in Animal Husbandry. A Practical Guide", *Vieweg*, Braunschweig, (1989).
5. Recebli, Z., Selimli, S., Ozkaymak, M., and Gonc, O., "Biogas production from animal manure", *Journal Of Engineering Science And Technology*, 10 (6): 722–729 (2015).
6. Ergür, H. S. and Okumuş, F., "Cost and Potential Analysis of Biogas in Eskisehir", *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergis*, 2 (15): 155–160 (2010).
7. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, "2015-2019 Türkiye Stratejik Planı", Ankara, (2014).
8. Mata-Alvarez, J., Dosta, J., Romero-Güiza, M. S., Fonoll, X., Peces, M., and Astals, S., "A critical review on anaerobic co-digestion achievements between 2010 and 2013", *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 36: 412–427 (2014).
9. Mata-Alvarez, J., Macé, S., and Llabrés, P., "Anaerobic digestion of organic solid wastes. An overview of research achievements and perspectives", *Bioresource Technology*, 74 (1): 3–16 (2000).
10. Braun, R., Holm-nielsen, J. B., and Seadi, T. a L., "Potential of Co-digestion", *IEA Bioenergy*, 16 (2002).
11. Seadi, T. Al, Lukehurst, C., Saedi, T. Al, Lukehurst, C., Seadi, T. Al, and

- Lukehurst, C., "Quality management of digestate from biogas plants used as fertiliser", *IEA Bioenergy, Task*, (Task 37-Energy from Biogas): 40 (2012).
12. Halder, N., "Thermophilic Biogas Digester for Efficient Biogas Production from Cooked Waste and Cow Dung and Some Field Study", *International Journal Of Renewable Energy Research (IJRER)*, 7 (3): 1062–1073 (2017).
 13. Chang, K., "World tea production and trade Current and future development", *Food And Agriculture Organisation*, 1–17 (2015).
 14. Internet: Türkiye İstatistik Kurumu, "Türkiye 2017 Yılı Toplam Çay Üretimi", <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr> (2018).
 15. Kondo, M., Kita, K., and Yokota, H. O., "Effects of tea leaf waste of green tea, oolong tea, and black tea addition on sudangrass silage quality and in vitro gas production", *Journal Of The Science Of Food And Agriculture*, 84 (7): 721–727 (2004).
 16. Braun, R., "Anaerobic digestion: a multi-faceted process for energy, environmental management and rural development", *Improvement of Crop Plants for Industrial End Uses*, Springer Netherlands, Dordrecht, 335–416 (2007).
 17. Kaur, H., Sohpal, V. K., and Kumar, S., "Designing of small scale fixed dome biogas digester for paddy straw", *International Journal Of Renewable Energy Research*, 7 (1): 422–431 (2017).
 18. Achinas, S., Achinas, V., and Euverink, G. J. W., "A Technological Overview of Biogas Production from Biowaste", *Engineering*, 3 (3): 299–307 (2017).
 19. Turgut, B. and Köse, B., "Determining the effect of tea waste and farmyard manure addition on plant productivity potential for sediment accumulated in Borcka dam reservoir area", *Journal Of Forestry Faculty*, 16 (1): 101–112 (2015).
 20. Goel, B., Pant, D. C., and Kishore, V. V. N., "Two-phase anaerobic digestion of spent tea leaves for biogas and manure generation", *Bioresource Technology*, 80 (2): 153–156 (2001).
 21. Rashid, M. H., Chowdhury, M. A. Z., Fardous, Z., Tanvir, E. M., Pramanik, M. K., Jahan, I., Alam, M. K., Moniruzzaman, M., and Gan, S. H., "Microbial decontamination of gamma irradiated black tea and determination of major minerals in black tea, fresh tea leaves and tea garden soil", *LWT - Food*

- Science And Technology*, 73: 185–190 (2016).
22. Kraujalyte, V., Pelvan, E., and Alasalvar, C., "Volatile compounds and sensory characteristics of various instant teas produced from black tea", *Food Chemistry*, 194: 864–872 (2016).
 23. Deublein, D. and Steinhauser, A., "Biogas from Waste and Renewable Resources", *Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA*, Weinheim, Germany, (2008).
 24. Abbasi, T., Tauseef, S. M., and Abbasi, S. A., "Biogas Energy", *Springer New York*, New York, NY, 103 (2012).
 25. MCCARTY and L., P., "One hundred years of anaerobic treatment", *Anaerobic Digestion 1981 International Symposium On Anaerobic Digestion Held In Travemünde, Federal Republic Of Germany, On 6-11 September*, (1981).
 26. Ford, S., "Advances in Biogas", *Pira International*, 66 (2007).
 27. Mustafa, Ö., "Hayvan gübresinden biogaz üretimi", *Çevre Ve Şehircilik Bakanlığı*, (2017).
 28. Şenol, H., Elİbol, E. A., Açıkel, Ü., and Şenol, M., "Biyogaz Üretimi İçin Ankara 'nın Başlıca Organik Atık Kaynakları", *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 6 (2): 15–28 (2017).
 29. DBFZ - Deutsches Biomasse Forschungs Zentrum gemeinnützige GmbH Torgauer Straße, "Türkiye'de Biyogaz Yatırımları İçin Geçerli Koşulların ve Potansiyelin Değerlendirilmesi", (2011).
 30. Tufaner, Fatih & Avsar, Yasar & Dere, Turgay & Gönüllü, M. (2013)., "Türkiye 'de Biyogaz Tesisi Projelerinde Başarı ve Başarısızlık Nedenlerinin Analizi ve Merkezi Biyogaz Tesislerinin Önemi", *I. Ullusal Kompost Ve Biyogaz Çalıştayı*, (2013).
 31. Wellinger, A., Murphy, J., and Baxter, D., "The Biogas Handbook", The Biogas Handbook: Science, Production and Applications, *Woodhead Publishing Limited*, 1-476 (2013).
 32. Korres, N. E., Kiely, P. O., Jonathan, S. W., and Benzie, J. A. H., "Bioenergy Anaerobic by Digestion and Wastes: Using Agricultural Biomass and Organic Wastes", Routledge, Taylor & Frncis Group, 472 (2013).
 33. "Bioheat, Biopower and Biogas", Bioheat, Biopower and Biogas:

- Developments and Implications for Agriculture, *OECD Publishing*, (2010).
34. Rapport, J.; Zhang , R.; Jenkins, B M; Williams, R. B., "Current Anaerobic Digestion Technologies Used for Treatment of Municipal Organic Solid Waste", *California Integrated Waste Management Board*, (March): 90 (2008).
 35. Steffen, R., Szolar, O., and Braun, R., "Feedstocks for anaerobic digestion", *Institute For Agrobiotechnology ...*, 1–29 (1998).
 36. Murphy, J., Bochmann, G., Weiland, P., and Wellinger, A., "Biogas from Crop Digestion", *IEA Bioenergy - Task 37*, 24 (2011).
 37. Seadi, T. A., Rutz, D., Prassl, H., Köttner, M., Finsterwalder, T., Volk, S., and Janssen, R., "Biogas Handbook", Igarss 2014, 1-126 (2008).
 38. H. H. Van Horn G. L. Newton W. E. Kunkle, "Ruminant nutrition from an environmental perspective: factors affecting whole-farm nutrient balance", *Journal Of Animal Science, Volume 74, Issue 12*, 74 (12): 3082–3102, .
 39. Salman Zafar, "Anaerobic Digestion of Biomass.", *Website*, 1–6 (2008).
 40. Amon T. and and Boxberger J., "Organic wastes for co-digestion in agricultural biogas plants: guidelines and legal conditions in Austria.", *Proceedings Of IEA Bioenergy Workshop: Hygienic And Environmental Aspects Of Anaerobic Digestion: Legislation And Experiences In Europe*, (1999).
 41. Angelidaki, I., Ellegaard, L., and Ahring, B. K., "Applications of the Anaerobic Digestion Process", *Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology*, 1–33 (2003).
 42. E. Favoino, "Drivers for separate collection in the EU, optimization and cost assessment of high capture schemes.", *Proceedings Of EC Conference On Biological Treatment Of Biodegradable Waste, Brussels, Belgium.*, 2002 (2002).
 43. Rutz, D., Janssen, R., Hoffstede, U., Beil, M., Hahn, H., Kulisic, B., Jurić, Ž., Kruhek, M., Ribic, B., Haider, P., Gostomska, A., Nogueira, M.A., Martins, A.S., Martins, M., doCéu Albuquerque, M., Dzene, I., Niklass, M., Gubernatorova, I., Schinnerl, D., P., "Organic Waste for Biogas Production in Urban Areas", *Proceedings Of 19th European Biomass Conference And Exhibition*, VP3.4.27: 2125–2131 (2011).

44. Zhang, R., El-Mashad, H. M., Hartman, K., Wang, F., Liu, G., Choate, C., and Gamble, P., "Characterization of food waste as feedstock for anaerobic digestion", *Bioresource Technology*, 98 (4): 929–935 (2007).
45. Rulkens, W., "Sewage Sludge as a Biomass Resource for the Production of Energy: Overview and Assessment of the Various Options", *Energy & Fuels*, 22 (1): 9–15 (2008).
46. Smith, S. R., "Organic contaminants in sewage sludge (biosolids) and their significance for agricultural recycling", *Philosophical Transactions Of The Royal Society A: Mathematical, Physical And Engineering Sciences*, 367 (1904): 4005–4041 (2009).
47. Kuglarz, M. and Mrowiec, B., "CO - DIGESTION OF MUNICIPAL BIOWASTE AND SEWAGE SLUDGE FOR BIOGAS PRODUCTION", *University Of Bielsko-Biala*, 177–184 (2007).
48. Internet: Enerji, Y. and Biyogaz, B., "Yenilenebilir Enerji - Biyokütle - Biyogaz", <http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/biyogaz.aspx> .
49. Samer, M., "Biogas Plant Constructions", Biogas, *InTech*, 151–172 (2012).
50. VERMA, S., "ANAEROBIC DIGESTION OF BIODEGRADABLE ORGANICS IN MUNICIPAL SOLID WASTES", *Columbia University*, (2002).
51. Kayhanian, M., "Biodegradability of the Organic Fraction of Municipal Solid Waste in a High-Solids Anaerobic Digester", *Waste Management & Research*, 13 (2): 123–136 (1995).
52. Marchaim, U., "Biogas Processes for Sustainable Development", *Food And Agriculture Organization Of The United Nations*, 232 (1992).
53. Malik, R. K., Singh, R., and Tauro, P., "Effect of inorganic nitrogen supplementation on biogas production", *Biological Wastes*, 21 (2): 139–142 (1987).
54. Liqian, W. and Mattsson Johan Rundstedt Niklas Karlsson, M., "Different Pretreatments to Enhance Biogas Production-A comparison of thermal, chemical and ultrasonic methods", *Halmstad University*, (2011).
55. Schnürer, A. and Jarvis, Å., "Microbiological Handbook for Biogas Plants", *Swedish Waste Management U*, 1–74 (2010).
56. Chen, Y., Cheng, J. J., and Creamer, K. S., "Inhibition of anaerobic digestion

- process: A review", *Bioresource Technology*, 99 (10): 4044–4064 (2008).
57. D., G. and Grilc, V., "Anaerobic Treatment and Biogas Production from Organic Waste", Management of Organic Waste, *InTech*, (2012).
 58. Buekens, A., "Energy Recovery from Residual Waste by Means of Anaerobic Digestion Technologies", *Conference "The Future Of Residual Waste Management In Europe,"* (2005).
 59. Chae, K. J., Yim, S. K., Choi, K. H., Park, W. K., and Lim, D. K., "Anaerobic digestion of swine manure: Sung-Hwan farm-scale biogas plant in Korea", *National Institute Of Agricultural Science And Technology*, 564–571 (2002).
 60. Kim, J., Park, C., Kim, T.-H., Lee, M., Kim, S., Kim, S.-W., and Lee, J., "Effects of various pretreatments for enhanced anaerobic digestion with waste activated sludge", *Journal Of Bioscience And Bioengineering*, 95 (3): 271–275 (2003).
 61. Nizami, A.-S., Korres, N. E., and Murphy, J. D., "Review of the Integrated Process for the Production of Grass Biomethane", *Environmental Science & Technology*, 43 (22): 8496–8508 (2009).
 62. Siegert, I. and Banks, C., "The effect of volatile fatty acid additions on the anaerobic digestion of cellulose and glucose in batch reactors", *Process Biochemistry*, 40 (11): 3412–3418 (2005).
 63. Yadvika, Santosh, Sreekrishnan, T. R., Kohli, S., and Rana, V., "Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques--a review.", *Bioresource Technology*, 95 (1): 1–10 (2004).
 64. Amon, T., Amon, B., Kryvoruchko, V., Zollitsch, W., Mayer, K., and Gruber, L., "Biogas production from maize and dairy cattle manure-Influence of biomass composition on the methane yield", *Agriculture, Ecosystems And Environment*, 118 (1–4): 173–182 (2007).
 65. Ljupka Arsova Advisor, B., Themelis, N. J., and Chandran, K., "Anaerobic digestion of food waste: Current status, problems and an alternative product", *Columbia University*, (2010).
 66. LIU, C., YUAN, X., ZENG, G., LI, W., and LI, J., "Prediction of methane yield at optimum pH for anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste", *Bioresource Technology*, 99 (4): 882–888 (2008).

67. Gerardi, M. H., "Bacteria", *The Microbiology of Anaerobic Digesters*, **John Wiley & Sons, Inc.**, Hoboken, NJ, USA, 11–16 (2003).
68. Desai, M. and Madamwar, D., "Anaerobic digestion of a mixture of cheese whey, poultry waste and cattle dung: A study of the use of adsorbents to improve digester performance", *Environmental Pollution*, 86 (3): 337–340 (1994).
69. Zennaki-Bensouda, Z., Zaid, A., Lamini, H., Aubineau, M., and Boulif, M., "Methane Fermentation of Cattle Manure: Effects of Hydraulic Retention Time, Temperature and Substrate Concentration", *Tropicultura*, 14(4): 134–140 (1996).
70. Song, Y.-C., Kwon, S.-J., and Woo, J.-H., "Mesophilic and thermophilic temperature co-phase anaerobic digestion compared with single-stage mesophilic- and thermophilic digestion of sewage sludge", *Water Research*, 38 (7): 1653–1662 (2004).
71. Nges, I. A. and Liu, J., "Effects of solid retention time on anaerobic digestion of dewatered-sewage sludge in mesophilic and thermophilic conditions", *Renewable Energy*, 35 (10): 2200–2206 (2010).
72. Desai, M., Patel, V., and Madamwar, D., "Effect of temperature and retention time on biomethanation of cheese whey-poultry waste-cattle dung", *Environmental Pollution*, 83 (3): 311–315 (1994).
73. Angelidaki, I. and Ahring, B. K., "Thermophilic anaerobic digestion of livestock waste: the effect of ammonia", *Applied Microbiology And Biotechnology*, 38 (4): 560–564 (1993).
74. Garba, B., "Effect of temperature and retention period on biogas production from lignocellulosic material", *Renewable Energy*, 9 (1–4): 938–941 (1996).
75. Zupančič, G. D. and Jemec, A., "Anaerobic digestion of tannery waste: Semi-continuous and anaerobic sequencing batch reactor processes", *Bioresource Technology*, 101 (1): 26–33 (2010).
76. Meher, K. K., Murthy, M. V. S., and Gollakota, K. G., "Psychrophilic anaerobic digestion of human waste", *Bioresource Technology*, 50 (2): 103–106 (1994).
77. Nozhevnikova, A. N., Kotsyurbenko, O. R., and Parshina, S. N., "Anaerobic manure treatment under extreme temperature conditions", *Water Science And*

- Technology*, 40 (1): 215–221 (1999).
78. Romano, R. T. and Zhang, R., "Co-digestion of onion juice and wastewater sludge using an anaerobic mixed biofilm reactor", *Bioresource Technology*, 99 (3): 631–637 (2008).
 79. Çalhan, R., "Büyükbaş hayvan gübresi, peyniraltı suyu ve tavuk gübresinin kofermantasyon yöntemi ile biyogazlaştırılması", *Kocaeli Üniversitesi*, (2017).
 80. Jacob Jørgensen, P. and for Day, R., "Biogas-green energy.", *Aarhus University Press*, .
 81. Wu, W., "Anaerobic Co-digestion of Biomass for Methane Production: Recent Research Achievements", *Optimization*, 3(1): 1–10 (2007).
 82. Lehtomäki, A., Huttunen, S., and Rintala, J. A., "Laboratory investigations on co-digestion of energy crops and crop residues with cow manure for methane production: Effect of crop to manure ratio", *Resources, Conservation And Recycling*, 51 (3): 591–609 (2007).
 83. Desai, M., Patel, V., and Madamwar, D., "Effect of temperature and retention time on biomethanation of cheese whey-poultry waste-cattle dung", *Environmental Pollution*, 83 (3): 311–315 (1994).
 84. Ghaly, A. E., "A comparative study of anaerobic digestion of acid cheese whey and dairy manure in a two-stage reactor", *Bioresource Technology*, 58 (1): 61–72 (1996).
 85. Hammad, M., Badarneh, D., and Tahboub, K., "Evaluating variable organic waste to produce methane", *Energy Conversion And Management*, 40 (13): 1463–1475 (1999).
 86. Demirer, G. N., Duran, M., Güven, E., Ugurlu, Ö., Tezel, U., and Ergüder, T. H., "Anaerobic treatability and biogas production potential studies of different agro-industrial wastewaters in Turkey", *Biodegradation*, 11 (6): 401–405 (2000).
 87. Al-Masri, M. R., "Changes in biogas production due to different ratios of some animal and agricultural wastes.", *Bioresource Technology*, 77 (1): 97–100 (2001).
 88. Callaghan, F. J., Wase, D. A. J., Thayanithy, K., and Forster, C. F., "Continuous co-digestion of cattle slurry with fruit and vegetable wastes and

- chicken manure", *Biomass And Bioenergy*, 22 (1): 71–77 (2002).
89. Vavilin, V. A. and Angelidaki, I., "Anaerobic degradation of solid material: Importance of initiation centers for methanogenesis, mixing intensity, and 2D distributed model", *Biotechnology And Bioengineering*, 89 (1): 113–122 (2005).
 90. Marañón, E., Castrillón, L., Quiroga, G., Fernández-Nava, Y., Gómez, L., and García, M. M., "Co-digestion of cattle manure with food waste and sludge to increase biogas production", *Waste Management*, 32 (10): 1821–1825 (2012).
 91. Ağdağ, O. N. and Sponza, D. T., "Co-digestion of mixed industrial sludge with municipal solid wastes in anaerobic simulated landfilling bioreactors", *Journal Of Hazardous Materials*, 140 (1–2): 75–85 (2007).
 92. Macias-Corral, M., Samani, Z., Hanson, A., Smith, G., Funk, P., Yu, H., and Longworth, J., "Anaerobic digestion of municipal solid waste and agricultural waste and the effect of co-digestion with dairy cow manure", *Bioresource Technology*, 99 (17): 8288–8293 (2008).
 93. Satyanarayan, S., Murkute, P., and Ramakant, "Biogas production enhancement by Brassica compostries amendment in cattle dung digesters", *Biomass And Bioenergy*, 32 (3): 210–215 (2008).
 94. Phetyim, N., Wanthong, T., Kannika, P., and Supngam, A., "Biogas Production from Vegetable Waste by Using Dog and Cattle Manure", *Energy Procedia*, 79: 436–441 (2015).
 95. Himanshu, H., Murphy, J. D., Grant, J., and O’Kiely, P., "Synergies from co-digesting grass or clover silages with cattle slurry in in vitro batch anaerobic digestion", *Renewable Energy*, 127: 474–480 (2018).
 96. Dias, T., Fragoso, R., and Duarte, E., "Anaerobic co-digestion of dairy cattle manure and pear waste", *Bioresource Technology*, 164: 420–423 (2014).
 97. Lenore S. Clesceri, Arnold E. Greenberg, A. D. E., "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", *American Public Health Association*, 541 (1998).
 98. Yang, L., Huang, Y., Zhao, M., Huang, Z., Miao, H., Xu, Z., and Ruan, W., "Enhancing biogas generation performance from food wastes by high-solids thermophilic anaerobic digestion: Effect of pH adjustment", *International Biodeterioration And Biodegradation*, 105: 153–159 (2015).

99. Zhou, J., Zhang, R., Liu, F., Yong, X., Wu, X., Zheng, T., Jiang, M., and Jia, H., "Biogas production and microbial community shift through neutral pH control during the anaerobic digestion of pig manure", *Bioresource Technology*, 217: 44–49 (2016).
100. KUMAR, A., Devi, R., and Kumar, S., "Use of Pine Needles as Substrate for Biogas Production", *International Journal Of Renewable Energy Research (IJRER)*, 6 (4): 1242–1247 (2016).



EK AÇIKLAMALAR

TERİMLER SÖZLÜĞÜ

Amonyak: Bir hidrojen ve azot bileşiği, NH_3 , keskin bir kokusu ve tadı vardır.

Anaerobik bakteriler: Serbest veya çözülmüş oksijen içermeyen bir ortamda yaşayan ve çoğalan mikroorganizmalar. Anaerobik sindirim için kullanılır.

Anaerobik sindirim (fermentasyon): Çok çeşitli mikroorganizmaların uyumlu eylemiyle yürütülen, oksijenin tamamen yokluğunda, organik maddenin ayrışmasının mikrobiyolojik bir süreci. Anaerobik sindirim (AD) iki ana son ürüne sahiptir: biyogaz (metan, karbondioksit ve diğer gazların ve eser elementlerin bir karışımından oluşan bir gaz) ve bulamaç (sindirilmiş substrat). AD süreci birçok doğal ortam için ortaktır ve günümüzde yaygın olarak çürütücüler olarak adlandırılan hava geçirmez olan reaktör tanklarında biyogaz üretmek için uygulanmaktadır.

Batch (kesikli) besleme: Reaktörün sürekli olarak değil, ayrı miktarlarda besleme stoğu ile doldurulduğu bir işlem.

Biyoenjerji (Biyokütle enerjisi): Organik maddeden üretilen faydalı, yenilenebilir enerji. Organik madde içindeki karbondhidratların enerjeye dönüşümü. Organik madde ya doğrudan yakıt olarak kullanılabilir ya da sıvı ve gaz halinde işlenebilir.

Biyogaz: Anaerobik koşullar altında biyolojik atıkların ayrışmasından elde edilen yanıcı bir gazdır. Biyogaz normalde %50-60 metandan oluşur.

Biyokimyasal dönüşüm: Organik kaynaklardan yakıt ve kimyasal üretmek için biyokimyasal süreçlerin kullanımı.

Biyokütle hammaddesi: Yenilebilir bir şekilde mevcut organik madde. Biyokütle, orman kalıntıları, tarımsal ürünler ve atıklar, odun ve odun atıkları, hayvan atıkları, hayvancılık kalıntıları, su bitkileri, hızlı büyüyen ağaçlar ve bitkiler ile kentsel ve endüstriyel atıkları kapsar.

Bulamaç (Digestat, çamur, gübre): Anaerobik fermantasyon (AD) ile işlenmiş / sindirilmiş atık, AD kalıntıları, sindirilmiş biyokütle.

CO₂ eşdeğerleri: CO₂ eşdeğeri, ölçümleri standardize etmek için kullanılan bir birimdir. Örneğin, metan, küresel sera etkisine neden olarak karbon dioksitten 21 kat daha zararlı bir sera gazıdır. Bu nedenle bir ton metan 21 ton CO₂ eşdeğerini temsil eder.

Enerji Bitkileri: Bitkisel yakıt değerleri için özel olarak yetiştirilen ürünler. Bunlar arasında mısır ve şeker kamışı gibi gıda ürünleri ve kavak ağaçları gibi gıda dışı ürünler bulunur. Şu anda iki enerji ürünü geliştirilmektedir :5 ila 8 yıl arasında hızla büyüyen sert ağaçlar olan kısa dönemli odunsu ürünler ve her zaman tam verime ulaşmak için 2 ila 3 yıl sonra hasat edilen otsu enerji bitkileri.

Kentsel katı atık: Genellikle yerel yönetim organları tarafından toplanan bir topluluk (hane ve ticari kuruluşlar) tarafından üretilen her türlü katı atık.

Kimyasal Oksijen ihtiyacı (KOİ): Kalıntıda organik maddeye göre kimyasal oksijen ihtiyacı (substratta COD) ayrışma derecesinin bir ölçüsüdür. KOİ değerinin belirlenmesi için hemen hemen tüm organik karbon bileşikleri güçlü bir oksitleyici faktör (potasyum dikromat) ile CO₂ ve H₂O'ya indirgenir ve oksijen tüketimi ölçülür. Tam oksidasyon ve KOİ değerinin belirlenmesi için 150 ° C sıcaklıkta iki saat yeterlidir.

Kojenerasyon (Kombine ısı ve güç üretimi) : Bir yakıt kaynağından sırasıyla elektrik ve yararlı termal enerji üretimi. Elektrik üretim tesisinden gelen fazla ısı, endüstriyel prosesler veya boşluk ve su ısıtma amaçları için kullanılabilir (topping

döngüsü). Örneğin jeneratörün eşanjörlerinde ısınan suyun biyogaz reaktörünü ısıtmak için kullanılması.

Mezofilik sindirim: 37-41°C civarında veya 20-45°C arasındaki ortam sıcaklıklarında optimal olarak yer alır. Burada mezofiller mevcut birincil mikroorganizmadır.

pH: Suyun bazik veya asidik mukavemetinin yoğunluğunun bir ifadesidir. Değerler 0-14 arasında değişir, burada 0 en asidiktir, 14 en bazik ve 7 nötrdür.

Toplam Katılar (Kuru katı): Su, kalıntıdan buharlaştığı zaman kalan ve ısı altında kurutulan kalıntıdır.

Uçucu katı maddeler (VS): Bu katı maddeler, 550 ° C'de kuru katıların tutuşmasında kaybolan su veya diğer sıvılardır.

Uçucu yağ asitleri (VFA): Bunlar, silaj içerisindeki mikroplar tarafından şekerler ve diğer karbonhidrat kaynaklarından üretilen asitlerdir. Tanım olarak uçucudurlar, yani sıcaklığa bağlı olarak havada uçarlar. Bunlar metan oluşumundan önce anaerobik sindirimin ilk bozunma ürünüdür.

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Volkan AKSAY 1986 yılında Adana’da doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Adana Ticaret Odası Anadolu Lisesi’nden 2004 yılında mezun oldu. 2004 yılında Konya Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü’nde öğrenime başlayıp 2009 yılında mezun oldu. 2010 yılında zorunlu askerlik eğitimini tamamlayıp iş hayatına atıldı. Adana Büyükşehir Belediyesi Atık Su Arıtma Tesisleri’nde makine mühendisi (mekanik bakım onarım şefi) olarak görev yaptıktan sonra 2012 yılında Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü bünyesinde araştırma görevlisi olarak çalışmaya başlamıştır ve halen devam etmektedir. 2012-2013 bahar yarıyılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda başlamış olduğu yüksek lisans programını 2015 yılında tamamlamıştır.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Karabük Üniversitesi
Teknoloji Fakültesi b:123
Balıklarkayası Mevkii / KARABÜK
Tel : (370) 418 71 53 / 1278
E-posta : volkanaksay@karabuk.edu.tr