



T.C.  
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BÜYÜKBAŞ HAYVAN GÜBRESİ VE  
MAKROALG (*Cladophora* sp.) ATIKLARININ  
KO-FERMANTASYONU İLE BİYOMETAN ÜRETİMİ**

**SERDAR ÜÇOK**

**DOKTORA TEZİ  
BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**KAHRAMANMARAŞ 2020**

T.C.  
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BÜYÜKBAŞ HAYVAN GÜBRESİ VE  
MAKROALG (*Cladophora* sp.) ATIKLARININ  
KO-FERMANTASYONU İLE BİYOMETAN ÜRETİMİ**

**SERDAR ÜÇOK**

**Bu tez,  
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalında  
DOKTORA  
derecesi için hazırlanmıştır.**

**KAHRAMANMARAŞ 2020**

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü öğrencisi SERDAR ÜÇOK tarafından hazırlanan “BÜYÜKBAŞ HAYVAN GÜBRESİ VE MAKROALG (*Cladophora* sp.) ATIKLARININ KO-FERMANTASYONU İLE BİYOMETAN ÜRETİMİ” adlı bu tez, jürimiz tarafından 24/04/2020 tarihinde oy birliği ile Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Ali AYBEK (DANIŞMAN) .....

Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı  
Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Prof. Dr. Kamil EKİNCİ (ÜYE) .....

Tarım Makinaları ve Teknolojileri Müh. Anabilim Dalı  
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Prof. Dr. Hasan DEĞİRMENCİ (ÜYE) .....

Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı  
Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Prof. Dr. Adem KAMALAK (ÜYE) .....

Zooekni Anabilim Dalı  
Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Doç. Dr. Gürkan Alp Kağan GÜRDİL (ÜYE) .....

Tarım Makinaları ve Teknolojileri Müh. Anabilim Dalı  
Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylıyorum.

Prof. Dr. Mustafa YAZICI

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü .....

## TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada, alıntı yapılan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

SERDAR ÜÇOK

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

**BÜYÜKBAŞ HAYVAN GÜBRESİ VE MAKROALG (*Cladophora* sp.)  
ATIKLARININ KO-FERMANTASYONU İLE BİYOMETAN ÜRETİMİ  
(DOKTORA TEZİ)**

**SERDAR ÜÇÖK**

**ÖZET**

Teknolojinin gelişmesi ve artan nüfusla birlikte enerji ihtiyacına duyulan talep de artmaktadır. Dünya genelinde çevreye zararlı etkileri olan fosil enerji kaynaklarının (petrol, kömür, doğalgaz vb.) kullanımının yüksek oranda gerçekleştirilmesi, bu enerji kaynaklarının hızla azalmasına yol açmaktadır. Bu durum yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmeyi zorunlu hale getirmiştir. Temiz, çevreci, enerji verimliliği yüksek olan yenilenebilir enerji kaynaklarından birisi de biyogazdır. Biyogaz ve metan üretiminin artırılması için bitkisel materyaller hayvansal materyallere karıştırılarak anaerobik fermantasyon işlemine tabi tutulmaktadır. Farklı materyallerin belli oranlarda karıştırılarak anaerobik fermantasyon işlemi uygulanmasına ko-fermantasyon denilmektedir. Ko-fermantasyon ile farklı materyallerin en uygun karışım oranları belirlenerek enerji verimliliği artırılmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, biyogaz tesisleri için hammadde olarak kullanılacak büyükbaş hayvan gübresi ve makroalg atıklarının, en uygun karışım oranlarında, ko-fermantasyonu ile biyogaz ve metan verimlerinin belirlenmesidir. Bu amaçla, büyükbaş hayvan gübresi ve makroalg materyallerinin; %7 ve %9 kuru madde oranında, C/N oranına göre 5 farklı karışım (Karışım-1, Karışım-2, Karışım-3, Karışım-4, Karışım-5) oluşturulmuştur. Karışımlardan biyogaz elde etmek amacıyla potansiyel belirlemeye yönelik BMP denemeleri ve uygulamaya yönelik olan sürekli beslemeli, tam karıştırmalı CSTR denemeleri kullanılmıştır. Ölçümler, BMP’de 60 günlük, CSTR’de ise 30 günlük sürelerde gerçekleştirilmiştir. BMP denemeleri ile hazırlanan karışım materyallerinin biyogaz (metan oranları, günlük biyogaz üretimi, günlük metan üretimi, kümülatif biyogaz üretimi, kümülatif metan üretimi, özgül metan üretim değerleri) ve cüruf (karbon (C), azot (N), C/N, kuru madde (KM), organik kuru madde (OKM), pH, elektriksel iletkenlik (EC), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), nötr deterjanda çözünmeyen lif (NDF) ve asit deterjanda çözünmeyen lif (ADF)) parametreleri belirlenmiştir. Bu denemelerinde ele alınan her bir kuru madde oranı için en verimli biyogaz parametrelerine sahip olan karışımlar bulunmuştur. Bulunan bu karışımlar 4 adet 50 L’lik reaktörden (R1, R2, R3, R4) oluşan CSTR denemelerinde denemeye alınmıştır. %7 kuru madde oranında elde edilen en iyi 2 karışım, R1 ve R2’de, %9 kuru madde oranı elde edilen en iyi 2 karışım ise R3 ve R4 reaktörlerine yaş halde, günlük 2 kg OKM/reaktör gün’lük yükleme oranıyla gerçekleştirilmiştir.

Çalışma sonucunda; BMP denemelerinde en yüksek biyogaz parametrelerinin elde edildiği Karışım-4 için C/N oranı %7 kuru madde oranında 14.56, %9 kuru madde oranında ise 15.45 olarak belirlenmiştir. BMP denemelerinde karışımların %7 kuru madde oranı; metan oranı %25-62, günlük biyogaz üretimi 0.02-1.61 L/gün, günlük metan üretimi 0.01-0.94 L/gün, kümülatif biyogaz üretimi 2.5-27.42 L, kümülatif metan üretimi 1.15-15.77 L, özgül metan üretimi 10.67-186.41 NmL/gOM, %9 kuru madde oranı ise metan oranı %24-62, günlük biyogaz üretimi 0.01-1.40 L/gün, günlük metan üretimi 0.01-0.91 L/gün, kümülatif biyogaz üretimi 2.14-28.10 L, kümülatif metan üretimi 1.25-16.07 L, özgül metan üretimi 15.60-192.15 NmL/gOM olarak bulunmuştur. CSTR denemelerinde ise reaktörlerde oluşan günlük biyogaz üretimi 28.71-57.30 L/gün, günlük metan üretimi 17.36-35.50 L/gün, günlük metan oranı %57.5-64.5, kümülatif biyogaz üretimi 1101.06-1271.47 L, kümülatif metan üretimi 666.93-786.99 L ve CO<sub>2</sub> oranı %33.75-41.25 olarak belirlenmiştir. BMP denemelerinde; biyogaz parametrelerinde kuru madde oranı, karışımlar, kuru madde oranları ve karışımların interaksiyonun etkisi istatistiksel olarak önemli düzeyde (P<0.05) bulunurken, CSTR denemelerinde ise; karbondioksit hariç, biyogaz parametrelerinde reaktörler arasındaki fark istatistiksel olarak önemli düzeyde (P<0.05) bulunmuştur. Tatlı su alanlarında alglerden kaynaklı atık, koku vb çevresel sorunların giderilmesine yönelik olarak algler bölgedeki büyükbaş hayvan gübresi ile uygun oranlarda karıştırılarak bölgede kurulacak biyogaz tesislerinde enerji ve organik gübre üretim materyali olarak kullanılabilir.

**Anahtar Kelimeler:** Büyükbaş hayvan gübresi, Makroalg, Biyogaz, Biyometan, Kimyasal analiz

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı, 04/2020

Danışman: Doç. Dr. Ali AYBEK

Sayfa sayısı: 139

# PRODUCTION OF BIOMETHANE WITH CO-FERMANTATION OF CATTLE MANURE AND MACROALGAE (*Cladophora* sp.) WASTES

(PhD THESIS)

SERDAR ÜÇÖK

## ABSTRACT

With the development of technology and the growing population is increasing demand for their energy needs. There is a high use of fossil energy sources worldwide. The rapid decrease in fossil energy sources has made it necessary to turn to new and renewable energy sources in terms of damaging the environment. One of the renewable energy sources that are clean, environmentally friendly and energy efficient is biogas. In order to increase biogas and methane production, vegetable materials are mixed with animal materials and subjected to anaerobic fermentation process. The application of anaerobic fermentation by mixing different materials in certain proportions is called co-fermentation. Energy efficiency is increased by determining appropriate mix of different materials by co-fermentation.

The purpose of this study is to determine the biogas and methane yields of cattle manure and macroalgae wastes, which can be used as raw materials for biogas plants, at the most appropriate mixing ratios, by co-fermentation. For this purpose, cattle manure and macroalgae materials; 5 different mixtures (Mixture-1, Mixture-2, Mixture-3, Mixture-4, Mixture-5) were created according to the C / N ratio at 7% and 9% dry matter rate. BMP for potential determination and CSTR test methods for continuous feeding application were used to obtain biogas from the mixtures. Measurements were carried out in the BMP test method for 60 days, and in the CSTR test method for 30 days. Measurements were carried out in the BMP test method for 60 days, and in the CSTR test method for 30 days. Biogas parameters (methane ratios, daily biogas production, daily methane production, cumulative biogas production, cumulative methane production, specific methane production values) and slag parameters (carbon (C), nitrogen (N), C/N, dry matter (KM), organic dry matter (OKM), pH, electrical conductivity (EC), chemical oxygen demand (COD), neutral detergent insoluble fiber (NDF) and acid detergent insoluble fiber (ADF). Mixtures with the most efficient biogas parameters were found for each solidity ratio discussed in this test method. Mixtures with the most efficient biogas parameters were found for each solidity ratio discussed in this test method. These mixtures were tested in the CSTR test method consisting of 4 units 50 L reactors (R1, R2, R3, R4). The best 2 mixtures obtained in 7% solids were carried out in R1 and R2, and the best 2 mixtures obtained in 9% solids were carried out R3 and R4 reactors with a daily loading rate of 2 kg ODM/reactor day in raw form material.

As a result of the study; As a result of the study; in Mixture-4, where the highest biogas parameters were obtained in the BMP test method, the C / N ratio of 7% dry matter rate was found to be 14.56, and the C / N ratio of 9% dry matter rate was 15.45. While for %7 dry matter rate was found methane content (CH<sub>4</sub>) 25-62%, daily biogas production 0.02-1.61 L/day, daily CH<sub>4</sub> production 0.01-0.94 L/day, cumulative biogas production 2.5-27.42 L, cumulative CH<sub>4</sub> production 1.15- 15.77 L, specific methane production 10.67-186.41 NmL/gOM in the BMP test method, for %9 dry matter rate was found methane content (CH<sub>4</sub>) 24-62%, daily biogas production 0.01-1.40 L/day, daily CH<sub>4</sub> production 0.01-0.91 L/day, cumulative biogas production 2.14-28.10 L, cumulative CH<sub>4</sub> production 1.25-16.07 l, specific methane production 15.60-192.15 NmL/gOM in the BMP test method. In CSTR reactors was found as daily biogas production 28.71-57.30 L/day, daily CH<sub>4</sub> production 17.36-35.50 L/day, daily methane rates 57.5-64.5%, cumulative biogas production 1101.06-1271.47 L, cumulative CH<sub>4</sub> production 666.93-786.99 L and CO<sub>2</sub> ratio 33.75-41.25%. In the BMP test method; In biogas parameters, dry matter rate ratio, mixtures, dry matter rates and the effect of the interaction of the mixes are statistically significant (P <0.05), while in the CSTR test method; Except for carbon dioxide, the difference between reactors in biogas parameters has been found to be statistically significant (P <0.05). Macroalgae can be used as an energy and organic fertilizer production material in biogas plants to be established in the region by mixing algae manure with cattle manure in appropriate rates in order to eliminate environmental problems such as waste, reek, etc. caused by algae in fresh water areas.

**Key Words:** Cattle manure, Macroalgae, Biogas, Biomethane, Chemical analysis

Kahramanmaraş Sütçü İmam University  
Institute for Graduate Studies in Science and Technology  
Department of Biosystems Engineering, 04/2020

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ali AYBEK

Page number: 139

## TEŞEKKÜR

Öncelikle çalıőmalarımın tüm aőamalarında hiçbir zaman yardımlarını ve desteğini esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Ali AYBEK'e, denemelerin yürütölmesi için laboratuvar olanaklarının sağlanması ve çalışmanın her aşamasında bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım saygıdeğer hocam Prof. Dr. Kamil EKİNCİ'ye, bu çalışmaya katkılarından dolayı hocalarım Prof. Dr. Hasan DEğİRMENCİ, Prof. Dr. Adem KAMALAK, Doç. Dr. Gürkan Alp Kağan GÜRDİL'e ve makroalglerin değerlendirilmesi yönünde katkı sağlayan su ürünleri konusunda çalışmalar yapan Prof. Dr. Ahmet ALP'e çok teşekkür ederim.

Ayrıca, hayatımın her aşamasında yanımda olan, beni sabırla destekleyen sevgili eőim Feyza Nur ÜÇOK'a, annem ve babama en kalbi duygularıyla teşekkür ederim.

**Serdar ÜÇOK**

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>iii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iv</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	<b>v</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>vi</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	<b>vii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1. Biyokütle .....	3
1.2. Biyogaz.....	3
1.2.1. Biyogaz oluşum aşamaları.....	3
1.2.1.1. Fermantasyon ve hidroliz .....	4
1.2.1.2. Ucucu yağ asitlerinin oluşumu .....	4
1.2.1.3. Asetat oluşumu .....	5
1.2.1.4. Metan gazının oluşumu .....	5
1.3. Biyogaz oluşumunu etkileyen faktörler.....	5
1.3.1. Sıcaklığın etkisi .....	6
1.3.2. Karıştırmanın etkisi .....	7
1.3.3. Hidrolik bekleme süresinin etkisi.....	8
1.3.4. Yükleme oranı ve katı madde oranının etkisi.....	9
1.3.5. C/N oranının etkisi .....	10
1.3.6. pH değeri ve alkalitenin etkisi.....	11
1.3.7. İnhibitör ve toksik maddelerin etkisi.....	11
1.3.8. Besi ortamının etkisi.....	12
1.3.9. Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)'nin etkisi .....	13
1.3.10. Ko-fermantasyonun etkisi .....	13
1.4. Biyogaz üretiminde kullanılan organik materyaller .....	13
1.4.1. Büyükbaş hayvan atıkları .....	14
1.4.2. Makroalgler .....	15
1.5. Çalışmanın amaçları .....	16
<b>2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR</b> .....	<b>18</b>
<b>3. MATERYAL ve YÖNTEM</b> .....	<b>33</b>



3.1. Materyal.....	33
3.1.1. BMP test ünitesi .....	33
3.1.2. CSTR test ünitesi.....	36
3.1.3. Aşı (İnoculum) .....	39
3.1.4. Volümetrik gaz sayacı .....	39
3.1.5. Sensörler.....	40
3.1.6. Vakum pompası.....	41
3.1.7. Teraziler.....	41
3.1.8. EC ve pH metre cihazı.....	41
3.1.9. Öğütücü .....	42
3.1.10. Kül fırını .....	42
3.1.11. Etüv .....	43
3.1.12. Porselen kroze ve demir kaplar .....	44
3.1.13. C/N analiz cihazı .....	44
3.1.14. Soğuk hava deposu .....	45
3.1.15. Güneş enerjili kurutma sistemi.....	45
3.1.16. Spektrofotometre .....	46
3.1.17. Termoreaktör .....	46
3.1.18. Cam ve plastik malzemeler .....	47
3.1.19. Manyetik karıştırıcı .....	47
3.1.20. NDF/ADF lif analiz cihazı .....	47
3.1.21. NDF/ADF lif torbaları.....	48
3.1.22. Lif torba mühürleme cihazı .....	48
3.1.23. Kimsayal çözünmeye dayanıklı kalem .....	49
3.1.24. Desikatör .....	49
3.2. Yöntem .....	50
3.2.1. Karışım oranlarının belirlenmesi.....	50
3.2.2. BMP denemeleri.....	52
3.2.3. BMP materyal karışım oranları .....	54
3.2.4. Karışımların kuru madde oranları .....	54
3.2.5. CSTR denemeleri .....	54
3.2.6. Materyallerin özgül metan üretimi .....	56
3.2.7. Reaktör özgül metan üretimi .....	56
3.2.8. Hidrolik bekleme süresi.....	57

3.2.9. Kimyasal kompozisyonlar .....	57
3.2.9.1. Kuru madde analizi .....	57
3.2.9.2. Ham kül ve organik madde analizi .....	58
3.2.9.3. NDF analizi .....	59
3.2.9.4. ADF analizi .....	60
3.2.9.5. Kimyasal oksijen analizi .....	61
3.2.9.6. C/N analizi.....	63
3.2.9.7. pH ve EC analizi .....	63
3.2.9. Verilerin elde edilmesi ve değerlendirilmesi .....	64
<b>4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....</b>	<b>65</b>
4.1. Büyükbaş hayvan gübresi ve makroalglerin kimyasal analizleri .....	65
4.2. İki farklı kuru madde oranında (%7 ve %9) hazırlanan besleme materyallerinin karışım oranları .....	66
4.3. BMP denemeleri ile elde edilen parametrelerin değerlendirilmesi .....	67
4.3.1. BMP denemeleri ile elde edilen biyogaz parametreleri .....	67
4.3.1.1. Karışımların %7 kuru madde oranında elde edilen biyogaz parametreleri ....	67
4.3.1.2. Karışımların %9 kuru madde oranında elde edilen biyogaz parametreleri ....	73
4.3.2. BMP denemeleri ile elde edilen cüruf parametreleri.....	79
4.4. CSTR denemeleri ile elde edilen parametrelerin değerlendirilmesi.....	92
4.4.1. CSTR denemeleri ile elde edilen biyogaz parametreleri.....	92
4.4.2. CSTR denemeleri ile elde edilen cüruf parametreleri .....	98
4.5. Deneme yöntemlerinden elde edilen parametrelerin istatistiksel olarak karşılaştırılması .....	108
4.5.1. BMP denemeleri ile elde edilen parametrelerin istatistiksel analizi .....	108
4.5.2. CSTR denemeleri ile elde edilen parametrelerin istatistiksel analizi .....	114
<b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>118</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>122</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>135</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ADF	: Asit deterjenda çözünmeyen lif
BMP	: Biyokimyasal metan potansiyel
CH <sub>4</sub>	: Metan
CO <sub>2</sub>	: Karbondioksit
N	: Azot
CSTR	: Sürekli karıştırmalı tank reaktör
KM	: Kuru madde
KOİ	: Kimyasal oksijen ihtiyacı
mL	: Mililitre
C	: Karbon
NDF	: Nötr deterjenda çözünmeyen lif
OKM	: Organik kuru madde

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Anaerobik bozunma temel basamakları .....	4
Şekil 3.1. Büyükbaş hayvan gübresi (a) ve makroalg atıklar (b) .....	33
Şekil 3.2. BMP test ünitesi .....	34
Şekil 3.3. Sıcak su havuzu.....	34
Şekil 3.4. Cam şişeler .....	35
Şekil 3.5. Biyogaz torbaları.....	36
Şekil 3.6. Plastik varil .....	37
Şekil 3.7. DC motor (a), karıştırıcı (b) ve trafo (c) .....	37
Şekil 3.8. Resistans (a) ve serpantin (b) .....	38
Şekil 3.9. CSTR reaktörleri .....	39
Şekil 3.10. Aşısı .....	39
Şekil 3.11. Volümetrik gaz sayacı.....	40
Şekil 3.12. Sensörler.....	40
Şekil 3.13. Vakum pompası .....	41
Şekil 3.14. Teraziler .....	41
Şekil 3.15. EC ve pH metre cihazı .....	42
Şekil 3.16. Öğütücü.....	42
Şekil 3.17. Kül fırını.....	43
Şekil 3.18. Etüv .....	43
Şekil 3.19. Porselen kroze ve demir kaplar .....	44
Şekil 3.20. C/N analiz cihazı .....	44
Şekil 3.21. Soğuk hava deposu.....	45
Şekil 3.22. Güneş enerjili kurutma sistemi .....	45
Şekil 3.23. Spektrofotometre.....	46
Şekil 3.24. Termoreaktör.....	46
Şekil 3.25. Cam ve plastik malzemeler .....	47
Şekil 3.26. Manyetik karıştırıcı .....	47
Şekil 3.27. NDF/ADF lif analiz cihazı .....	48
Şekil 3.28. NDF/ADF lif torbaları .....	48
Şekil 3.29. Lif torba mühürleme cihazı.....	49
Şekil 3.30. Kimsayal çözünmeye dayanıklı kalem .....	49
Şekil 3.31. Desikatör .....	49

Şekil 3.32. BMP test aşamaları .....	53
Şekil 3.33. CSTR reaktörlerine materyallerin yüklenmesi .....	55
Şekil 3.34. Reaktör içersinde oluşan biyogaz kabarcıkları .....	55
Şekil 3.35. Biyogaz torbaları.....	56
Şekil 3.36. Kuru madde analiz aşamaları .....	58
Şekil 3.37. Ham kül ve organik madde analizleri .....	59
Şekil 3.38. NDF analizi .....	60
Şekil 3.39. ADF analiz aşamaları.....	61
Şekil 3.40. KOİ analiz kimyasalları .....	62
Şekil 3.41. KOİ analiz aşamaları.....	62
Şekil 3.42. C/N analiz aşamaları .....	63
Şekil 3.43. pH ve EC ölçümü .....	63
Şekil 4.1. Karışımların %7 kuru madde oranında oluşan metan oranları.....	68
Şekil 4.2. Karışımların %7 kuru madde oranında oluşan günlük biyogaz üretimi .....	69
Şekil 4.3. Karışımların %7 kuru madde oranında oluşan günlük metan üretimi .....	70
Şekil 4.4. Karışımların %7 kuru madde oranında oluşan kümülatif biyogaz üretimi .....	71
Şekil 4.5. Karışımların %7 kuru madde oranında oluşan kümülatif metan üretimi.....	72
Şekil 4.6. Karışımların %7 kuru madde oranında oluşan özgül metan üretimi .....	73
Şekil 4.7. Karışımların %9 kuru madde oranında oluşan metan oranı.....	74
Şekil 4.8. Karışımların %9 kuru madde oranında oluşan günlük biyogaz üretimi .....	75
Şekil 4.9. Karışımların %9 kuru madde oranında oluşan günlük metan üretimi.....	76
Şekil 4.10. Karışımların %9 kuru madde oranında oluşan kümülatif biyogaz üretimi.....	77
Şekil 4.11. Karışımların %9 kuru madde oranında oluşan kümülatif metan üretimi.....	78
Şekil 4.12. Karışımların %9 kuru madde oranında oluşan özgül metan üretimi .....	79
Şekil 4.13. BMP denemelerinde oluşan C değeri.....	81
Şekil 4.14. BMP denemelerinde oluşan N değeri .....	82
Şekil 4.15. BMP denemelerinde oluşan C/N oranı .....	83
Şekil 4.16. BMP denemelerinde oluşan KM oranı.....	84
Şekil 4.17. BMP denemelerinde oluşan OKM oranı.....	85
Şekil 4.18. BMP denemelerinde oluşan pH değeri .....	87
Şekil 4.19. BMP denemelerinde oluşan EC değeri .....	88
Şekil 4.20. BMP denemelerinde oluşan KOİ değeri .....	89
Şekil 4.21. BMP denemelerinde oluşan ADF değeri .....	90
Şekil 4.22. BMP denemelerinde oluşan NDF değeri .....	92

Şekil 4.23. CSTR denemelerinde reaktörlerde oluşan günlük metan oranı .....	93
Şekil 4.24. CSTR denemelerinde reaktörlerde oluşan günlük biyogaz üretimi .....	94
Şekil 4.25. CSTR denemelerinde reaktörlerde oluşan metan üretimi .....	95
Şekil 4.26. CSTR denemelerinde reaktörlerde kümülatif biyogaz üretimi .....	96
Şekil 4.27. CSTR denemelerinde reaktörlerde oluşan kümülatif metan üretimi .....	97
Şekil 4.28. CSTR denemelerinde reaktörlerde oluşan CO <sub>2</sub> oranı .....	98
Şekil 4.29. CSTR denemelerinde reaktörlerde oluşan C değeri.....	99
Şekil 4.30. CSTR denemelerinde reaktörlerde oluşan N değeri.....	100
Şekil 4.31. CSTR denemelerinde reaktörlerde oluşan C/N oranı .....	101
Şekil 4.32. CSTR denemelerinde reaktörlerde oluşan KM oranı.....	102
Şekil 4.33. CSTR denemelerinde reaktörlerde oluşan OKM oranı.....	103
Şekil 4.34. CSTR denemelerinde reaktörlerde oluşan EC değeri .....	104
Şekil 4.35. CSTR denemelerinde reaktörlerde oluşan pH değeri.....	105
Şekil 4.36. CSTR denemelerinde reaktörlerde oluşan KOİ değeri .....	106
Şekil 4.37. CSTR denemelerinde reaktörlerde oluşan ADF değerleri .....	107
Şekil 4.38. CSTR denemelerinde reaktörlerde oluşan NDF değeri .....	108

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Hayvansal gübrelerin kimyasal kompozisyonları .....	15
Çizelge 1.2. Makro ve mikro alglerin türleri .....	16
Çizelge 3.1. Karışımların %7 ve %9 kuru madde oranındaki kimyasal kompozisyon parametrelerinin tanımlamaları .....	53
Çizelge 4.1. Büyükbaş hayvan gübresi ve makroalglerin kimyasal analizleri.....	65
Çizelge 4.2. Besleme materyallerinin %7 kuru madde oranındaki karışım oranları.....	66
Çizelge 4.3. Besleme materyallerinin %9 kuru madde oranındaki karışım oranları.....	67
Çizelge 4.4. BMP denemelerinde %7 ve %9 kuru madde oranında elde edilen biyogaz parametrelerinin varyans analiz sonuçları .....	109
Çizelge 4.5. BMP denemelerinde %7 ve %9 kuru madde oranında elde edilen biyogaz parametrelerinin ortalama değerleri ve önem testi .....	110
Çizelge 4.6. BMP denemelerinde %7 kuru madde oranında elde edilen cüruf parametrelerinin varyans analiz sonuçları .....	111
Çizelge 4.7. BMP denemelerinde %7 kuru madde oranında elde edilen cüruf parametrelerinin ortalama değerleri ve önem testi .....	112
Çizelge 4.8. BMP denemelerinde %9 kuru madde oranında elde edilen cüruf parametrelerinin varyans analiz sonuçları .....	113
Çizelge 4.9. BMP denemelerinde %9 kuru madde oranında elde edilen cüruf parametrelerinin ortalama değerleri ve önem testi .....	114
Çizelge 4.10. CSTR denemelerinde elde edilen biyogaz parametrelerinin varyans analiz sonuçları .....	115
Çizelge 4.11. CSTR denemelerinde elde edilen biyogaz parametrelerinin ortalama değerleri ve önem testi .....	115
Çizelge 4.12. CSTR denemelerinde elde edilen cüruf parametrelerinin varyans analiz sonuçları .....	116
Çizelge 4.13. CSTR denemelerinde elde edilen cüruf parametrelerinin ortalama değerleri ve önem testi .....	117

## 1. GİRİŞ

Günümüzde hayat standartlarının artması ve gelişen teknoloji ile enerjiye olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Enerji, temel olarak iki kaynaktan meydana gelmektedir. Bunlar; fosil ve yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Günümüz dünyasında ihtiyaç duyulan enerjinin çok büyük kısmı fosil kaynaklardan (kömür, petrol ve doğal gaz) karşılanmaktadır (Delborne ve ark., 2020; Höök, 2020; IEA, 2013). Fosil enerji kaynakları diğer enerji kaynaklarına göre ucuz olmalarının yanı sıra üretim teknolojisindeki gelişmelerden kaynaklı olarak da geniş kullanım alanına sahiptir. Sanayi devriminden sonra kömüre dayalı olan enerji ihtiyacı teknolojinin gelişmesiyle beraber petrol ve doğal gaz kaynaklı enerji türleri enerji gereksinimini karşılamaya başlamıştır. Fakat, 1973 yılında meydana gelen petrol krizinden sonra bu tarz fosil kaynaklı enerji türlerine güven sorunu oluşmaya başlamıştır (Gürbüz, 2009). Bu krizden sonra teknolojik ve maddi olarak gelişmiş olan lider dünya ülkeleri, yeni enerji kaynakları araştırmaya başlamışlardır. Ayrıca fosil kaynaklı enerji türlerinin çevre kirliliğine olan etkisinin fazla olması nedeniyle de araştırmalar hız kazanmıştır. Araştırmalar sonucunda fosil yakıtlarla rekabet etmesi zor görünmesine rağmen az kullanılan ve ikinci planda bırakılan yenilenebilir enerji kaynakları giderek önem kazanmaya başlamıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları, doğanın kendi evrimi içerisinde sonraki gün aynı şekilde mevcut olabilen temiz ve çevre kirliliği oluşturmayan, güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, jeotermal enerji, hidrolik enerji, hidrojen enerjisi, deniz kökenli enerjiler ve biyokütle enerjisinden oluşmaktadır (Güneş, 1999; Oktit, 2000). Biyokütle enerjisi, temiz, çevreci olması ve enerji verimliliğinin yüksek olmasından kaynaklı olarak yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir yer tutmaktadır. Biyokütle, yeşil bitkilerin güneş enerjisini fotosentez yolu ile kimyasal enerjiye dönüştürerek, depolamasıyla ortaya çıkan ve canlı organizmaların kökeni olarak da meydana gelen organik madde kaynağı şeklinde tanımlanmaktadır (Yorgun ve ark., 1998).

Enerji üretiminde kullanılan biyokütle kaynakları; bitkisel, hayvansal, şehir ve endüstri kaynaklı olan atıklardan oluşmaktadır (Sun ve ark., 1980; Yorgun ve ark., 1998). Biyokütleden biyoetanol, biyogaz, biyodizel, briket, pelet ve birçok yakıt türü meydana gelmektedir (Kaplukan, 2014). Biyokütle içerisinde daha yararlı, çevreci olması ve enerji verimliliğinin yüksek olmasından kaynaklı olarak kullanılan biyogaz, sıvı ve gaz formlarında elde edilebilen biyoyakıt türündendir (Wilkie, 2018). Biyogaz, anaerobik madde bozulmanın bir türü olarak oluşan ve içeriğindeki organik maddeye bağlı olarak, %60-75 metan (CH<sub>4</sub>), %23- 38 karbondioksit (CO<sub>2</sub>), %2 hidrojen (H<sub>2</sub>) ve %2 hidrojen sülfür (H<sub>2</sub>S) bulunan bir gaz karışımı



olarak tanımlanmaktadır (Bukvic ve ark., 2002; Aybek ve ark., 2015a; Üçok, 2016). Türkiye hem hayvansal hem de bitkisel üretim açısından yüksek potansiyele sahip önemli bir tarım ülkesi konumundadır. Hayvansal ve bitkisel üretim fazlalığından kaynaklı olarak organik atık potansiyelinin yüksek olmasına karşın bu oluşan atıkların enerjiye dönüştürülmesinde yaygın olarak kullanılan biyogaz teknolojisi gerektiği gibi değerlendirilememektedir. Türkiye ihtiyaç duyduğu enerjinin büyük bir bölümünü ithal ederek karşılamaktadır. Ayrıca nüfus ve sanayileşmenin artış oranına bağlı olarak artan enerji ihtiyacını karşılamak amacı ile alternatif enerji kaynaklarının kullanılmaya başlanması ve bu enerji türlerine yatırım yapılmasının önemide yükselmeye başlamıştır. Türkiye’de hayvancılığın yaygın olması ve tarımsal üretiminde yüksek olmasından dolayı tarımsal atıkların biyogaz üretimi üzerine araştırma çalışmaları önem kazanmaya başlamıştır. Canlı hayvan üretiminin artmasına bağlı olarak çok fazla organik atık oluşmakta ve bu atıkların yönetiminin uygun yapılamaması önemli çevre ve sağlık problemlerini meydana getirmektedir. Oluşan risk ve zararları en az düzeye indirmek için bu atıkların doğru yönetimi ve kullanımı da önem arz etmektedir.

Türkiye İstatistik Kurumu verilerine göre 2019 yılında Türkiye’de 14.523 milyon büyükbaş hayvan bulunmaktadır (TÜİK, 2019). Bu verilere dayanarak, Türkiye’de büyükbaş hayvan gübresi potansiyeli yaklaşık 621.473 milyon ton/yıl olmaktadır. Kahramanmaraş ili Elbistan ilçesi Ceyhan Kaynağı Pınarbaşı göleti; Afşin Elbistan A-Termik Santralinin soğutma suyu ihtiyacı, ilçenin içme suyu, tarımsal sulama ve yöre halkı için önemli mesire alanı haline gelmiştir. Ancak, gölette bentin yükseltilmesiyle yüzeyin genişlemesi sonucu çizgisel akış hızının düşmesi, sedimentteki fosfor oranının sudan yüksek olması ve ötrofikasyonun olmasıyla gölette aşırı yosun oluşmaktadır. Bundan kaynaklı olarak su yüzeyi bir battaniye görünümünde kapanmaktadır. Bu yosun *Cladophora* sp. makroalg türüdür (Demir ve ark., 2003). Kuraklığın artmasına bağlı olarak kaynak sularının azalmasıyla birlikte gölet yüzeyinde yüksek derecede oluşan Makroalg (yosun), atık maddeler kirlilik ve kötü koku meydana getirip çevre açısından ciddi problemlere neden olmaktadır. Söz konusu atıklar yenilediğinden, yörenin çevresel sorunlarına yük katmaktadır. Bu makroalg atıkları organik materyaller olduğundan, biyogaz üretimi için kullanılabilir. Böylece çevresel sorunların giderilmesi yanında enerji üretimi de sağlanabilir.

Günümüzde organik materyallerin biyogaz ve metan potansiyellerinin belirlenmesiyle ilgili birçok çalışma yapılmaktadır. Organik materyallerin özgül biyogaz ve metan üretimlerinin yüksek olmasında, enerji girdisi ve ekonomik getirisinin daha yüksek olacağı, yapılan birçok araştırmada mevcuttur. Türkiye bir tarım ve hayvancılığa dayalı ülke olmasından dolayı tarımsal materyaller ile tarıma dayalı endüstrisi materyalleri biyogaz üretiminde önemli bir

hammadde oluşturmaktadır. Anaerobik fermantasyon ile atık materyallerin biyogaza dönüştürülmesi dünyada en ekonomik ve yararlı uygulamalardan biridir. Biyogaz ve metan üretiminin artırması için bitkisel materyaller hayvansal materyallere karıştırılarak anaerobik fermantasyon işlemine tabi tutulmaktadır Farklı materyallerin belli oranlarda karıştırılarak anaerobik fermantasyon işlemi uygulanmasına ko-fermantasyon denilmektedir.

### **1.1. Biyokütle**

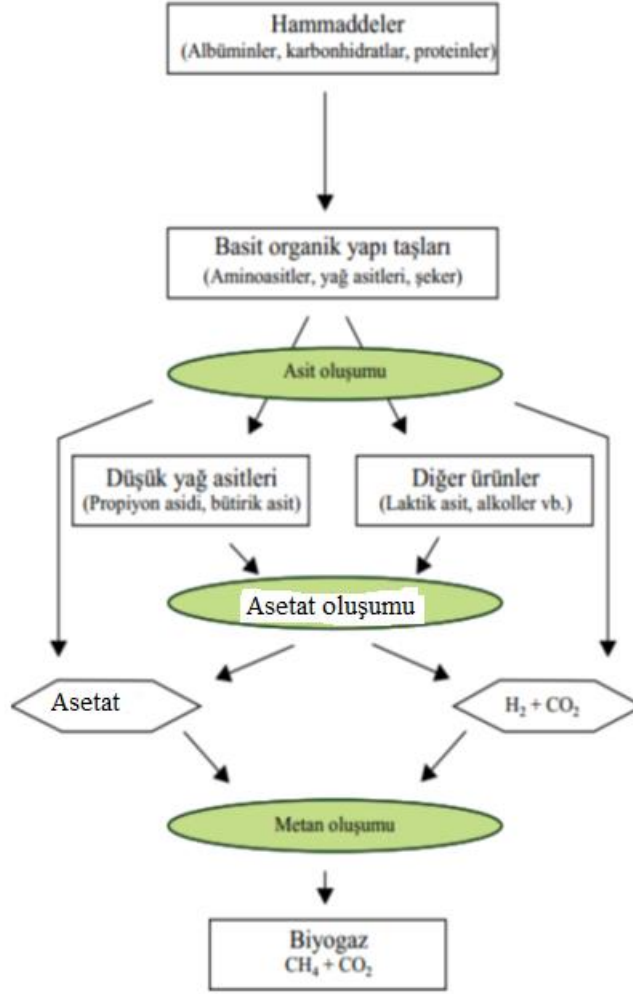
Biyokütle, yeşil olan bitkilerin güneş enerjisini kullanarak fotosentez ile kimyasal enerjiye dönüştüren ve canlı organizmaların kökeni olarak oluşan organik madde enerji kaynaklarından meydana gelmektedir. Canlı biyokütle genel olarak fitoplankton ve zooplankton olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır. Ölçü birimi olarak birim alana düşen yaş ya da kuru kütle'den meydana gelmektedir (Nacar ve ark., 2007). Biyokütle enerjisi, farklı teknolojik yöntemlerin kullanılmasıyla biyodizel, biyoetanol, biyogaz gibi biyoyakıtlara dönüşebilmektedir (Akova, 2008; Ögüt, 2007). Biyokütle materyallerinin en iyi şekilde değerlendirilme yöntemlerinden biride anaerobik fermantasyonla biyogaz üretiminin gerçekleştirilmesidir (Üçok, 2016). Biyogaz teknolojisi ile organik kökenli atık materyallerden hem enerji hemde zararlı gazlardan ve maddelerden arındırılarak organik gübre elde edilmektedir (Üçgül ve Akgül, 2010; Öztürk, 2008).

### **1.2. Biyogaz**

Biyogaz; hayvansal ve bitkisel kökenli atık materyallerin, anaerobik (oksijensiz) fermantasyon sonucu oluşan, renksiz, kokusuz, havadan hafif, yandığı zaman parlak mavi renkte alev oluşan ve bileşimindeki organik maddelere bağlı olarak içeriğinde; %50-70 CH<sub>4</sub>, %30-50 CO<sub>2</sub>, %0-3 H<sub>2</sub>S ve eser miktarda azot ve hidrojen oluşan gaz karışımından meydana gelmektedir (Erdal, 2001; Karayılmazlar ve ark., 2011; Aybek ve ark., 2015b).

#### **1.2.1. Biyogaz oluşum aşamaları**

Organik maddelerin anaerobik (oksijensiz) fermantasyon ile metan ve karbondioksit dönüşümü karmaşık mikrobiyolojik flora ile meydana gelmektedir. Gerçekleşen anaerobik (oksijensiz) fermantasyon sonucunda biyogaz dört aşamalı bir işlem sonucunda oluşmaktadır. Anaerobik bozunma (Şekil 1.1) sonucu biyogaz üretimi hidroliz, asit üretimi (asidojenesis), asetat üretimi (asetojenesis), metan üretimi (metanojenesis) olarak dört esas aşamadan meydana gelmektedir (Anon, 1999). Bu aşamalara ilişkin bilgiler aşağıda sunulmuştur.



Şekil 1.1. Anaerobik bozunma temel basamakları (Zhang ve ark., 2014, Chakravarthi, 1997)

### 1.2.1.1. Fermantasyon ve hidroliz

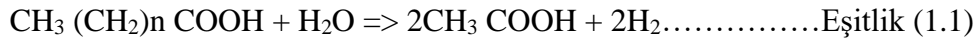
Fermantasyon ve hidroliz aşamasında fermentatif ve hidrolitik bakteriler olarak bilinen bakteriler tarafından organik maddelerin üç temel ögesi olan karbon hidrat ( $C_6H_{10}O_5$ )<sub>n</sub>, proteinler ( $6C\ 2NH_3\ 3H_2O$ ) ve yağları ( $C_50H_{90}O_6$ ) parçalayarak aminoasitler, yağ asitleri ve şeker oluşmaktadır (Zhang ve ark., 2014).

### 1.2.1.2. Ucucu yağ asitlerinin oluşumu (Asidojenesis)

Aminoasitler, yağ asitleri ve şekerlerin asidojenler tarafından parçalanmasıyla uçucu yağ asitlerin (propiyonik, bütirik, valerik, izo valerik) gerçekleştiği bu aşamaya uçucu yağ asitlerinin  $[CH_3\ (CH_2)_nCOOH]$  oluşum aşamasında denilmektedir (Zhang ve ark., 2014; Bayrakçeken, 1997; Öztürk, 1999).

### 1.2.1.3. Asetat oluşumu (Asetojenesis)

Asetatın oluşumu; ilk aşama sonucunda meydana gelen ve uçucu yağ asitlerini asetik aside dönüştüren asetogenik (asit oluşturan) bakteri florası devreye girmekte ve belli bir bölüm asetogenik bakteriler ise uçucu yağ asitlerini asetik asit ve hidrojene (Eşitlik 1.1) dönüştürmektedirler (Eraslan, 1981).



Başka asetogenik bakteri grubu ise oluşan karbondioksit ve hidrojeni kullanarak asetik asiti meydana getirmektedir (Eşitlik 1.2). Ancak, karbondioksit ve hidrojeni kullanarak oluşturulan asetik asit miktarı ilk basamakta oluşan asetik asite göre daha az olmaktadır. (Eraslan, 1981; Tafdrup, 1994).



### 1.2.1.4. Metan gazının oluşumu (Metanogenesis)

Anaerobik (oksijensiz) fermantasyonun son aşaması olan bu bölümde metanı meydana getiren bakteriler oluşmakta ve bu metan bakterilerin (arke grubu) bir bölümü  $\text{CO}_2$  ve  $\text{H}_2$ 'i kullanıp metan ( $\text{CH}_4$ ) ve su ( $\text{H}_2\text{O}$ ) oluştururken (Eşitlik 1.3), başka bir bölümü ise ikinci aşama sonucunda oluşan asetatı kullanarak  $\text{CH}_4$  ve  $\text{CO}_2$ 'i (Eşitlik 1.4) meydana getirmektedir (Eraslan, 1981; İlker, 2009).



Ancak, metan oluşum aşamasında Eşitlik 1'de oluşan metan, Eşitlik 2'de elde edilen metandan daha az oluşmaktadır. Üretilen toplam metanın %30'u birinci bölümde iken %70'i ise ikinci bölümde meydana gelmektedir (Avcıoğlu ve ark., 2011; Zhang ve ark., 2014; Eraslan, 1981; Tafdrup, 1994; İlker, 2009).

## 1.3. Biyogaz oluşumunu etkileyen faktörler

Anaerobik (oksijensiz) fermantasyonu gerçekleştiren bakteri gruplarından gaz üretimi ve metan miktarından en verimli şekilde yararlanabilmek için optimum reaktör koşullarının sağlanması gerekmektedir. Bu yüzden, biyogaz oluşumunu sağlayan parametrelerin optimum koşul ve şartları sağlamak gerekmektedir. Bu parametreler fiziksel (sıcaklık, karıştırma,

yükleme oranı ve bekletme süresi) ve kimyasal (C/N, pH, alkalinite, toksik maddeler ve besi ortamı) olmak üzere iki kısımdan meydana gelmektedir (Mitzlaff, 1988; Nagamani ve Ramasamy, 2010).

### 1.3.1. Sıcaklığın etkisi

Anaerobik (oksijensiz) fermantasyon metan üretim seviyelerine göre 3 ile 70 °C aralığında oluşabilmektedir (Anon, 1999). Bu sıcaklık aralıkları yapılan bazı denemelerde 0-100 °C sıcaklık aralığı olarak belirlenmiştir. Sıcaklığın azalması ile metan oluşum hızında olan değişme, asitlenme aşamasında meydana gelen değişim hızına göre etki seviyesi daha fazla olmaktadır. Sıcaklığın yükselmesiyle anaerobik (oksijensiz) fermantasyon süresi kısalmaktadır (Sasse, 1988).

Anaerobik (oksijensiz) fermantasyon, reaktör hidrolik bekleme süresi, atık su ve atık materyallerin çeşiti, pH, iyon türü, bunlara bağlı olarak meydana gelen mikroorganizma ve bakteri yapılarına göre 3 farklı sıcaklık bölgesi meydana gelmektedir:

- Psikofilik anaerobik (oksijensiz) fermentasyon (3–20 °C): Bu sıcaklık aralığında anaerobik (oksijensiz) fermantasyon hızı çok yavaş olmakta ve ortalama hidrolik bekleme süresi 100-300 gün arasında değişmektedir
- Mezofilik anaerobik (oksijensiz) fermentasyon (20–40 °C): Anaerobik (oksijensiz) fermantasyonda meydana gelen bakteri türlerinin en iyi yaşam sağladığı sıcaklık aralığından oluşmaktadır. Bundan dolayı biyogaz tesislerinde en çok uygulanan sıcaklık bölgesidir. Ortalama hidrolik bekleme süresi 20–60 gün arasında değişmektedir.
- Termofilik anaerobik (oksijensiz) fermentasyon (40-70 °C): Anaerobik (oksijensiz) fermantasyon hızının yüksek olmasından kaynaklı olarak hidrolik bekleme süresi daha kısa olmaktadır (Pekin, 1983; Anon, 1999).

Biyoreaktörlerde meydana gelen ani sıcaklık değişimleri bakteri topluluklarının faaliyetlerini olumsuz olarak etkilemektedir. Bu nedenle, reaktör içerisinde oluşan biyokimyasal reaksiyonları yavaşlayıp gaz üretimi olumsuz etkilemektedir. Sıcaklık değişimlerinin önlenmesi için biyogaz güç üretim tesislerinden elde edilen atık ısı reaktör istenilen sıcaklık seviyesinin kontrolünde kullanılmaktadır (Öztürk, 2005). Aynı zamanda, biyoreaktörlerin yeraltında kurulması ile gece ile gündüz arasındaki sıcaklık dalgalanmasının önüne geçilip toprak ısısındanda yararlanılabilmektedir.

### 1.3.2. Karıştırmanın etkisi

Biyogaz üretiminde kullanılan birçok atık materyalin daha iyi reaksiyon gerçekleşmesi için diğer atık materyal veya bulamaçlarla iyi bir şekilde homojen olarak karıştırılması gerekmektedir. Reaktör içerisinde kullanılan materyallerin karıştırılmasının birçok avantajları olmaktadır.

Bunlar;

- Metan bakterileri tarafından üretilen biyogazın oluşmasını hızlandırmak,
- Bakteri kültürüyle materyallerin homojen karışımı ile biyokimyasal reaksiyonun hızlandırılması,
- Anaerobik (oksijensiz) fermentasyon sırasında atık materyallerin reaktör içerisindeki üst yüzeyde meydana gelebilecek köpük oluşumunu ve atık materyallerin içerisinde bulunan küçük partiküllerin reaktörün taban kısmına çökmesini engellemek,
- Reaktör içerisindeki oluşan iç sıcaklığın dağılımını dengeleyerek eşitlemek,
- Reaktör içerisindeki bulunan bulamaçta meydana gelen bakteri topluluğunun yoğunluklarını düzenlemek,
- Reaktör içerisindeki meydana gelen ölü alanları, karıştırma yapılarak reaktör boş alan hacminin fermentasyon üzerindeki olumsuz etkilerini en aza indirmek (Anon, 1999).

Ek olarak besleme için kullanılan atıkların içerisindeki büyük partiküllerin daha küçük boyutlara öğütülmesi ve kütle aktarım dirençlerinin düşürülmesi için karıştırmaya gerek duyulmaktadır (Çağlar ve Uçar, 1981). Eğer besleme için kullanılan atıklarda topaklaşma meydana geliyorsa, anaerobik (oksijensiz) fermentasyonu olumsuz yönde etkileyip biyogaz üretimini düşürmektedir.

Karıştırmanın olmadığı fermantörlerde ölü bölgeler meydana gelmekte, bundan kaynaklı olarak eşit olması gereken hidrolik ve katı bekleme süreleri değişerek katı bekleme süresi artmaktadır. Katı bekleme süresinin artması reaktör içerisinde katı madde konsantrasyonunun yükselmesine, bu da zamanla reaktör efektif hacmini azaltarak tıkanıklıkların meydana gelmesine yol açmaktadır (Tushar Ghos, 1990). Karıştırmanın homojen ve etkili olması sayesinde biyogaz üretimleri %50'ye kadar artabilmektedir. Karıştırma hızının yavaş olması uygun ve verimli fermentasyon için ihtiyaç duyulmaktadır. Reaktör günlük beslemesinde oluşan hareket, gaz çıkışının ve termal taşınım etkisi ile karıştırmayı doğal şekilde meydana getirmektedir (Sasse, 1988). Ancak, büyük fermantörlerde ve yüksek besleme oranlarına sahip tesislerde bu tür karıştırma etkisiz kalmaktadır. Yeterli karıştırma oranı, reaktör içerisinde farklı bölgelerden alınan örneklerin katı madde oranlarında

oluşan değişikliğin %10'un altında kalmasıyla bulunmaktadır (Schlicht, 1999). Yüksek derecede hızlı karıştırma neticesinde birbirleriyle etkili ve faydalı olan bakteri toplulukların teması ortadan kalkmakta, bundan dolayı biyokimyasal işlevlerini yerine getirememelerinden kaynaklı olarak sistem verimi düşmektedir (Karim ve ark., 2005). Karıştırmalı olan fermantörlerde hidrolik bekleme süresi karıştırma yapılmayan fermantörlere göre daha az olarak meydana gelmektedir (Keshtkar ve ark., 2003; Yıldız, 2004).

Materyallerin reaktörde karıştırılmasının biyogaz üretimine olan etkileri şu şekilde sıralanabilir (Keshtkar ve ark., 2003; Yıldız, 2004) :

- Metanojenlerin meydana getirdiği metabolitlerin dağıtılması,
- Materyallerin bakteri kültürüne homojen şekilde karıştırılması,
- Reaktör bulamaç çökmesi ve heterojen oluşuma engel olunması,
- Homojen sıcaklık oluşumunu sağlaması,
- Bakteri kültürünün reaktör içerisinde iyi bir şekilde dağılması,
- Reaktör içerisinde heterojen şekilde oluşan ölü alanların oluşmasını engellemek

### 1.3.3. Hidrolik bekleme süresinin etkisi

Aşının reaktör içerisinde bekleme süresi kimyasal reaksiyonun uygunluğuna ve reaktöre verilen materyal türüne göre değişmektedir. İnoculumun fermantörde kalma süresi anaerobik fermentasyonda en önemli etkenlerden bir tanesidir. Tek kademeli olan karıştırıcı fermantörlerde hidrolik bekleme süresi ile katı madde bekleme süresi birbirlerine eşit olmaktadır. Bekleme süresine etki eden en önemli unsur genel olarak sıcaklıktan meydana gelmektedir. Katı madde bekleme zamanının düşük tutulması, anaerobik (oksijensiz) fermentasyon için gerekli olan sürenin sağlanamamasından dolayı sistem çökmesine neden olmaktadır. Bekleme süresinin artırılması ile uygun şekilde fermentasyonun olmasından kaynaklı olarak birim materyalden elde edilen biyogaz üretimi artmaktadır (Sing ve ark., 1985). İlk aşamada fermentasyonun %70-80 arasında gerçekleşmektedir. Reaktöre hammadde girişi ve %70-80 fermentasyon gerçekleşerek meydana geldiği çıkışı arasında olan zaman aralığına hidrolik bekleme süresini tanımlamaktadır (Kishore ve ark., 1987).

Hidrolik bekleme süresi (HBS), Eşitlik 1.5 ile ifade edilip materyal içerisindeki organik maddelerin bakteriler tarafından fermentasyonu sonucu biyogaz üretmesi için gerekli olan süreden oluşmaktadır (Öztürk, 2005).

$$HBS = \frac{\text{Reaktör Hacmi (m}^3\text{)}}{\text{Günlük Debi (m}^3\text{/gün)}} \dots \dots \dots \text{Eşitlik (1.5)}$$

Hidrolik bekleme süresi içinde besi materyallerinin %70-80 aralığında biyokimyasal reaksiyona girdiği kabul edilmektedir. Biyogaz tesislerinde işletme reaktör iç sıcaklığına bağlı olarak hidrolik bekleme süresi 20 ile 120 gün arasında değişmektedir. Tropik olan yerlerde hidrolik bekleme süresi 40-50 gün arasında değişmektedir. Sürekli beslemeli olan sistemlerde, bakteri topluluklarının reaktör içerisinde canlı tutmak ve bakterilerin artmasını sağlamak için hidrolik bekleme süresi uzun tutulmaktadır. Hidrolik bekleme süresinin kısaltılması fermante edilecek olan materyale göre değişme göstermektedir. Hayvan atıkların kullanıldığı anaerobik fermentasyon işleminde hidrolik bekleme süresini etkileyen en önemli aşama hidroliz kademesinden meydana gelmektedir. Çünkü, sığır gübrelere yüksek seviyede selüloz ve semi selüloz içermesinden kaynaklanmaktadır. Karbonhidrat ve yağlar daha kolay hidrolize olurken selülozların hidrolize olması çok daha zor olmaktadır. Mezofilik şartlarda ortalama hidrolik bekleme süreleri, sıvı sığır gübresi için 12-30 gün, saman yataklı sığır gübresi için 18–36 gün, bitki ile karıştırılmış olan sığır gübresi için 50-80 gün ve sıvı tavuk gübresi ise 20-40 gün arasında değişmektedir. Hidrolik bekleme süresinin tam olarak gerçekleşmemesi durumunda reaktörde oluşan bakteri oluşumu tam olarak sağlanmadığından ve uçucu yağ asidi konsantrasyonu kaynaklı olarak biyogaz üretiminde düşme olmaktadır. Reaktör sıcaklığı arttıkça hidrolik bekleme süresi düşmekte ve yüksek sıcaklıkta biyokimyasal reaksiyonlar daha kısa sürede gerçekleşmektedir. Bundan dolayı hidrolik bekleme süresini uygulanacak sıcaklığa göre seçmek önemlidir (Öztürk, 2005).

#### **1.3.4. Yükleme oranı ve katı madde oranının etkisi**

Yükleme oranı organik kuru madde içeriğine ve hidrolik bekleme süresine göre değişmektedir. Birim reaktör hacmine bir günde yüklenen organik kuru madde miktarını tanımlamaktadır. Yükleme oranının artması ile birlikte reaktör özgül metan üretim miktarı da artmaktadır (Dennis ve Burke, 2001). Yükleme oranı anaerobik fermentasyonda dikkat edilmesi gereken önemli etkenlerdendir. Yükleme oranı genel olarak  $\text{kg-UK (Uçucu Katı)/m}^3\text{-reaktör}$  şeklinde ifade edilmektedir (Pekin, 1983). Bu değer 1.5-8  $\text{kg-UK/m}^3\text{-reaktör.gün}$  aralığında değişme göstermektedir. Mezofilik şartlarda bu değer 4  $\text{kg-UK/m}^3\text{-reaktör.gün}$ 'ü aşmaması ifade edilmektedir. Bazı çalışmalarda 6.4 –10.5  $\text{kg-UK/m}^3\text{-reaktör.gün}$  arasında değişen yükleme oranlarında denemeler yapılmış olup %50 UK kaybına neden olmuştur. Fakat genel olarak yükleme oranı arttıkça UK giderimi de düşmektedir (Dennis ve Burke, 2001). Anaerobik fermentasyon esnasında genel olarak %40-50 UK giderilmektedir. Yükleme oranının artmasıyla ortam pH değeri düşmeye başlayıp buda inhibasyon oluşturmaya neden olmaktadır.



Bu olay metan bakterilerinin H<sub>2</sub>'i yeterli hızda uzaklaştıramayıp bundan kaynaklı olarak asit bakterilerinin çoğunluk hale gelip uçucu organik asit üretiminin artarak asit birikimine neden olmasından kaynaklanmaktadır. Bunun sonucunda sistemin dengesi zarar görüp bozulmaya başlamaktadır (Van, 1987).

Yükleme oranı Eşitlik 1.6 ile ifade edilmektedir (Kishore ve ark., 1987).

$$YO = k \frac{TK}{HBS} \dots \dots \dots \text{Eşitlik (1.6)}$$

Burada;

YO : Yükleme oranı (kg-UK/m<sup>3</sup>-reaktör.gün),

TK: Toplam katı miktarı (%),

HBS: Hidrolik bekleme süresi (gün),

Sığır gübresinde k değeri yaklaşık 7 olarak alınmaktadır

Katı madde oranının çok düşük olması durumunda reaktör içerisinde bulunan bulamaç çökmeye başlamaktadır. Bu durumda gaz üretiminin hızını etkileyerek düşürmeye başlamaktadır (Al-Azzam, 2003). Besleme atıkları %6-13 arasında toplam katı miktarına sahip olması durumunda, biyogaz üretimi için uygun ortam sağlamaktadır. Bulamaca fazla su ilave edilmesi kuru madde oranını düşürmektedir. Ayrıca ilave edilen suyun ısınmasında enerji gerektirdiğinden sistem veriminde azaltmaktadır. Hayvansal atıklar ile yapılan yüksek katılı çalışmalarda toplam katı oranı %22-25'e kadar çıkarılmakta ve bekleme süresi 30 gün olacak şekilde uygulanmaktadır. Bu şekilde olan sistemlerde fazla asetik asit birikmesi nedeni ile inhibasyon oluşmaktadır (Sarapatka, 1993).

### 1.3.5. C/N oranının etkisi

Organik atıklar, karbon yönünden ya da azot yönünden zengin materyaller diye iki kısma ayrılmaktadır. Karbon biyogaz oluşumunda bakteriler için enerji ihtiyacı iken azot ise anaerobik bakterilerin gelişimi ve üremesi için gerekli olmaktadır. Organik materyallerde en önemli karbon kaynağı karbonhidratlar, azot kaynağı ise protein, nitrat ve amonyaktan meydana gelmektedir (Pound ve ark., 1981). Azot miktarının düşük seviyede olması hücresel gelişimi engellemesinden dolayı verimi düşürmekte, yüksek seviyede olmasında ise amonyak birikimi söz konusu olmakta bu da pH değerinin 8.5'a çıkmasına sebep olup pH değerinin artmasından kaynaklı olarak sistem inhibe olmaya başlayıp buda az miktarda kötü kokulu ve yanıcılığı olmayan bir gaz üretmeye başlamaktadır. C/N oranının 8:1 seviyesinden azalmaya başlaması durumunda bu şekilde kötü bir etki görülmekte olup 15:1 ile 30:1 arasında olan C/N oranları

anaerobik fermantasyon için en ideal ortamları oluşturmaktadır (Avcıoğlu ve ark., 2011; Ekinci ve ark.,2019; Werner ve ark., 1989). Sindirim sırasında bakterilerin azotun bir bölümünü kullanmasından dolayı büyükbaş hayvanlar gibi geviş getiren hayvanların atığında azot miktarı az seviyede bulunmaktadır. Bundan kaynaklı olarak C/N oranı yüksek bulunmaktadır. (Werner ve ark., 1989). C/N oranının düşük ya da yüksek seviyede olmasında eksikliğe bağlı olarak belli miktarlarda üre veya alçı taşı eklenerek oranların dengeye getirilmesi sağlanabilir (Fry ve John, 1973).

### **1.3.6. pH değeri ve alkalitenin etkisi**

Kimyasal bir değeri ifade eden pH, mevcut bir çözeltilinin asidik ya da bazik olma durumunu belirleyen bir terimi ifade etmekte olup çözeltide mevcut olan H<sup>+</sup> iyonlarının konsantrasyonunu yani hidrojen iyonunun aktivitesini göstermektedir (Samsunlu, 1999). pH değeri, metan, biyogaz verimine ve hızına yüksek derecede etki etmektedir. Karışımın pH değerinin 4 olması için gereken asit miktarı olarak tanımlanan alkalinite değerinin yüksek olması durumunda sistemin tampon güç fazlalığını ifade etmektedir. Alkalinite değerindeki azalma, biyogazdaki CO<sub>2</sub> seviyesinin yükselmesi, pH seviyesinin düşmeye başlaması fermantör iç dengesinin bozulduğunu göstermektedir (Klein, 2002). Metan bakterileri için ideal ortam pH değeri 6.8–7.2 arasında olmaktadır. pH değerinin 6.6'nın altındaki seviyelere düşmesi metan bakterileri topluluklarının biyokimyasal faaliyetlerini büyük ölçüde düşürmekte olup 6.2 ve daha alt seviyelere düşmesi durumunda ise toksik etkiyi meydana getirmektedir. Bu duruma gelen bir sistemde asit üretimi sürmekte olup asit bakterileri pH değerinin 4.5-5.0 değerine gelinceye kadar üretimlerini devam ettirmektedirler. Anaerobik fermentasyonun başlangıç aşmasında pH değeri 6'ya kadar düşmekte olup metan üretim aşamasında amonyak derişiminin yükselişine bağlı olarak pH seviyesi yükselerek 7-7.5 aralığında oluşmaktadır. Sadece pH değerinde azalma olması durumunda dengeye getirmek için su ile seyreltme, kireç, yanmış kül ilave etme fermantör içerisinde belli oranda bulamaç boşaltıp belli miktarda organik materyal ilave etme şeklinde yapılan önlemler dengeleyici etki sağlamaktadır (Taşçı, 1988; Badawi ve ark., 1992;).

### **1.3.7. İnhibitör ve toksik maddelerin etkisi**

Ağır metal iyonları, sülfidler, sülfürler gibi inorganik iyonlar ve birçok organik materyaller anaerobik mikroorganizma topluluğuna toksik ve inhibitör etki oluşturmaktadırlar (Pekin, 1983). Demir, nikel ve kobalt gibi metallerin düşük seviyede olması fermantasyonu hızlandırmaktadırlar (Ram ve ark., 2000). Uzun zincirli yağ asitleri, dezenfektanlar, amonyak,

antibiyotik, zararlı ilaçlar ve deterjanlar toksik etkiye neden olup inhibe edici maddeleri oluşturmaktadır. Ayrıca, alkoller yüksek seviyede toksik etkiye neden olarak, metan üretiminin düşmesine sebep olmaktadır (Anon, 2000). Fermentasyon esnasında proteinlerden elde edilen amonyak seviyesinin yükselmesi inhibisyona sebep olurken düşük oranda olması biyogaz üretimini artırıcı etkiye sahip olmaktadır (Eldem ve ark., 2004).

### **1.3.8. Besi ortamının etkisi**

Fermentör içerisinde meydana gelen basıncın anaerobik bakterilere etki etmesinden kaynaklı olarak biyogaz üretim miktarında da etkiye sahip olmaktadır. Yapılan çalışmalara göre en uygun mutlak basınç aralığı 0.75–1.5 kPa olduğu belirtilmektedir. Biyogaz veriminde ideal basınçtan yüksek olması durumunda verime olumsuz etki yapacağı belirtilmektedir. Ancak özellikle büyük fermentörlerin alt tarafında oluşan metan bakterileri oldukça büyük hidrolik basınç altında faaliyetlerini devam ettirmektedirler. Yapılan bazı çalışmalarda, biyogaz üretimine engelleyici etki etmeden faaliyetlerini sürdürebileceği basınç sınırı 120 kPa olarak belirtilmiştir. Yapılan farklı incelemelerde ise reaktör içerisinde oluşabilecek olan 3.75 kPa negatif basıncın, termofilik fermentasyonda metan üretim verimini %5 arttırdığı bildirilmiştir (Chynoweth ve Isaacson, 1987 ). Basıncın yükselmesi durumunda metana göre 40 kat daha fazla çözünebilir özelliğine sahip CO<sub>2</sub>'nin sıvı içerisindeki konsantrasyonu yükselmektedir. Bundan kaynaklı olarak biyogaz içerisindeki metan oranı da artmaktadır. İnokulum su oranı fermenterdeki besin materyallerine bağlı olmakta olup fermentörlerde hiç tabakalaşma olmaması için tam karışım gerekmektedir. Eğer bulamacın en alt kısmı ile en üst bölümlerinde büyük bir farklılık oluşmakta ise bu katmanlaşma olmasından kaynaklanabilir. Reaktör içerisinde bulunan bulamaç atığa bağlı olarak ne çok katı, ne de çok sıvı olmalıdır. Yeni fermante olmaya başlayan organik materyallerin içerideki bakteri sayısı başlangıç aşaması olmasından kaynaklı olarak çok az bulunmaktadır. Anaerobik ortam şartlarında organik materyallerin parçalanması ve biyogaz üretimi kendiliğinden oluşmakta farklı bir tesisden alınan inokulum yüksek mikroorganizma içermesinden dolayı biyogaz üretimine etki edip kısa sürede gaz oluşumunu sağlamaktadır (Mutlu, 2003). Fazla miktarda biyogaz oluşumu fermentörlerde kalıcı köpük tabakası oluşturabilir. Köpük oluşumu inhibe sonrası iyileşme organik materyallerde ani artıştan meydana gelebilir (Mosey ve Foulkes, 1984). Köpük oluşumu, sıcaklık veya çamur bekleme süresinin artmasıyla azalma gösterebilir. Bununla birlikte yüksek köpük formasyonlu çamur yüksek gaz üretiminin olması durumunda oluşmaktadır. Çamur bekleme süresinin zamana bağlı olarak yağların konsantrasyonu üzerine

etkisi olmaktadır. Yağ gideriminin oluşturulmasıyla beraber köpük oluşumu düşmeye başlamaktadır (Halalsheh ve ark., 2005).

### **1.3.9. Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)'nin etkisi**

Atık sularda kirlilik derecesini belirlemek amacıyla yapılan en iyi metotlardan bir tanesi KOİ analizidir. Maddenin oksitlenmesiyle biyolojik olarak parçalanma hızı olmaksızın organik maddelerin oksitlenebilme halini ortaya koymaktadır. Atık sularlardaki organik maddelerin miktarını, kimyasal oksidasyonlarına bağlı olarak gerekli oksijen miktarı cinsinden belirlenebildiği bir metottur. Biyogaz uygulamalarında ise KOİ ölçümleri organik maddelerin ne kadarının anaerobik mikroorganizmalar tarafından kullanıldığını gösterdiğinden, anaerobik sürecin kontrolü açısından önemlidir (Samsunlu, 2005).

### **1.3.10. Ko-fermantasyonun etkisi**

Biyogaz ve metan üretiminin artırması için bitkisel materyaller hayvansal materyallere karıştırılarak anaerobik fermentasyon işlemine tabi tutulmaktadır Farklı materyallerin belli oranlarda karıştırılarak anaerobik fermentasyon işlemi uygulanmasına ko-fermantasyon denilmektedir. Anaerobik fermentasyon işleminde fazla gaz üretimi, bakterilerin gelişimi ve çoğalması için en uygun ortamın sağlanması gerekmektedir. Makro-mikro besinlerin (N, P, S, K, Ca, Mg, B, Cu, Mn, Zn, Na, Al, Cl) dengesi, iz elementlerin yeterli oranda olması ve C/N dengesi, inhibite ve toksit etki yapan maddelerin azaltılması ile karışımların en uygun ortamı ko-fermantasyon ile sağlanabilir. Ko-fermantasyon ile en uygun ortamın sağlanması ile bakterilerin üremesi ve çoğalması oluşarak sinerjik etki yaparak gaz üretimi artmaktadır. Bu ortamın gaz üretimine etki etmediği ortama nötr etki, gaz üretimini azaltığı ortama ise antagonistik etki denilmektedir (Zhang ve ark., 2014;Brown ve Li, 2013).

Ko-fermantasyonda C/N oranı önemli bir unsurdur. C oranının yüksek olması ortamda karbonhidratların hızlı bir şekilde parçalanması ile uçucu yağ asit fazlalığı oluşmakta buda pH düşüşüne sebep olup inhibite etki yapmaktadır. N oranının fazla olması ile amonyak oluşumunun artıp buda pH değerinin yükselmesine sebep olarak inhibite etki yapmaktadır (Tyagi ve ark., 2018)

## **1.4. Biyogaz üretiminde kullanılan organik materyaller**

Biyogaz üretimi temel olarak organik materyallerin fermente edilmesine dayandığı için temel materyaller bitkisel, hayvansal ve endüstriyel atıklardan meydana gelmektedir. Söz konusu atıklar aşağıdaki şekilde sıralanabilir (Anon, 2000):

1. Tarımsal atıklar,
2. Makroalgler,
3. Yemek atıkları,
4. Orman endüstri atıkları
5. Deri ve tekstil endüstrisi sonrası kalan atıklar,
6. Kağıt endüstrisinden oluşan atıklar,
7. Gıda endüstrisinden meydana gelen atıkları,
8. Sebze, tahıl, meyve ve yağ endüstrisinden oluşan atıklar,
9. Şeker endüstrisinde meydana gelen atıklar,
10. Evsel katı atıklar.

Hayvansal atıkların biyogaza dönüşümlerinin daha yararlı olması, kolay bulunabilmesi ve yüksek derecede atık sorunu oluşturmasından dolayı dünyada biyogaz tesisleri için temel materyal olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, mineral ve iz element açısından yüksek oranda zengin, protein, yağ, karbonhidrat ve vitamin gibi temel besin materyallerini sentezleyebilmeleri bakımından makroalglerin faydalı şekilde yararlanılabilmesi için dünya üzerinde biyogaz üretiminde kullanılması önde gelmektedir (Korkmaz, 2017).

#### **1.4.1. Büyükbaş hayvan atıkları**

Hayvan atıklarının biyolojik proseslere uygunluğu bakımından önemli etkenlerden bir tanesi biyolojik çözünürlüktür. Gübrenin sahip olduğu yüksek orandaki lignin mikrobiyolojik olaylara karşı direnç gösterdiğinden genel olarak büyükbaş hayvan gübrelere biyolojik çözünürlük oranı daha düşük olmaktadır. Yapılan bir çalışmada kesikli reaktörler kullanılmış bunun sonucunda büyükbaş hayvan gübresinde meydana gelen biyolojik çözünürlük oranı %40 olarak belirlenmiştir. Biyolojik çözünürlüğün artış göstermesiyle anaerobik fermantasyon sonucu üretilen gaz miktarlarında %50'ye varan artışlar görülmektedir. Bundan kaynaklı olarak hayvan atıklarının (gübre) uygun şartlar ve oranlarda farklı organik atıklar ile karıştırılmasıyla anaerobik fermantasyon prosesi uygulanmasında daha verimli sonuçlar elde edilmektedir (Sezen, 1984).

Hayvansal gübrelere kimyasal yapıları Çizelge 1.1'de verilmiştir. Buna göre büyükbaş hayvan gübresi; ortalama %83.2 su, %16.2 kuru madde, %2.29 N ve %0.1 K<sub>2</sub>O (potasyum), %0.17 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ve %0.34 CaO'dan meydana gelmektedir.

Çizelge 1.1. Hayvansal gübrelerin kimyasal kompozisyonları (Sezen, 1984)

Gübre kaynağı	H <sub>2</sub> O (%)	Kuru madde (%)	N (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO
Büyükbaş hayvan	83.2	16.2	2.29	0.17	0.10	0.34
At	75.7	24.3	1.44	0.35	0.35	0.15
Koyun	65.5	34.5	1.55	0.31	0.15	0.46
Kaz, Ördek	75.0	25.0	1.80	1.00	0.80	1.30
Güvercin, Tavuk	62.0	38.0	1.70	1.60	0.90	2.00

Hayvan gübrelerinin yapısını ve miktarını etkileyen faktörler bulunmaktadır.

Bunlar; hayvanların cinsi, beslenmesi, yaşı ve barınaklarda kullanılan yataklıkların etkisidir (Anonim, 2010).

#### 1.4.2. Makroalgler

Algler, fotosentetik pigmentleri olan karmaşık üreme sistemlerine sahip olmayan prokaryotik ya da ökaryotik ilkel bitkisel organizma türü olarak tanımlanmakta olup mikroskobik tek hücreli canlılardan, karmaşık çok hücreli olan ve metrelerce uzunluğa sahip olabilen deniz yosunlarından meydana gelmektedir (Sze, 1998). Algler, biyokimyasal ve fizyolojik olarak benzer metabolik döngünün olması, klorofilinin olması, benzer protein ve karbonhidrat üretmesinden dolayı bitkilere benzemektedir. Alglerin gözle görülemeyen mikroskobik boyutlarda olan türlerine mikroalg, gözle görülebilen büyük boyutlarda olan türlerine ise makroalg denilmektedir (Korkmaz, 2017).

Makroalgler hızlı, çabuk büyüyen ve 60 metre uzunluğuna sahip olabilen tuzlu ve tatlı su bitkileri olarak tanımlanmaktadır (Ross ve ark.,2008). Makroalglerin (yosun), genel olarak yaşam alanları kıyı bölgelerdeki kayalara ve taş yüzeyleri ya da su yüzeylerinden oluşmaktadır. Makroalgler yaşadıkları alanda bazı canlılar için besin almaları gibi, suda yaşayan canlıların bazıları için ise üreme ve yaşam alanı da oluşturmaktadırlar (Polat ve ark., 2012). Makroalglerin %50-80'ini sakkarit, %8-24'ünü yağ, %7-27'sini protein ve %33-50'sinin ligninden meydana geldiği bilinmektedir. Protein, mineral ve vitamin içeriği yönünden zengin bir besin kaynağı olmasından kaynaklı olarak makroalgler insanlar tarafından gıda hammaddesi olarak kullanılmaktadır. Günümüzde yaklaşık 221 makroalg türü ticari şekilde değerlendirilmekte ve bu türlerin yaklaşık %65'i insan gıda hammaddesi olarak kullanılmaktadır. Deniz makroalgleri, bir tür sucul biyokütlenin kaynağı olup iyi bir potansiyele sahip olmasından dolayı yenilenebilir enerjinin iyi bir kaynağı olarak görülmektedir (Ross ve ark.,2008). Makroalgler genel olarak %10-15 arasında kuru maddeye sahip olmaktadır (Roesijadi ve ark., 2010). Makroalglerin %60'ının karbonhidrat içerikli olduğu belirtilmektedir. Makroalglerin hücre duvarlarının bileşenlerinin ana kaynağı karbonhidratlardan meydana

gelmektedir. Özellikle yeşil ve kırmızı makroalgler selüloz ve/veya nişastaya sahip olduğu belirtilmektedir (Chen ve ark., 2015).

Deniz yosunlarının biyogaz üretim tesisleri dışında, insan yiyeceği, kozmetik amaçlı, tarım ilacı, endüstriyel yapııştırıcı ve kimyasal maddelerin üretiminde kullanıldığı bilinmektedir (Abbott, 1982). Makro ve mikro alglerin türlerinin farklılıkları Çizelge 1.2’de verilmiştir.

Çizelge 1.2. Makro ve mikro alglerin türleri (Abbott, 1982)

	Makroalg			Mikroalg
	Yeşil alg	Kırmızı alg	Kahverengi alg	
Polisakkarit	Mannan	Karragen	Laminarin	Niştasta
	Ulvan	Agar	Manitol	Arabinoz
	Niştasta	Selüloz	Aljinat	Fukoz
	Selüloz	Aljinat	Glukan	Galaktoz
Monosakkarit	Glikoz	Glikoz	Glikoz	Glikoz
	Manoz	Galaktoz	Galaktoz	Manoz
	Üronik asit	Agaroz	Üronik asit	Ramnoz
Temsilci	Ulva lactuca	Gelidium amansii	Laminaria japonica	Riboz
Karbonhidrat	54.3	83.6	59.5	
Yağ	6.2	0.9	1.5	
Protein	20.6	12.2	30.9	
Kül	18.9	3.3	8.1	

### 1.5.Çalışmanın amaçları

Bu çalışmanın genel amacı biyogaz tesisleri için hammadde olarak kullanılabilen büyükbaş hayvan gübresi ve makroalg atıklarının, en uygun karışım oranlarında, ko-fermantasyonu ile biyogaz ve metan verimlerinin belirlenmesidir.

Araştırmanın spesifik amaçları ise şunlardır;

- Büyükbaş hayvan gübresi ve makroalglerin kimyasal analizlerinin belirlenmesi,
- Büyükbaş hayvan gübresi ve makroalglerin C/N’na göre karışım oranlarının belirlenmesi.
- BMP (biyometan potansiyel) denemelerinde, %7 ve %9 kuru madde oranlarındaki; metan oranları, günlük biyogaz ve metan üretimi, kümülatif biyogaz ve metan üretimi ve özgül metan üretiminin belirlenmesi.
- BMP denemelerinde, çalışma başlangıcında ham materyallerin ve anaerobik fermentasyon sonucu oluşan biyogaz cürufunun kimyasal kompozisyonlarının (karbon (C), azot (N), C/N, kuru madde (KM), organik kuru madde (OKM), pH,

elektriksel iletkenlik (EC),kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), nötr deterjanda çözünmeyen lif (NDF) ve asit deterjanda çözünmeyen lif (ADF)) belirlenmesi.

- BMP denemelerinde, %7 ve %9 kuru madde oranlarındaki metan ve biyogaz verimi belirlenen en iyi karışım oranının CSTR (tam karıştırmalı reaktör) yönteminde dört ayrı reaktörde (%7 kuru madde oranı için R1, R2, %9 kuru madde oranı için R3, R4) denenmesi.
- CSTR denemelerinde; günlük biyogaz, metan üretimi ve metan oranı, kümülatif biyogaz ve metan üretimi ve günlük karbondioksit oranının belirlenmesi.
- CSTR denemelerinde; zamana bağlı olarak anaerobik fermantasyon sonucu oluşan biyogaz cüruf'un kimyasal analizlerinin belirlenmesi.
- Büyükbaş hayvan gübresi ve makroalg (*Cladophora* sp.) atıklarından en yüksek biyogaz verimini sağlayacak karışım oranlarının belirlenmesi.
- Süreklilik sağlayan atıkların biyogaz enerjisine en verimli şekilde dönüştürülmesi konusunda öneriler geliştirmek.
- Bu konuda yapılacak bilimsel çalışmalara katkı sağlamak.



## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Konuya ilişkin yapılan bazı çalışmalar kronolojik olarak aşağıda verilmiştir.

Sanchez ve ark. (1993), aneorobik fermantasyon ile alglerden meydana gelen metan, biyogaz ve karbondioksit üretimlerini 64 gün süre ile araştırmışlardır. Farklı deneme sonuçlarında metan oranları %67-76 iken CO<sub>2</sub> oranları ise %8-30 arasında bulunmuştur. Yapılan kimyasal analizler sonucunda pH 7.1-8.4, KOİ 2700-6700 mg/L ve alkalilik 1400-1550 mg/L arasında bulunmuştur.

Hammad ve ark. (1999), farklı hayvan atıkları (sığır, koyun, at, kümes hayvanları) ile zeytin, arpa atıklarını belirli oranda karıştırarak 16 m<sup>3</sup> lük bir reaktörde metan üretimini gerçekleştirmişlerdir. Üretilen gaz kırsal kesimde olan evlerde ısıtma ve ocaklarda kullanılmıştır. Yapılan çalışmada ek olarak sıcaklık faz ayrımının biyogaz ve metan etkisine bakılmıştır. Çalışma sonucunda sıcaklığın artmasıyla metan ve biyogaz üretiminde artış gözlemlenmiştir.

Itodo ve ark. (2001), tavuk gübresi, sığır gübresi ve domuz gübresi atıklarını 35 °C de 15 gün süre boyunca BMP test ünitesinde biyogaz oluşum potansiyellerini incelemişlerdir. Denemeler %5, %10 ve %15 kuru madde oranında 3 tekrarlı olacak şekilde yapılmıştır. Araştırma sonucuna göre kuru madde oranının artması biyogaz verimlerini düşürmüştür. Ayrıca, sığır ve domuz gübrelerinin biyogaz üretim verimleri arasında önemli farklılık yokken tavuk gübresi atıkları biyogaz üretim potansiyeli istatistiki bakımından önemli farklılık oluşturmuştur.

Callaghan ve ark. (2002), araştırmalarında sığır gübresi (SG), sebze ve meyve atıkları (SM) ile tavuk gübresi (TG) atıklarını belli oranlardaki karışımlarından en iyi metan üretimi karışım oranlarını belirlemeye çalışmışlardır. Araştırma, 18 L hacminde fermantör mezofilik şartlarda 21 hidrolik bekleme süresi ve 3.19-5.01 kg VS/m.<sup>3</sup> organik yükleme oranıyla yapılmıştır. Karışım oranlarında meyve sebzenin oranı %20'den %50 ye artırılması ile metan üretimi 0.23'den 0.45 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>kg<sup>-1</sup> VS yükselmiştir. Karışımlarda tavuk gübresi atıklarının artmasıyla amonyak derişimi etkisiyle fermantör veriminde düşmeler meydana gelmiştir.

Güngör (2002), tavuk gübresi (TG) ve sığır gübresi (SG) atıklarının belli oranlarda beş farklı karışımları ile anaerobik fermantasyon sonucu metan ve biyogaz üretim değerlerini araştırmıştır. Kesikli reaktörde yapılan çalışmada en ideal kimyasal oksijen gereksinimi (KOİ) 12.000-53.500 mg/L arasında ve toplam katı madde %1-%4.3 yoğunluğunda meydana gelmiştir. Araştırma sonucunda ortalama biyogaz üretimi 245 mL/g olurken biyogaz içerisinde

meydana gelen metan oranı ise %57-67 arasında gerçekleşmiştir. Çalışmada ayrıca yüksek KOİ oluşan fermantörlerde 91 gün sonunda 300 L biyogaz üretimi olurken biyogaz içerisinde oluşan metan oranı ise %49-67 arasında meydana gelmiştir. Ayrıca KOİ derişimi artmasıyla SG atıklarından oluşan metan ve biyogaz verimi azalmıştır.

Kaparaşu ve ark. (2002), enerji bitkileri (EB), sanayi yan şeker ürün atıkları (SYA), sığır gübresi (SG) atıkların ve bu atıkların ko-fermantasyonu ile biyogaz üretim potansiyellerini incelemiştir. Çalışmada fermantörde gerçekleştirilen en iyi karışımında (%60 (SYA)+ %40 sığır gübresi (SG)) maksimum metan üretimi gerçekleşmiştir.

Demirci ve Demirer (2004), çalışmalarında tavuk gübresi (TG) ve sığır gübresi (SG) atıklarının anaerobik fermentasyon ile metan ve biyogaz üretim değerlerini artırıcı araştırmalar yapmışlardır. Çalışma beş farklı oranda, iki atığın kofermantasyonu ile fermantörlerde gerçekleştirilmiştir Karışımında KOİ değerleri 12000 ve 53500 mg/L olarak belirlenmiştir. Başlangıçta, KOİ değeri 12000 ve 53500 mg/L olarak belirlenirken toplam KOİ katı madde giderim veriminin sırasıyla %32-43.3 ve %37.9-50, biyogaz üretim verimi ise sırasıyla 180–270 mL gaz/g KOİ, 223–368 mL gaz/g KOİ olarak bulunmuştur. Çalışmada ayrıca TG oranının artmasıyla biyogaz ve metan üretim değerlerinde azalma gözlemlenmiştir.

Hartmann ve ark. (2005), çöp atıkları (ÇA) ve gübre atıklarının anaerobik fermentasyon ile termofilik (55° C) ortamda iki farklı reaktörde biyogaz üzerine olan etkilerini incelemiştir. İlk olarak hidrolitik bekleme süresi 14-18 gün arasında iken organik besleme oranı ve 3.3-4.0 g/gün (daha açık yazalım) olacak şekilde gübre ile beraber sindirimin iyi olduğu belirlenmiştir. ÇA'dan meydana gelen biyogaz üretimi 0.63-0.71 L/g aralığında oluşmuştur.

Amon ve ark., (2006), çalışmalarında enerji bitkileri, hayvan gübresi,, mısır silajı, süt sığır gübresi ve ko-fermantasyonu sonucu oluşan biyometan üretimlerini araştırmışlardır. Deneme 1 L hacminde cam reaktörlerde 38 °C'de 60 gün süre ile gerçekleştirilmiştir. Sığır gübresi metan üretim değeri 166.3 L CH<sub>4</sub>/kg OKM olarak bulunmuştur. Araştırmada ek olarak farklı bitki çeşitlerinin farklı aylara göre biyogaz üretim ve metan oranlarını da incelemiştir. Elde edilen inceleme sonucuna göre bitkinin geç olgunlaşmaya başlaması sonucunda biyogaz ve metan oranı düşmeye başlamıştır. Geç olgunlaşan bitki türlerinde metan değerleri 312-365 L CH<sub>4</sub>/kg OKM tam olum döneminde ise 268-286 L CH<sub>4</sub>/kg OKM olarak bulunmuştur.

Lehtomäki ve ark. (2006), çalışmalarında ot silajı (OS), şeker pancarı atıkları (SA), yulaf samanının (YS), sığır gübresi (SG) ve bu atıkların kofermantasyonunu yarı beslemeli CSTR reaktörlerinde biyogaz ve metan üretim değerlerini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda OS, SA, YS ve SG atıklarının sırasıyla metan üretim değerleri 213, 229 ve 268 L/CH<sub>4</sub> kg olarak

belirlenmiştir. Çalışmada SG miktarının artmasıyla biyogaz ve metan üretim değerlerinde artma gözlemlenmiştir.

Sözer ve Yıldız (2006), bozulmuş süt (BS), peynir altı suyu (PS), büyükbaş hayvan atıkları (BA) ve bu atıklarının ko-fermantasyonu ile biyogaz üretim değerlerini incelemişlerdir. Araştırma 15 günlük HBS ile mezofilik ortamda sürekli beslemeli biyogaz fermentöründe yapılmıştır. Araştırmada BA' ya %5, 10, 20, 40, 50 ve 75 oranlarında BS eklenmiş olup en iyi biyogaz üretim oranı %50 BA+ %50 BS' de 25.47 L/gün olarak meydana gelmiştir.

Amon ve ark. (2007), çalışmayı iki aşamada gerçekleştirmişlerdir. Çalışmanın ilk aşamasında inek gübresi biyogaz üretimini, ikinci aşamasında ise mısır silajı, domuz gübresi ve kolza küspesine belli oranlarda gliserin karıştırarak metan, biyogaz üretimi ve verimini incelemişlerdir. Diğer atıklara oranla yüksek azota sahip olan inek gübresi metan verimi açısından daha yüksek değere sahip olduğu tespit edilmiştir. Yapılan kimyasal analizler sonucunda ise ligninin inek gübresinde biyogaz içerisindeki metan verimini düşürdüğü gözlemlenmiştir. Gliserini belirli oranlarda katılması biyogaz üretimi ve metan veriminde artışa sebep olmuştur. Gliserinin azot değeri yüksek olan mısır silajı, kolza küspesi ve domuz gübresi atıklarına ilave edilmesiyle anaerobik fermentasyon sonucu biyogaz içerisindeki metanı artırmıştır. Karışımda en iyi gliserin ilave oranı %6'ya kadar olan ekleme olarak bulunmuştur.

Gelegenis ve ark. (2007), CSTR fermentörlerinde mezofilik koşullarda tavuk gübresi (TG), peynir altı suyu (PS) ve farklı karışım oranlarındaki metan ve biyogaz üretim değerlerini belirlemişlerdir. Araştırmada PS'nin %50'nin karışım oranına kadar biyogaz miktarını arttırdığı gözlemlenmiştir. PS oranının %50 üzerine çıkmasıyla pH ve biyogaz üretiminde azalmalar gerçekleşmiştir. Sadece TG ile yapılan deneylerde PS eklenmiş olup mezofilik ortamda 18 gün hidrolik bekleme süresi ve 4.9 g KOİ/L gün organik atık beslemesi ile biyogaz üretiminin %40'lık bir oranda artış sağlayıp 2.2 L/gün olmuştur.

Yen ve Brune (2007), araştırmalarında alg çamurunda kimyasal özelliklerinin düşük olmasından dolayı anaerobik fermentasyon sürecince kısıtlayıcı bir etken olarak belirlemişlerdir. Araştırmada algal çamur besleme karışımında atık kağıdın yüksek karbon içermesinden dolayı C oranını artırıcı etki yaptığı belirlenmiştir. Çalışma sonucunda algal çamura %50 oranında besleme karışımında atık kağıdın ilave edilmesiyle metan üretim oranını  $1170 \pm 75$  mL/gün olarak artırdığı bulunmuştur. Algal çamurun anaerobik fermentasyon sonucu üretilen biyogaz miktarı ise  $573 \pm 28$  mL /gün olarak belirlenmiştir. Maksimum metan üretimi ise 4 g VS/gün algal çamuruna 5 g VS / günlük atık kağıt eklenmesiyle  $1607 \pm 17$  mL/gün olarak belirlenmiştir. Araştırmada optimum C/N oranının 20-25:1 aralığında olduğu bulunmuştur.

Ahn ve Smith (2008), araştırmalarında süt sığırı gübresi, tavuk gübresi, domuz gübresi ile mısır bitkisini belli oranlarda karıştırarak %15 kuru madde ve 55 °C termofilik sıcaklıkta olan biyokimyasal test ünitesinde araştırma yapmışlardır. 1 litrelik cam şişelerin reaktör olarak kullanılıp su banyosuna yerleştirilmesiyle oluşan test ünitesinde 30 gün süre ile deneme yrtlmştr. Biyogaz retimi ve metan veriminde en iyi karışım domuz gübresi ile mısır bitkisi karışımı olup 0.229 L CH<sub>4</sub>/g OKM metan üretimi gerçekleşmiştir. (alışam içinde kuru madde terimini kuru madde olarak değiştirelim)

Chen ve ark. (2008), büyükbaş hayvan atığı ve gliserin atıkları belli oranda karıştırılarak biyogaz üretimi ve metan verimi üzerine araştırma yapmışlardır. Çalışmada tek aşamalı tam karıştırmalı 20 L hacminde silindirik reaktör sürekli beslemeli denemede kullanılmıştır. Çalışma mezofilik ortamda 20 gün süre boyunca yapılmıştır. Araştırmada sürekli besleme ve 4 farklı oranda gliserin ve gübre karışımı kullanmıştır. Karıştırma aralığı 20 dakika/saat şeklinde ayarlanmıştır. C/N aralığı 15.1 ile 19.9 arasında değişmiştir. Ortalama biyogaz verimi 0.43 L/g-0.46 L/g ve metan oranı %58-%70 arasında ölçülmüştür.

Fernandez ve ark. (2008), deniz yosunlarından biyogaz ve metan üretmeye yönelik çalışma yapmışlardır. *Macrocystis pyrifera*, *Durvillea antarctica* türleri ve 1:1 oranında karışımlarının biyogaz potansiyeli ve metan verimlerini belirlemişlerdir. Çalışma sonunda %65 civarında biyogaz içerisinde metan verimi olmuştur. Yüksek metan verimine sahip olmasına rağmen düşük biyogaz üretimi meydana gelmiştir. (bu çalışmayı daha detaylı verelim???)

Neves ve ark. (2008), balık atıklarından geriye kalan yağları, sığır gübresi ve gıda atıklarının fermantör içerisinde KOİ giderimlerine göre sistem kararlılığını araştırmışlarıdır. İlave edilen yağa göre 9, 12, 15 ve 18 g KOİ/L fermantör en kararsız olan ekleme 18 g KOİ/L fermantörde olup gaz üretiminde azalma gözlemlenmiştir. Ayrıca uygun yağ ilavesinin gaz üretimini artıracadığını belirtmişlerdir.

Satyanarayan ve ark. (2008), büyükbaş hayvan gübresine belirli oranlarda hardal yağı kşpesi karıştırarak biyogaz üretimi ve metan verimini artırmaya çalışmışlardır. Denemede ilk olarak sığır gübresine %10 oranında hardal yağı kşpesi ilave edilip ardından ise hardal yağı kşpesi % 15, % 20, % 25 ve % 30'a çıkarılarak araştırma yapmışlardır. Yapılan kimyasal analizler sonucunda hardal yağı kşpesinin azot miktarı daha fazla olduğu tespit edilmiş olup pH değerleri ise 6.7 ile 7.7 arasında ölçülmüştür. Biyogaz üretiminin gerçekleştiği en iyi oran ise %70 sığır gübresi+%30 hardal yağı kşpesi ilavesinde olmuştur.

Vergara-Fernández ve ark. (2008), deniz yosunlarının biyogaz üretim ve metan verim potansiyellerini incelemişlerdir. *Macrocystis pyrifera*, *Durvillea antarctica* türündeki deniz yosunlarını ve bu iki türün karışımı olan 3 farklı materyal ile deneme yürütmüşlerdir. Deneme

aşağı ve yukarı akışlı olan CSTR reaktörlerinde yapılmıştır. Deneme sonuçlarına göre her iki alg türü 180.4 L/kg KM gün biyogaz ve %65 biyogaz içinde metan potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir. Her iki deniz yosununun ve bu iki türün karışımı olan 3 farklı materyalin enerji üretimi için girdi olarak biyogaz tesislerinde kullanılabilecek atık olduğu belirtilmiştir.

Arıcı (2009), farklı tür tarımsal atıkların biyogaz potansiyeli ve metan verimlerini araştırmıştır. Denemede sığır, tavuk, koyun, keçi gübresi ile silaj, çim ve gliserinden meydana gelen atıkların co-fermantasyonu 37 °C'de 69 gün reaktörlerde gerçekleştirilmiştir. Reaktörler kuru madde oranının %10 olduğu koşulda işletilmiştir. Çalışmada en yüksek metan üretimi 325 mL CH<sub>4</sub>/gUK değeri ile %50 sığır atığı ve %50 silaj ko-fermantasyonu sonucu meydana gelmiştir. En yüksek biyogaz üretimi ise 560 mL biyogaz/gUK değeri ile %50 sığır, % 25 koyun ve % 25 silaj atıklarının kofermantasyonu sonucu oluşmuştur. Yapılan çalışmada karışımlara ek olarak fermente edilmiş olan sığır bulamacı ilave edilmiş fakat biyogaz üretimi oluşmamış toplam karbonhidrat, toplam katı, uçucu katı ve KOİ değerlerinde belli oranda azalma gerçekleşmiştir. En yüksek uçucu katı giderimi %50 sığır+%50 tavuk karışımı atığında oluşmuştur.

Boe ve ark. (2009), araştırmalarında seri şekilde olan CSTR reaktörlerinde sıcaklık faz farklarını incelemişlerdir. Çalışmada 1. reaktör 55 °C ve 15 gün bekleme süresinde, 2. reaktör ise 6 gün bekleme süresince 15, 37 ve 55 °C'de farklı sıcaklıklardaki etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada biyogaz potansiyelinin yanı sıra bakteri sayısı ve biyolojik aktiviteler de araştırılmıştır. Sıcaklığın artmasıyla %11.7 ve %8.4 oranında metan verimi artmıştır. Özgül metanojenik aktivite test sonuçlarında ise fazlaca asidojenler ve metanojenler içerdiği bildirilmiştir.

Boe ve Angelidaki (2009), araştırmalarında tek ve iki aşamalı seri sistem CSTR fermentörlerde biyogaz üretimini incelemişlerdir. Termofilik sıcaklıkta tek aşamalı CSTR reaktörü 15 gün hidrolik besleme sürecinde denemede kullanılmış, % 80+% 20 ve % 90+%10 seri bağlı hale getirmişlerdir. Yapılan çalışma sonucuna göre seri CSTR reaktörü tek aşamalı CSTR reaktöründen %11 oranında biyogaz üretimi fazlalığı ile sonuçlanmıştır.

Coşkun ve ark. (2009), çalışmalarında sığır gübresi (SG) atıklarını anaerobik fermentasyon ile termofilik (55° C) ve mezofilik (35°C) sıcaklıkta fermentörlerde %5 kuru madde oranında 20 ve 40 gün HBS süresince biyogaz üretim değerlerini belirlemişlerdir. Araştırma neticesinde SG atıklarının anaerobik fermentasyon ile mezofilik ve termofilik reaktörlerde üretmiş oldukları metan ve biyogaz miktarları yakın olarak bulunmuştur. Bundan kaynaklı olarak enerji verimliliği açısından mezofilik ortamdaki reaktör daha faydalı olduğu belirtilmiştir.

Fantozzi ve Buratti (2009), mezofilik koşullarda tavuk gübresi (TG), sığır gübresi (SG), domuz gübresi (DG) ve bitkisel atıkların biyogaz ve metan üretim potansiyellerini araştırmışlardır. Çalışmada hayvansal gübreye belli oranda su eklenmiştir. TG kuru madde oranı %7 kuru madde oranı oluşturulmuştur. Çalışma sonucunda biyogaz ve metan üretim potansiyelleri birbirine yakın olarak bulunmuştur.

Liu ve ark. (2009), araştırmalarında çöp atıkları (A), domuz gübresi (DG), sığır gübresi (DG) ve bu atıkların belli oranda karışımlarını anaerobik fermentasyon ile metan ve biyogaz üretimini incelemişlerdir. DG ve SG atıklarının A'ya göre toplam katı miktarı metan ve biyogaz üretimi daha az olarak belirlenmiştir. SG atıklarının A ile co-fermantasyonu (SG:A=1: 1) sindirim etkinliği en verimli şekilde belirlenmiştir.

Lomborg ve ark. (2009), sığır, domuz gübresi ve mısır silajının anaerobik fermentasyonu sırasında uçucu yağ asitlerini ve kuru madde içeriklerini kızılötesi ve akustik kemometri ile gözlem yapmışlardır. Çalışma sonucunda mısır silajı ve sığır gübresi fermentasyonu sonucunda yüksek yağ asidi oranları altında biyogaz üretiminde istenilen C/N oranının mevcut olmadığı belirtilmiştir

Kaparaju ve ark., (2009) büyükbaş hayvan gübresinden biyogaz ve metan üretim potansiyellerini maksimize edecek bir çalışma yapmışlardır. Yapılan çalışmada tek ve seri halde olan CSTR reaktörlerinin kıyaslanması yapılmıştır. Tek aşamadan oluşan 5 L hacmindeki CSTR fermentrnde termofilik ortamda 15 gün HBS araştırma yapılmışlardır. Seri halde olan CSTR fermentrnde ise 5 L işletme hacmi iki fermentör arasında %70/30, %50/50, %30/70 ve %13/87 oranlarında deneme yrtlmştir. En yüksek biyogaz üretimi %30/70 hacimsel oranda iken en düşük ise %13/87 hacimsel oranda olan karışımda olmuştur. Ayrıca %13/87 hacimsel oranda olan karışım tek aşamalı CSTR fermentöre göre daha az metan ve biyogaz üretimi gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonuçlarına göre seri CSTR reaktörlerinde üretim başarılı olarak gerçekleştirilmiştir.

El-Mashad ve Zhang (2010a) yaptıkları araştırmada 35 °C sıcaklıkta ve 30 gün süre boyunca sığır gübresini ve bu atıklara belli oranlarda yemek artıkları ilave edilmesiyle anaerobik fermentasyon sonucu oluşan biyogaz üretimlerini BMP test ünitesinde incelemişlerdir. Deneme sonucu metan üretimleri 241-302 L/kg OKM aralığında oluşmuştur. Yemek atıklarının metan üretim potansiyeli 353 L/kg OKM olarak bulunmasına karşın %32 oranında sığır gübresi ile ilave edildiğinde 282 L/kg OKM ve %48 ilave edildiğinde ise 311 L/kg OKM olarak meydana gelmiştir. BMP testi verilerine göre toplam gaz oranının %90-95'lik kısmı 20. gününde oluşmuş hidrolik bekleme süresinin 20 gün olması reaktör verimi açısından önemli olduğu belirlenmiştir.

El-Mashad ve Zhang (2010b), çalışmalarında sığır gübresi (SG), yiyecek atıklarını (YA) ve bunların belli oranda karışımlarının biyogaz ve metan üretim potansiyellerini incelemiştir. Araştırma 1 L'lik fermentörlerde 2 tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir. 30 gün hidrolik bekleme süresince mezofilik koşullarda deneme kurulmuştur. 3 ve 4. haftada olan biyogaz ve metan üretim değerleri belirlenmiştir. Maksimum biyogaz üretimi yiyecek atıklarında (657 L/kg UK) meydana gelmiştir. Diğer üretimler ise %32 (YA)+%68 (SG) karışımında 455 L/kg UK; %48 (YA) + %52 (SG) karışımında ise 531 L/kg UK olarak meydana gelmiştir.

Fang ve ark. (2010), melas atıklarının (MA) metan ve biyogaz üretimlerini CSTR fermentörlerinde incelemiştir. Yapılan çalışmada melas atıklarının gaz üretimini azaltıcı ve inhibe eden bir yapıya sahip olduğu belirlenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda 300 mL CH<sub>4</sub>/g olacak şekilde metan üretimi meydana gelmiştir.

Gilroyed ve ark. (2010), risk faktörü yüksek materyaller (RFM) ile büyükbaş hayvan gübresini belli oranlarda karıştırarak biyogaz üretim potansiyellerini incelemiştir. Deneme 2 L'lik hacminde 6 adet reaktörde gerçekleştirilmiştir. Ko-fermantasyon ile yapılan %0, %10 ve %25 (g/g) RFM karışımlara sahip olacak şekilde mezofilik ve termofilik ortamda yürütülmüştür. Reaktörleri hammadde beslenmesi 30 g OKM/L ile 6 günde olup toplam deneme süreci 90 gün olacak şekilde seçilmiştir. Yapılan çalışma sonuçlarına göre 37°C'de işletilen reaktörlerde %10 ve %25 RFM ilavesi metan üretimini sırasıyla %83 ve %161 oranında artırmış 55°C'de işletilen fermentörlerde ise %45 ve %87 oranında artış sağlamıştır. Bu sonuçlara göre RFM'lerin büyükbaş hayvan gübresiyle beraber karıştırılarak ko-fermantasyonu sonucu ile birlikte biyogaz üretiminde kullanılmasının atık bertaraf sistemlerine kıyasla ekonomik bir yöntem olacağı öne sürülmüştür.

Nielse ve Heiske (2011), Danimarka'da gölden toplamış oldukları farklı türdeki makroalglerin (*Chaetomorpha linum* ve *Saccharina Lactuca*) metan ve biyogaz üretim potansiyellerini belirlemiştir. Ayrıca araştırmada önişlem, ko-fermantasyon ve inhibasyonun metan verimine etkisini incelemiştir. Çalışma 500 mL'lik şişelerde 53 C'de 34 gün süre ile inhibasyon edilmiştir. Çalışma sonucunda *Chaetomorpha linum* için metan üretimi 166-195 mL/g arasında, *Saccharina Lactuca* ise 157-271 mL/g arasında değişmiştir. Çalışmada önişlem ve Ko-fermantasyonun metan ve biyogaz üretimini olumlu şekilde etkilediği belirtilmiştir.

Rico ve ark. (2011), İspanya'nın kuzeyindeki Cantabria eyaletinde yer alan çiftlikte büyükbaş hayvan gübresinden katı ve sıvı faz ayrımı yapılarak biyogaz üretim potansiyellerini belirlemiştir. Sıvı fazdan sürekli karıştırmalı reaktörde hidrolik bekleme süresi 20 gün ve

organik besleme oranı 2 kg/gün olacak şekilde deneme yürütülmüştür. Biyogaz üretimi sıvı fazdan 1.47 m<sup>3</sup>/gün olarak belirlenmiştir.

Sözer ve Yıldız (2011), muz atıkları (MA), sığır gübresi (SG) atıklarını ve bu atıkların ko-fermantasyonu ile biyogaz ve metan üretim değerlerini belirlemiştir. Çalışma mezofilik (35 °C) sıcaklıkta 15 gün HBS ile laboratuvar tipi biyogaz reaktörlerinde yapılmıştır. Araştırmada (SG) atıklarına %15, %30, %45, %60 ve %75 oranlarında MA eklenip en iyi biyogaz üretim oranı 0.149 L/g KM olarak %30 MA+ %70 SG'de meydana gelmiştir.

Yuan ve ark. (2011), Taihu gölünden alınan mavi alglerin aneorobik sindirimleri sonucu meydana gelen biyogaz ve metan üretimlerini araştırmışlardır. Çalışmada metan üretimi 189.89 mL/g OKM olarak belirlenirken biyogaz içerisinde oluşan metan oranı ise %36.72 olarak bulunmuştur. Çalışma sonucunda mavi alglerin biyogaz üretiminde ve biyogazdan elektrik üretiminde kullanılabilirliği bildirilmiştir.

Qiao ve ark. (2011), farklı türlerdeki büyükbaş hayvan gübresi (BG), domuz gübresi (DG), meyve/sebze atıkları (MSA) ve gıda atıklarının metan üretim potansiyellerini maksimize edecek bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada verimi artırmak için 170 °C'de 1 saat süre ile hidrotermal ön uygulama işlemi yapılmıştır. Çalışma BMP test ünitesinde gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucuna göre en fazla üretim meyve/sebze atıklarından oluşmuştur. Çalışmada metan ve biyogaz veriminde azalma gösteren sadece gıda atıkları olmuştur.

Anacak (2012), büyükbaş hayvan atığı ve atıksu arıtma çamurunun kofermantasyonu için en ideal hidrolik bekleme süresini ve farklı fazlardaki sıcaklıklardaki (mezofilik ve termofilik koşullar) arıtma verimlerini incelemiştir. Denemeler 1/5 oranında arıtma çamuru büyükbaş hayvan atığı karışımı şeklinde yürütülmüştür. Çalışma sonucunda optimum hidrolik bekleme süresi 26 gün olarak belirlenmiştir. Mezofilik ve termofilik sıcaklık şartlarında gerçekleştirilen çalışmada termofilik reaktörde gaz veriminin %4, organik katı madde gideriminde %2.26 olduğu görülmüştür. Termofilik sıcaklık şartlarında pH değeri düşmesine rağmen mikrobiyolojik faaliyetleri engelleyecek şekilde oluşmamıştır.

Comino ve ark. (2012), araştırmalarında büyükbaş hayvan gübresi, peynir altı suyu ve belli oranlarda karışımlarının biyogaz potansiyellerini, metan üretim değerlerini, kimyasal oksijen ihtiyaçlarını ve BOİ giderim verimlerini 128 L hacminde olan CSTR fermantöründe, mezofilik ortamda araştırmışlardır. %50 sığır gübresi +%50 peynir altı suyu olan karışımda 621 L/kg OKM biyogaz üretimi 42 gün HBS sürecince elde etmişlerdir. Metan verimi %55 civarında olup KOİ ve BOİ (Biyokimyasal oksijen ihtiyacı) için en yüksek giderim verimlilikleri %82 ve %90 olarak bulunmuştur.



Lateef ve ark. (2012), çalışmalarında büyükbaş hayvan gübresi ve tedavi edilen hayvanların kullanılmayan sütünü belli karışım oranları ile biyogaz üretim potansiyellerini incelemişlerdir. Deneme termofilik ortamda 20, 40 ve 60 g OKM/L olan karışımlarla gerçekleştirilmiştir. Organik yükleme oranının artmasıyla hayvan gübresi ve süt oranının 70:30 olduğu karışımda 59.5 mL/g OKM ile en yüksek verim elde edilmiştir. Çalışmada süt ilavesinin artmasıyla biyogaz miktarının artması doğru orantılı olarak ilişkilendirilmiştir.

Marañón ve ark. (2012), büyükbaş hayvan gübresi (BG), yemek artıkları (YA) ve atıksu arıtma (AS) çamuruyla farklı karışım oranlarında biyogaz üretim potansiyellerini belirleyip en iyi karışım oranını bulmaya çalışmışlardır. Yapılan çalışmada en iyi karışım oranının bulunmasıyla biyogaz verimi maksimize edilmesi amaçlanmıştır. Farklı BHS'lerde CSTR fermentörlerinde 35 °C ve 55 °C'denemeler yapılmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlar organik yükleme miktarının artması ve HBS'nin azalması biyogaz ve metan verimini azaltmıştır. En yüksek metan verimi %70 BG+ %20 YA+%10 AS olan karışımda mezofilik ortamda 603 mL CH<sub>4</sub>/kg OKM olarak belirlenmiştir. Ayrıca termofilik ortamda metan verimleri düşmeye başladığı görülmüştür.

Raju ve ark. (2012), araştırmalarında sığır gübresi (SG), domuz gübresi (DG) ve tavuk gübresi (TG) atıklarını mezofilik şartlar altında ön sıcaklık uygulaması yapılarak (100-225°C sıcaklık aralığında) fermentörlerde biyogaz ve metan verimi üzerine çalışma yapmışlardır. 27 gün hidrolik besleme süresince (SG) atıklarında metan üretim potansiyelinde 175 °C'de %13, 200°C'de %21 artış meydana gelmiştir. DG atıklarında 125 °C ve üstündeki sıcaklıklarda yapılan ön işlem uygulamaları sonucunda verim artışı gözlemlenirken, maksimum verim artışı ise 200 °C'de %29 olarak meydana gelmiştir. TG atıklarında ise metan üretimi potansiyeli 225 °C'de %18 olarak azalma göstermiştir.

Zhang ve ark. (2012), biyogaz ve metan üretiminde gerekli parametrelerin optimum değerlerini belirlemek amacıyla gıda atığı (GA) ve sığır gübresi (SG) atıklarını anaerobik fermentasyon ile değerlendirmesini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada belli oranlarda yapılan karışımlarda en iyi oran GA:SG oranı 2 olarak belirlenmiştir. Atıkların parça boyutlarının küçülmesiyle %41.1 seviyesinde biyogaz miktarı arttığı belirlenmiştir. Çalışmada 10 g/gün organik yükleme oranıyla beraber biyogaz ve metan verimi %55.2 oranında artış göstermiştir.

Wang ve ark. (2012), sığır atıkları (SG), tavuk gübresi (TG) ve buğday sap atıklarını (BS) optimum besleme ve C/N oranları ile belirli oranlardaki karışımları ile metan ve biyogaz üretim potansiyellerini araştırmışlardır. Çalışma sonucuna göre ko-fermantasyon atıklarının metan ve biyogaz üretimi daha çok verimli olmuştur. Maksimum metan üretim değeri 40(SG):60(TG) oranında meydana gelmiştir.

Westerholm ve ark. (2012), araştırmalarında beş adet fermantörde sığır gübresi (SG), yemek atıkları (YA) ve bu atıklarının ko-fermantasyonu ile biyogaz üretim değerlerini araştırmışlardır. Çalışma mezofilik ortamda 640 gün süresince yarı beslemeli reaktörlerde gerçekleşmiştir. YA reaktördeki 120 gün sonrasında kararsızlık göstermiştir. Çalışmada SG ve YA atıklarının ko-fermantasyonu sonucunda metan üretimi 45 gün HBS ile 2.8 g VS/(L.gün) olarak belirlenmiştir. Ayrıca araştırmada %85 YA+%15 SG karışımının ko-fermantasyonu ile 0.31 NL CH<sub>4</sub>/g VS metan üretimi meydana gelmiştir.

Castrillón ve ark. (2013), çalışmalarında büyükbaş hayvan gübresi (BG) ve biyodizel endüstri atığı gliserin (GA) farklı oranlardaki karışımlarının biyogaz ve metan üretim potansiyellerini CSTR fermantörde araştırmışlardır. Karışım %94 (BG) +%6 (GA) olarak belirlenip 55°C'de hidrotermal ön uygulama yapılmıştır. Organik yükleme oranının 5.4 kg KOİ/m<sup>3</sup> gün olduğu çalışmada 53.2 m<sup>3</sup> biyogaz/ton yaş materyal ve KOİ giderimi ise %80.7 olarak belirlenmiştir. En iyi verim ise organik yükleme oranının 6.44 kg KOİ/m<sup>3</sup> gün, %89.6 KOİ giderimi ve yaş materyalin 56.5 m<sup>3</sup> biyogaz/ton olduğu denemede bulunmuştur.

Li ve ark. (2013), mezofilik koşullarda mutfak atıkları (MA), mısır sapı (MS) ve tavuk gübresi (TG) atıklarının ve bu atıkların belli oranda karışımlarını anaerobik fermantasyon ile metan üretimi ve bozunma derecelerini incelemişlerdir. Araştırma sonucunda spesifik metan üretim değerleri sırasıyla MA için 725-683 mL/g OKM arasında, MS için 470-214 mL/g OKM ve TG için ise 617-291 mL/g OKM arasında bulunmuştur. MA biyobozunurluk derecesi MS (%45) ve TG (%47) olmuştur. MA, MS ve TG tek halde iken veya birlikte iken karışımların S/I oranı 1.5 ve 3.0 olması durumunda metan üretim değerleri en iyi şekilde meydana gelmiştir.

Risberg ve ark. (2013), çalışmalarında sığır gübresi, saman, belli oranlarda ko-fermantasyon karışımları ve bunlara buharlı ön uygulama yapılarak biyogaz üretim potansiyelleri incelenmiştir. Araştırma 5 L hacminde CSTR fermantörlerde 25 gün hidrolik besleme süreli reaktör sıcaklığının mezofilik ve termofilik olduğu ortamda yürütölmüştür. Gübrenin ve samanın (0.13-0.21 L CH<sub>4</sub>/kg OKM) tek olduğu denemelerde biyogaz üretimleri daha az oluşmuştur. Buharlı ön uygulama yapılan denemelerde üretilen biyogazda ise diğer üretim değerleri arasında bir farklılık olmadığı belirlenmiştir. Farklı sıcaklıklarda yapılan denemelerde ise biyogaz üretim değerleri arasında sıcaklığın artmasıyla biyogazın arttığı gözlemlenmiştir.

Sanchez ve ark. (2013), büyükbaş hayvan gübresinden biyogaz üretilmesine yönelik araştırmalarında anaerobik bozunmayı ve biyogazın karakterizasyonunu incelemişlerdir. İki farklı çalışma yapılıp 2 L/h hacimsel akış hızında 120 dakika süresince besleme yapılarak pH değerinin biyogaz üretimi için uygun değer olan 7'ye yaklaştığı belirlenmiştir. Çalışma 40 gün

süre ile devam etmiştir. Çalışma sonunda metan oranı %62 iken karbondioksit oranı ise %32-35 aralığında belirlenmiştir.

Shi ve ark. (2013), sığır gübresi (SG), tavuk gübresi (TG) ve buğday sap atıklarını (BS) anaerobik fermantasyon ile %20 kuru madde seviyesinde üç farklı sıcaklık ortamında (mezofilik, termofilik, psikofilik) metan ve biyogaz üretimine sıcaklık seviye etkilerini incelemiştir. Düşük seviye sıcaklıklarındaki şartların biyogaz üretimi ve bakteri ortamı için uygun olmadığı, termofilik ve mezofilik şartlarda daha yüksek biyogaz üretimi meydana geldiğini bildirmişlerdir. Termofilik ve mezofilik koşullarda organik yükleme oranı değerleri sırasıyla  $1.69 \text{ kg m}^{-3} \text{ gün}^{-1}$  ve  $1.89 \text{ kg m}^{-3} \text{ gün}^{-1}$  iken birim katı madde başına biyogaz verimi  $237 \text{ L/kg}$  ve  $208 \text{ L/kg}$  iken hacimsel biyogaz verimi ise  $0.401 \text{ m}^3/\text{gün}$  ve  $0.393 \text{ m}^3/\text{gün}$  olarak gerçekleşmiştir.

Syaichurrozi (2013), büyükbaş hayvan gübresi (HG) ve mutfak atıklarından (MA) biyogaz üretimini araştırmıştır. 3 farklı reaktörle gerçekleşen araştırmada R1: MA, R2: HG+MA ve R3: HG olarak mezofilik ortamda deneme yürütülmüştür. Çalışma sonucunda en iyi biyogaz verimi R2'de meydana gelmiştir. Çalışmada maksimum verim elde etmek için C/N aralığı 20-30 arasında tutulmuştur.

Tedesco ve ark. (2013) atıksularla makroalg ko-fermantasyonu, mekanik önışlemin metan ve biyogaz üretimi üzerine etkisini incelemiştir. Çalışmada ayrıca atıkların kimyasal analizlerinde belirlemiştir. Araştırma 200 mL cam şişelerde mezofilik ortamda gerçekleştirilmiştir. Çalışmada atıksuyun kurumadde oranı %5.6, azot oranı %2.8, alkalilik oranı  $12.1 \text{ mg/L}$  ve KOİ miktarı  $65.5 \text{ mg/L}$  olarak bulunurken *Laminaria Digitata* türündeki makroalg için azot %3.3, kül %19.5, ADF %22.3 ve NDF %25.7 olarak belirlenmiştir. Çalışma sonucunda atıkların ve ko-fermantasyonlarının biyogaz üretimleri  $145.2-577.1 \text{ mL/g}$  arasında değişmiştir.

Yangin ve Ozturk (2013), tavuk gübresi (TG), büyükbaş hayvan gübresi (BG) atıklarına farklı oranlarda mısır silajı ekleyerek biyogaz ve metan üretim potansiyellerini, biyogaz ko-jenerasyon üretim tesisinde inceleme yapmışlardır. Yapılan çalışmada bu atıkların ko-fermantasyonu, metan verimlerini %20 oranında arttırdığı gözlemlenmiştir. Denemede silaj atıklarının ilave yapılmadığı çalışmada metan üretim verimi  $5800 \text{ m}^3/\text{gün}$  iken silaj atığının eklenmesiyle  $6580 \text{ m}^3/\text{gün}$  olmuştur. Ayrıca yapılan çalışmada toplam üretilen elektrik enerjisi ise sırasıyla yaklaşık olarak  $45 \cdot 10^3$  ve  $51 \cdot 10^3 \text{ kWh}$  olarak bulunmuştur. Yapılan çalışmaya göre mısır silajı atıklarının biyogaz ve enerji üretiminde artmaya neden olduğu belirlenmiştir.

Miao ve ark. (2014), Taihu gölünde oluşan mavi algler ve domuz gübresinden farklı oranlarda biyogaz ve metan üretimini araştırmışlardır. En yüksek metan üretimi  $212.7 \text{ mL/g}$

OKM olarak belirlenmiştir. Araştırmada farklı karışım oranlarının pH, azot, uçucu yağ asitleri ve amonyum nitrojenlerini belirlemişlerdir. Yapılan kimyasal analiz sonucunda karışımlar arasındaki kimyasal analizlerin istatistiksel olarak farklı olduğu görülmüştür. Mavi algler ve domuz gübresinden üretilen biyogaz ve metan oranının biyogaz tesisleri için önemli olduğunu belirtmişlerdir.

Perendeci ve ark. (2014), çalışmalarında bitkisel ve hayvansal kökenli olan atıkların biyogaz ve metan üretim potansiyellerini incelemişlerdir. Yapılan araştırmada mısır silajı (MS), mısır atıkları (MA), tavuk gübresi (TG), inek gübresini (İG) 30 gün boyunca BMP test ünitesinde bekletmişlerdir. Sonuç verilerine göre, MS 0.291 Nm<sup>3</sup>/kg OKM, MA 0.258 Nm<sup>3</sup>/kg OKM, TG 0.208 Nm<sup>3</sup>/kg OKM ve İG ise 0.179 Nm<sup>3</sup>/kg OKM olarak metan verimleri bulunmuştur.

Iqbal ve ark. (2014), büyükbaş hayvan gübresi ve mutfak atıklarının metan ve biyogaz üretim potansiyellerini belirlemişlerdir. Çalışma anaerobik fermantasyon ile 3 farklı reaktörde mezofilik ortamda gerçekleşmiştir. Araştırma sonucunda R2 reaktöründe (büyükbaş hayvan gübresi ve mutfak atıkları karışımı) maksimum biyogaz üretimi meydana gelmiştir. Çalışmada anaerobik fermantasyon zamanı KOİ giderimi ile kontrol altında tutulmuştur.

Lee ve ark. (2014), ultrasonik uygulama ile *Hydrodictyon reticulatum* alglerinden biyogaz üretimini artırmaya çalışmışlardır. Yapılan ultrasonik uygulama sonrasında metan üretimi uygulama öncesine göre 2.3 kat artarak 384 mL/g olmuştur. Sindirme oranı ise uygulama öncesine göre %67 daha hızlı hale gelmiştir.

Chen ve ark. (2015), araştırmalarında makroalglerin biyoyakıt olarak kullanılması durumunu incelemişlerdir. Çalışmada makroalglerin metan, biyogaz ve kimyasal analizlerini belirlemişlerdir. Kimyasal analizleri sonucunda *Laminaria digitata* türündeki makroalgin C oranı %55.6, H oranı %7.1, N oranı %2.2 ve S oranı %0.1 olarak bulunmuştur.

Dhamodharan ve ark. (2015), hayvan gübrelerinden (kümes hayvanı gübresi, keçi gübresi, sığır gübresi, domuz gübresi ve gergedan gübresi) elde etmiş olduğu aşuları kesikli reaktörlerde farklı besin maddeleri ile karıştırıp biyogaz üretimlerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda sığır gübresi ile aşılardan reaktörlerde metan üretimi (227 mL/g UK) maksimum seviyeye ulaşmış olup uçucu katı giderimi %54.58 olarak belirlenmiştir.

Akunna ve Hierholtzer (2016), araştırmalarında bazı bitki atıkları ve *Laminaria digitata* türündeki makroalgin ko-fermantasyonu sonucu metan, biyogaz ve kimyasal analizlerini belirlemişlerdir. Çalışmada ayrıca farklı yükleme oranlarına göre gaz verimini incelemişlerdir. Farklı yükleme oranlarına göre maksimum biyogaz üretimi yaklaşık 0.5 m<sup>3</sup>/kg olurken biyogaz içerisinde meydana gelen metan oranı ise %55-65 arasında değişmiştir.

Montingolli ve ark. (2016), makroalglerin biyogaz üretimlerine önışlemin etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada *Laminaria* spp türündeki makroalg 25 gün boyunca 38 C'de ezme, boyut küçültme ve mikrodalga ile ön işleme tabi tutup, anaerobik fermantasyon sonucu metan ve biyogaz üretimlerini belirlemişlerdir. Çalışmada ayrıca kuru madde, organik kuru madde ve pH değerleri zamana göre belirlenmiştir. Kümülatif metan üretimleri 240-328 NmL/g arasında, metan oranları 25. günde %40-61 arasında, pH değerleri 7.22-7.55 arasında bulunmuştur. Çalışmada n işlemin etkisine bakıldığında sadece ezme işleminde metan ve biyogaz üretiminin arttığı grlmştir.

Szer ve Yıldız (2016), peyniraltı suyu, büyükbaş hayvan gübresi ve farklı oranda karışımlarından anaerobik bozunma ile biyogaz ve metan üretimi gerçekleştirmişlerdir. Araştırma mezofilik ortamda sürekli akışlı reaktörde 15 gün hidrolik bekleme sürecince yapılmıştır. Büyükbaş hayvan gübresinin organik kuru madde miktarı peynir altı suyunun organik kuru madde miktarına eşit olana kadar su ilave edilmiştir. Büyükbaş hayvan gübresine %5, %10, %20, %40, %50 ve %75 oranlarında peynir suyu ilave edilerek karışımlar belirlenmiştir. Çalışma sonucunda maksimum biyogaz üretimi %50 peynir suyu+%50 büyükbaş hayvan gübresi karışımında 25.47 L/gün olarak belirlenmiştir.

Yahmed ve ark. (2016), çalışmalarında *C. Linum* türündeki makroalg Tunus'da lagoon kıyılarında toplayıp bu makroalgın biyogaz, metan ve kimyasal analizlerini (kuru madde, nem, yağ, protein, kül ve lif) belirlemişlerdir. Araştırma 0.5 L'lik reaktörlerde mezofilik ortamda 30 gün süre ile inhibe edilmiştir. Çalışmada ayrıca farklı oranlarda makroalg i nokulum (aşı) ile karıştırıp metan verimlerini de incelemişlerdir. Araştırmada metan verimini 0.209 L/g olarak belirlemişlerdir.

Ertem ve Junne (2017), hayvan gübresi ve deniz makroalgleri belli oranlarda karıştırarak metan, biyogaz ve kimyasal analizlerini belirlemişlerdir. Çalışma 3 adet 4500 m<sup>3</sup>'lk sanayi tipi fermantörlerde 42 °C'de 170 gün süre ile gerçekleşmiştir. Çalışma sonucunda makroalgın biyogaz üretimi 993 m<sup>3</sup>/saat ve metan ieriğinide %60 olarak belirlenmiştir.

Koçer (2017), alglerden biyogaz üretim potansiyelini araştırmıştır. Araştırmada 55 °C sıcaklık, 200 µm partikül boyutu, 30 gün reaktörde kalma süresi ve 1:5 (g:g) alg-aşı oranı ile çalışma yapılmıştır. Çalışma sonucunda biyogaz verimi 342.60 mL/g VS ve biyogaz içerisindeki metan oranıda %45.6 olarak belirlenmiştir.

Korkmaz (2017), Marmara denizi kıyılarından toplamış olduğu makroalglerin metan ve biyogaz üretimlerini BMP denemeleriyle belirlemiştir. 3 farklı reaktör kullanılmış 35, 45 ve 55 °C'de sistem işletilmiştir. Maksimum metan üretimleri sırasıyla 167 L CH<sub>4</sub>/kg VS ve 197 L CH<sub>4</sub>/kg VS ile C2-35 (2. reatr 35 C) ve C3-35 numaralı reaktörlerde elde edilmiştir. İkinci

sistemde, metan üretimi C2 (reaktör 2) ve C3 (reaktör 3) reaktörleri için sırasıyla 15 L CH<sub>4</sub>/kg VS ve 17 L CH<sub>4</sub>/kg VS olarak belirlenmiştir. Son sistemde ise C2-K35 reaktöründe meydana gelen biyogaz ve metan verimleri sırasıyla 282 L biyogaz/kg VS ve 154 L CH<sub>4</sub>/kg VS olarak belirlenmiştir. C3-K35 reaktöründe ise elde edilen biyogaz ve metan verimleri sırasıyla 287 L biyogaz/kg VS ve 147 L CH<sub>4</sub>/kg VS olarak belirlenmiştir.

Lavric ve ark. (2017), mikroalglerle yapmış oldukları çalışmada termal ön işleminin biyogaz ve metan üzerine etkisini araştırmışlardır. Ön işlem olmadan yapılan araştırmada metan verimi 157.5 mL/CH<sub>4</sub> KM olarak belirlenmiştir. 55 °C’de yapılan termal ön işlemden sonra metan üretiminin %62 arttığı gözlemlenmiştir.

Aksay (2018), araştırmasında büyükbaş hayvan gübresi ve çay atıklarının biyogaz verimlerini BMP yöntemiyle araştırmıştır. Çalışma mezofilik (37 °C) ortamda kesikli sistem kofermantasyon ile 80 gün sürmüştür. Araştırma sonucunda maksimum biyogaz verimi 296.89 mL/gVS ve biyogaz içerisindeki metan oranı %77.1 olarak %75 büyükbaş hayvan gübresi +%25 çay atıkları karışımında meydana gelmiştir. Kofermantasyonun biyogaz verimi ve metan oranına pozitif etki yaptığı tespit edilmiştir.

Ekinci ve ark.(2018a), araştırmalarında aspir atıkları ve sığır gübresi atıklarının metan ve biyogaz üretimlerini belirlemişlerdir. Çalışma 2 L’lik reaktörlerde BMP test ünitesinde 47. gün boyunca mezofilik ortamda yapılmıştır. 5 farklı karışım oranı C/N oranına göre belirlenmiş deneme öncesi ve sonrası kimyasal analizleri belirlenmiştir. Çalışma sonucunda metan üretimleri 167.73-249.39 NmL/g OKM arasında ve metan oranları %37-60 değişmiştir. En iyi metan ve biyogaz üretimi karışım 2’de meydana gelmiştir.

Ekinci ve ark.(2018b), çalışmalarında 3 farklı mikroalgi (chlorella sp., Neochloris conjuncta ve Botryococcus braunii) biyogaz üretiminde kullandıktan sonra çıkan çürüfö gübre olarak kullanmışlardır. Çalışma mezofilik ortamda 2L’lik reaktörlerde BMP denemesinde gerçekleşmiştir. Mikroalglerin makro ve mikro besin elementleri belirlenmiştir. BMP denemesi sonucunda chlorella sp., Neochloris conjuncta ve Botryococcus braunii mikroalglerinin spesifik metan üretimi sırasıyla 124.62 N mL g<sup>-1</sup> VS 205.94 N mL g<sup>-1</sup> VS ve 290.63 N mL g<sup>-1</sup> VS olarak belirlenmiştir. Çalışma sonucunda en yüksek biyogaz verimi Botryococcus braunii mikroalginde oluşmuştur.

Ekinci ve ark. (2019), çalışmalarında 50 L’lik 2 farklı CSTR reaktörlerinde mezofilik ortamda 51 gün süre ile biyogaz çamuru geri beslemesinin metan verimine etkisini araştırmışlardır. Günlük kuru madde, organik madde, pH, metan ve biyogaz üretimleri belirlenmiştir. KM değerleri %5.63-9.59, OKM değerleri %88.55-88.13, pH değeri 6.97-8.55, metan oranı %6.4-63.6 ve biyogaz üretimi 3.89-51.01 L/gün arasında değişmiştir. Çalışmada

başlangıç ve son (test sonrası biyogaz çamuru) kuru madde ve organik kuru madde içeriklerinde azalma göstermiştir. Geri beslemenin biyogaz verimi üzerine etkisizlik biyogaz üretimde pozitif etki sağlamıştır.

Şenol ve Açıklık (2019), evsel organik atıklar ve sığır gübresi karışımlarından biyogaz üretiminin incelenmesini araştırmışlardır. Çalışmada C, N, KM, OKM ve C/N oranları belirlenmiştir. 5 farklı karışımda gerçekleşen çalışmada 500 mL'lik reaktörler kullanılmış, 3 tekerrürlü olarak 40 °C'de 35 gün süre ile yürütülmüştür. En yüksek biyogaz verimi EVA:SG 2:1 olan karışımda 280 mL /g olan reaktörde gerçekleşmiştir.

Wu ve ark. (2019), Baltık denizinden almış oldukları iki farklı makroalg türünden biyogaz ve metan üretimi gerçekleştirmişlerdir. Araştırma 1000 mL'lik şişelerde mezofilik ortamda 460 g inoculum +40 g materyal olacak şekilde yapılmıştır. Araştırmada farklı ön işlemler uygulanması yaparak biyogaz ve metan üretimini artırmaya çalışmışlardır. 4 farklı ön işlemler uygulanması (mikrodalga ısıtma, ultrasonik uygulama, 2 farklı mikrodalga ısıtma ve ultrasonik uygulama) yapmışlardır. Çalışmada anaerobik fermantasyon sonucunda ön işlemler ile kümülatif metan üretiminde %167, %185 ve %156 artış olmuştur. Maksimum metan üretimi 20. günde meydana gelmiştir.

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

Araştırma kapsamında büyükbaş hayvan gübresi ve makroalg atıkları kullanılmıştır. Büyükbaş hayvan gübresi (Şekil 3.1a) Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Tarımsal Uygulama ve Araştırma Merkezi Süt Sığırcılığı İşletmesi'nden, makroalgler (Şekil 3.1b) ise Kahramanmaraş ili Elbistan Pınarbaşı Ceyhan su kaynağındaki su yüzeyinden temin edilmiştir. Hayvan yetiştirme merkezi içerisinde mekanik gübre sıyırıcı aracılığıyla gübre kanalına hayvan gübresi biriktirilmektedir. Denemelerde kullanılan gübre, ahır çıkışı ile gübre kanalı arasında bulunan yüzeyden alınmıştır.



Şekil 3.1. Büyükbaş hayvan gübresi (a) ve makroalg atıklar (b)

Denemeler, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği bölümü bünyesindeki Kompost ve Biyogaz araştırma laboratuvarında bulunan BMP test ünitesi ve CSTR reaktörlerinde yürütülmüştür.

##### 3.1.1. BMP test ünitesi

BMP test ünitesi (Şekil 3.2), 2 mm AISI 304 paslanmaz çelikten imal edilmiş olup üç üniteden (sıcak su havuzu, cam şişeler (reaktör) ve gaz torbaları) meydana gelmektedir.





Şekil 3.2. BMP test ünitesi

### *Sıcak su havuzu*

Her ünite; içerisinde 12 adet bölmeye ayrılmış olan 80x60x20 havuz (Şekil 3.3), 12 adet karıştırıcı motor (12 V (DC) ve 10 d/d'lik dahili redüktörlü) ve cam şişelere bağlantı kuracak çelik çubuklar, havuz altında bulunan 1500 W gücünde ısıtıcı, 9 L hacminde 15x40x15 cm ölçülerinde su kazanı ve 38-58-62 W gücünde 3 kademeli devir daim pompasından meydana gelmektedir. Deney süresince havuz sıcaklığı 37 °C sıcaklığına ayarlanmıştır.



Şekil 3.3. Sıcak su havuzu

### ***Cam şişeler (Reaktör)***

Reaktörler, her ünite için 12 tane olan vida kapaklı 2 L'lik otoklav cam şişelerden meydana gelmektedir. Vida kapaklara fiziksel karıştırma (karıştırıcı bağlantısı) ve biyogaz çıkışı için 2 adet delik oluşturulmuştur. Merkezde açılan delik, gaz sızıntısı olmaksızın karıştırmak amaçlı, diğer delik ise reaktör içerisinde oluşan biyogazın üst tarafta bulunan torbalara aktarılmasını sağlamaktadır. Delik çapları gaz borularının kaçak oluşturmayacak şekilde 6 mm'lik çapta oluşturulmuştur (Şekil 3. 4).



Şekil 3.4. Cam şişeler

### ***Gaz torbaları***

Her ünite için 12 tane olan 5 L hacminde torbalardan oluşmaktadır. Reaktörde bulunan vida kapaklara açılmış olan delikten boru yardımıyla biyogazın depolanmasını sağlamaktadır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Biyogaz torbaları

### 3.1.2. CSTR test ünitesi

Çalışma kapsamında 4 adet CSTR reaktörü kullanılmıştır. Her bir reaktör üzerinde bir adet organik madde yükleme vanası, bir adet birleşik kaplar prensibine göre çalışan hammadde çıkış vanası ve reaktör altında bulunan deney esnasında kullanılmayan fakat reaktörün tıkanmalarına karşı emniyet amacıyla ve reaktörün tamamen boşaltılmasında kullanılan çıkış vanası bulunmaktadır. Çıkış kısımlarında DIN 80 normunda çelik çekme borudan imal edilen 90°'lik dirsek eklenmiştir. Hammadde giriş ve çıkış vanaları gaz sızdırmaz olacak şekilde seçilmiştir. Reaktörün orta gövdesi 60 L hacminde mavi renkli plastik, sızdırmaz contası bulunan ve çevresinde sıkıştırılmalı metal çerçevesi bulunan plastik varilden (Şekil 3.6) meydana gelmektedir.



Şekil 3.6. Plastik varil

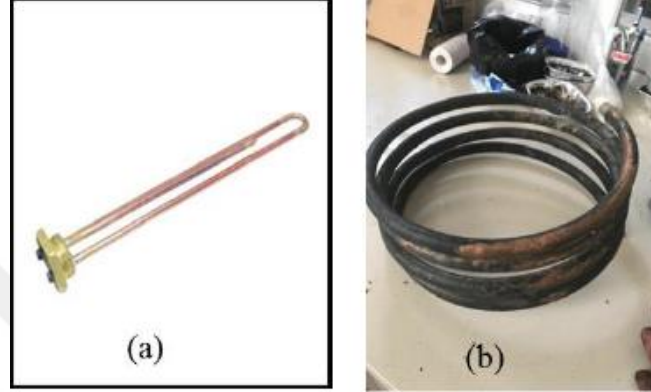
Reaktör içerisinde ortam sıcaklığın istenilen seviyede ayarlanabilmesi için yaklaşık 5 m uzunluğunda 25 mm dış çapında bakır boru reaktör içerisinde bulunan karıştırıcı (Şekil 3.7b) kanatlarına ve reaktör yüzeyine temas etmeyecek şekilde yerleştirilmiştir. Reaktör üzerine 1 adet mekanik karıştırıcı ExceM marka 90 W gücüne sahip olan 65 d/d, 10 Nm tork üreten 24 VDC tahrik motor (Şekil 3.7a) kullanılmıştır. Prosesin karıştırma, sıcaklık ve diğer diğer ekipmanların kontrolü proses kontrol cihazı (Ordell, AC771) ile yapılmıştır. Her bir reaktör üzerinde 2 adet proses kontrol cihazı ve akım kontrol rölelerini oluşturan bir adet trafo (Şekil 3.7c) konulmuştur.



Şekil 3.7. DC motor (a), karıştırıcı (b) ve trafo (c)

Reaktör sıcaklıkları, proses kontrol cihazından anlık olarak görülmektedir. Reaktörlerin istenilen sıcaklığa ulaşması için 1500 W gücünde olan rezistans ısıtıcılar (Şekil 3.8a) boru içerisine konulmuştur. Reaktör iç sıcaklıkları reaktörün dikey ekseninde orta noktasına ve yan

yüzeyine yatay olarak konulan K tipi ısılıçift ile belirlenmiştir. Ayrıca reaktörü belirli sıcaklıklarda işletebilmek için reaktör içersine serpantin (Şekil 3.8b) yerleştirilip sıcak su dolaşımı sağlanmaktadır Proses kontrol cihazı (Ordal, AC771) ısılıçift tarafından ölçülen sıcaklığı set değeri ile kıyaslayıp duruma göre ısıtıcı ve ona paralel olarak işletilen 100 W gücündeki devir daim pompasını kumanda eden röleyi harekete geçirmektedir. Reaktör üzerinde bulunan karıştırıcı ise 2 dakika açık, 10 dakika kapalı olacak şekilde DC flaşör ile kontrol edilmiştir.



Şekil 3.8. Resistans (a) ve serpantin (b)

CSTR reaktörleri (Şekil 3.9) üzerine konulan sızdırmaz delikten boru yardımıyla 300 L hacminde olan biyogaz torbalarına üretilen biyogaz depolanmıştır. Depolanan biyogaz hacimsel olarak 10 mL hassiyetli biyogaz sayacı (Ritter, Almanya) ile ölçülmüştür. Gaz tahliyesi için vakum pompası kullanılmıştır. İlk olarak biyogaz analizi için biyogaz analiz setine bağlanmaktadır. Bu set; sırası ile kızılötesi prensipli CO<sub>2</sub> sensörü (Draeger PIR 7000), kızılötesi CH<sub>4</sub> sensörü (Draeger, PIR 7200), üzerinde her bir dokunmada 100 mL gaz çekebilen mini bir pompasından oluşmaktadır. CO<sub>2</sub> ve CH<sub>4</sub> sensör çıkışları (4-20 mA) birer dijital göstergeli ampermetreye bağlı olarak ölçümler yapılmıştır. Biyogaz ölçümleri 15 saniye süresince çalışan mini pompadan biyogazı her 100 ml çekişte her iki sensöre ileterek gaz analizi yapılmaktadır. Pompadan çekilen gaz toplam biyogaz üzerine ilave edilmiştir. Biyogaz analizi tamamlandıktan sonra biyogaz torbasından biyogaz vakum pompası aracılığı ile hacimsel biyogaz sayacına iletilip biyogaz torbasında biyogaz bitene kadar devam edip biyogaz hacmi belirlenmiştir.



Şekil 3.9. CSTR reaktörleri

### 3.1.3. Aşı (İnoculum)

BMP ve CSTR reaktöründe kullanılan aşı (Şekil 3.10) (mikroorganizma kültürü) Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Tarımsal Uygulama ve Araştırma Merkezi Süt Sığırcılığı İşletmesi'nden alınan büyükbaş hayvan gübresinden günlük yükleme oranı 2 L olacak şekilde 50 gün hidrolik bekleme süresince CSTR reaktöründe oluşturulmuştur.



Şekil 3.10. Aşı

### 3.1.4. Volümetrik gaz sayacı

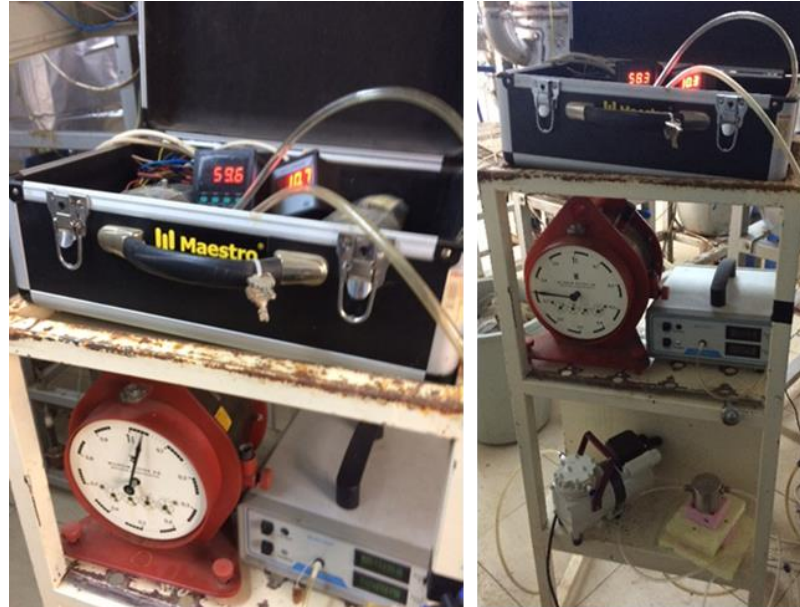
Toplam biyogaz hacmini ölçmek için biyogaz sayacı (Ritter, Almanya) (Şekil 3.11) kullanılmıştır.



Şekil 3.11. Volümetrik gaz sayacı

### 3.1.5. Sensörler

Çalışmada CSTR ve BMP test ünitesi gaz ölçümleri için kullanılan sensörler CO<sub>2</sub> sensörü (Draeger PIR 7000), kızılötesi CH<sub>4</sub> sensörü (Draeger, PIR 7200) ve mini pompaya sahip olan Quantek markalı gaz analizörü kullanılmıştır (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Sensörler

### 3.1.6. Vakum pompası

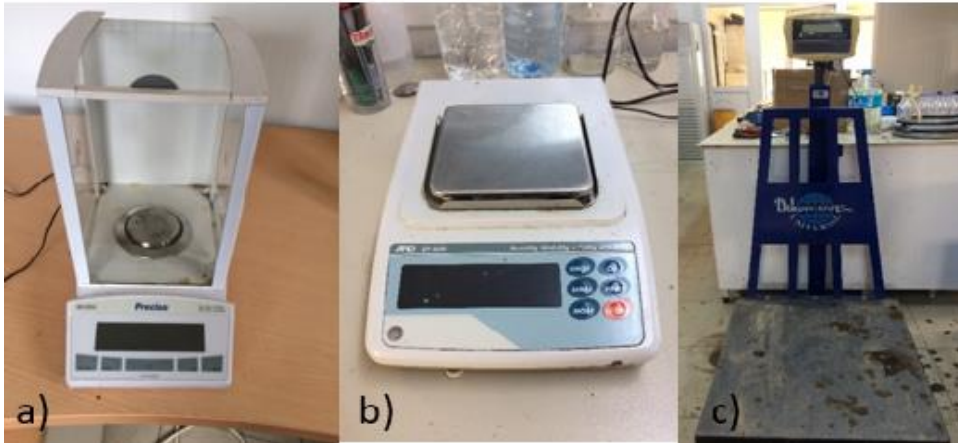
Torbalarda oluşan biyogazın boşaltımı için vakum pompası (Şekil 3.13) kullanılmıştır.



Şekil 3.13. Vakum pompası

### 3.1.7. Teraziler

Çalışmada materyallerin hassas tartımları için  $\pm 0.1 \mu\text{g}$  çözünürlüğe sahip Precisa marka hassas mikro terazi (Şekil 3.14a), orta derece ağırlıkların tartımı için ND gf-600 marka terazi (Şekil 3.14b) ağır tartımlar içinde 500 kg'ya kadar tartabilen Dikon marka terazi (Şekil 3.14c) kullanılmıştır.



Şekil 3.14. Teraziler

### 3.1.8. EC ve pH metre cihazı

Reaktör içerisinde oluşan aşının EC ve pH aralığını ölçmek için interlab marka pH ve EC metre (İnolab) kullanılmıştır (Şekil 3.15).





Şekil 3.15. EC ve pH metre cihazı

### 3.1.9. Öğütücü

BMP ve CSTR ünitelerinde kullanılan materyallerin 1 mm boyutunda öğütülmesi için sanayi tipi öğütücü (Şimşek Laborteknik, Türkiye) (Şekil 3.16) kullanılmıştır.



Şekil 3.16. Öğütücü

### 3.1.10. Kül fırını

Çalışmada kullanılan materyallerin ve reaktörlerden çıkan aşuların organik madde miktarı ve ham kül içeriklerini belirlemek için kül fırını (Protherm, Almanya) (Şekil 3.17) kullanılmıştır.



Şekil 3.17. Kül fırını

### 3.1.11. Etüv

Çalışmada kullanılan materyallerin ve reaktörlerden çıkan inoculumların kuru madde içeriğini belirlemek için Memmert marka etüv (Şekil 3.18) kullanılmıştır.



Şekil 3.18. Etüv

### 3.1.12. Porselen kroze ve demir kaplar

Çalışmada kullanılan materyallerin ve reaktörlerden çıkan aşuların ham kül ve kuru madde içeriğini belirlemede porselen kroze (Şekil 3.19a) ve 10X5 boyutlarında demir kaplar (Şekil 3.19b) kullanılmıştır.



Şekil 3.19. Porselen kroze ve demir kaplar

### 3.1.13. C/N analiz cihazı

Çalışmada kullanılan başlangıç materyallerin ve reaktörlerden çıkan aşuların C/N oranını belirlemek için Vario MACRO CN markalı elementel analiz cihazı (Şekil 3.20) kullanılmıştır. ,



Şekil 3.20. C/N analiz cihazı

### 3.1.14. Soğuk hava deposu

Kullanılan materyallerin ve aşıların uygun ortamda saklanması ve içeriklerinin bozulmaması için Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği bölümü bünyesindeki soğuk hava deposunda (Şekil 3.21) saklanmıştır.



Şekil 3.21. Soğuk hava deposu

### 3.1.15. Güneş enerjili kurutma sistemi

BMP ünitesinde kullanılan materyallerin organik madde kaybı olmaması için materyaller güneş enerjili kurutma sisteminde (Şekil 3.22) kurutulmuştur.



Şekil 3.22. Güneş enerjili kurutma sistemi



### 3.1.18. Cam ve plastik malzemeler

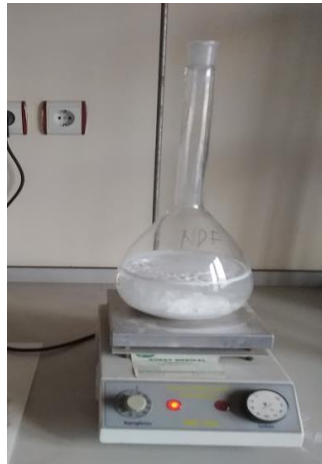
Çalışmada analizlerde erlenmayer, beher, mezür ve plastik kap ve malzemeler (Şekil 3.25) kullanılmıştır.



Şekil 3.25. Cam ve plastik malzemeler

### 3.1.19. Manyetik karıştırıcı

Çalışmada kullanılan sıvı ve katı fazda bulunan kimyasalların uygun sıcaklıkla beraber homojen karışım haline getirilmesi için RCT basic marka manyetik karıştırıcı (Şekil 3.26) kullanılmıştır.



Şekil 3.26. Manyetik karıştırıcı

### 3.1.20. NDF/ADF lif analiz cihazı

Çalışmada kullanılan materyallerin başlangıç ve çıkış materyalleri kurutulup 1 mm boyutunda öğütüldükten sonra NDF (nötral deterjanda çözünmeyen lif) ve ADF (Acid

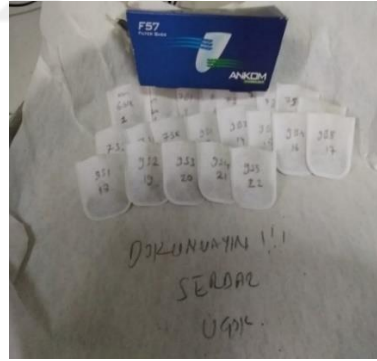
Detergent Fibre) değerleri ANKOM NDF/ADF lif analiz cihazı (Şekil 3.27) kullanılarak tespit edilmiştir.



Şekil 3.27. NDF/ADF lif analiz cihazı

### 3.1.21. NDF/ADF lif torbaları

Çalışmada kullanılan materyallerin ve başlangıç ve çıkış aşısının ADF/NDF lif analizi değerlerini belirlemek için ANKOM F57 Filter marka torbalar (Şekil 3.28) kullanılmıştır.



Şekil 3.28. NDF/ADF lif torbaları

### 3.1.22. Lif torba mühürleme cihazı

ADF/NDF lif analizi için kullanılan torbalarının ağızları ANKOM 1915 Heat Sealer-Isıtıcılı torba mühürleme cihazı (Şekil 3.29) ile kapatılmıştır.



Şekil 3.29. Lif torba mühürleme cihazı

### 3.1.23. Kimsayal çözünmeye dayanıklı kalem

ANKOM F57 Filter marka torbalarının üzerindeki numaralar ısı ve kimyasal çözünmeye dirençli olan ANKOM F08 marka kalem (Şekil 3.30) ile yazılmıştır.



Şekil 3.30. Kimsayal çözünmeye dayanıklı kalem

### 3.1.24. Desikatör

Kuru madde ve kül analizlerinde materyallerin nem almasını engellemek için desikatör kullanılmıştır (Şekil 3.31).



Şekil 3.31. Desikatör



## 3.2. Yöntem

### 3.2.1. Karışım oranlarının belirlenmesi

Anaerobik fermantasyonu gerçekleştiren bakteri gruplarından biyogaz üretimi ve metan miktarından en verimli şekilde yararlanabilmek için optimum reaktör koşullarından birisi de kullanılan besleme materyallerinin kuru madde oranıdır (Mitzlaff, 1988; Nagamani ve Ramasamy, 2010). Besleme materyallerinin toplam kuru madde oranları %6-13 arasında olması durumunda, biyogaz eldesinde en verimli üretim gerçekleştirilmektedir (Sarapatka, 1993). Bu çalışmada kullanılan besleme materyallerinin kuru madde oranları CSTR test ünitesi işletimi açısından en uygun aralık olan %7 ve %9 kuru madde oranı alınmıştır.

%7 ve %9 kuru madde oranında; karışım oranları kuru madde esaslı olarak belirlenmiştir. C/N değerlerinin dar bir aralıkta tutulduğu I/S oranının 2'nin altında ele alınmıştır.

Çalışmada toplam karbon Eşitlik 3.1'de, toplam azot Eşitlik 3.2'de, reaktöre giren büyükbaş hayvan gübresi miktarı Eşitlik 3.3'de, reaktöre giren makroalg miktarı Eşitlik 3.4'de, reaktöre giren aşı miktarı Eşitlik 3.5'de, nem oranı Eşitlik 3.6'da, karışım oranlarının belirlenmesi (Ekinci ve ark., 2018b) Eşitlik 3.7'de verilmiştir.

$$C_T = \frac{KK_T * C_n}{100} = \frac{\sum_{n=B,M,A} (1 - \frac{NO_n}{100}) C_n}{100} \dots \dots \dots \text{Eşitlik 3.1}$$

Burada;

$C_T$ =Toplam karbon

$KK_T$ = Toplam kuru kütle (büyükbaş hayvan gübresi, makroalg, aşının) (kg)

$C_R$ =Her bir faktör (büyükbaş hayvan gübresi, makroalg, aşı) için oluşan karbon

$NO_R$ =Reaktör nem oranı

$$N_T = \frac{KK_T * N_n}{100} = \frac{\sum_{n=B,M,A} (1 - \frac{NO_n}{100}) N_n}{100} \dots \dots \dots \text{Eşitlik 3.2}$$

Burada;

$N_T$ =Toplam azot

$KK_T$ = Toplam kuru kütle (büyükbaş hayvan gübresi, makroalg, aşı) (kg)

$N_R$ =Her bir faktör (büyükbaş hayvan gübresi, makroalg, aşı) için oluşan azot

$NO_R$ =Reaktör nem oranı

$$W_B = \frac{KK_B}{KK_T} = \frac{\sum_{R=B} (1 - \frac{NO_R}{100}) W_R}{\sum_{n=B,M,A} (1 - \frac{NO_n}{100}) W_n} \dots \dots \dots \text{Eşitlik 3.3}$$

$W_B$ =Reaktöre giren büyükbaş hayvan gübresi (kg)

$KK_B$ =Büyükbaş hayvan gübresi kuru kütlesi (kg)

$KK_T$ = Toplam kuru kütle (büyükbaş hayvan gübresi, makroalg, aşı) (kg)

$C_R$ =Her bir faktör (büyükbaş hayvan gübresi, makroalg, aşı) için oluşan karbon

$NO_R$ =Reaktör nem oranı

$W_n$ = Reaktöre giren her bir faktörün (büyükbaş hayvan gübresi, makroalg, aşı) miktarı

$$W_M = \frac{KK_M}{KK_T} = \frac{\sum_{R=M} (1 - \frac{NO_R}{100}) W_R}{\sum_{n=B,M,A} (1 - \frac{NO_n}{100}) W_n} \dots \dots \dots \text{Eşitlik 3.4}$$

Burada;

$W_M$ =Reaktöre giren makroalg (kg)

$KK_A$ = Makroalg kuru kütlesi (kg)

$KK_T$ = Toplam kuru kütle (büyükbaş hayvan gübresi, makroalg, aşı) (kg)

$NO_R$ =Reaktör nem oranı

$W_n$ = Reaktöre giren her bir faktör (büyükbaş hayvan gübresi, makroalg, aşı) miktarı

$$W_A = \frac{KK_A}{KK_T} = \frac{\sum_{R=A} (1 - \frac{NO_R}{100}) W_R}{\sum_{n=B,M,A} (1 - \frac{NO_n}{100}) W_n} \dots \dots \dots \text{Eşitlik 3.5}$$

Burada;

$W_A$ =Aşı (kg)

$KK_A$ =Aşının kuru kütlesi (kg)

$KK_T$ = Toplam kuru kütle (büyükbaş hayvan gübresi, makroalg, aşı) (kg)

$C_R$ =Her bir faktör (büyükbaş hayvan gübresi, makroalg, aşı) için oluşan karbon

$NO_R$ =Reaktör nem oranı

$$NO = \frac{S_T}{S_T + W_T} \dots \dots \dots \text{Eşitlik 3.6}$$

Burada;

NO=Nem oranı

S<sub>T</sub>=Reaktöre giren toplam su (kg)

W<sub>T</sub>=Toplam kuru kütle (kg)

$$K = \frac{W_M}{W_M + W_B} \dots \dots \dots \text{Eşitlik 3.7}$$

Burada;

K: Karışım oranı (%)

W<sub>M</sub>=Makroalg (kg)

W<sub>B</sub>=Büyükbaş hayvan gübresi (kg)

### 3.2.2. BMP denemeleri

Çalışmada kullanılan makroalg atıkları, 2018 yılı Şubat-Mart aylarında yaklaşık iki haftalık sürede, güneş enerjili kurutma sisteminde kurutulup 1 mm'lik elekten geçirilerek öğütülmüştür. Büyükbaş hayvan gübresi ise çiftlikten sıyrıcının topladığı alandaki karışımdan alınarak işleme tabi tutulmadan denemeye alınmıştır.

Öğütülmüş makroalg ve çiftlikten alınmış büyükbaş hayvan gübresi; % 7 ve % 9 kuru madde oranlarında, C/N göre 5 farklı karışım (Karışım-1, Karışım-2, Karışım-3, Karışım-4, Karışım-5) oluşturulmuştur. BMP test ünitesindeki cam şişeler su banyosuna yerleştirilmeden önce, test ünitesinin gaz sızdırmazlık testi yapılmıştır (Onursal, 2016; Ekinci, 2018). Daha sonra elde edilen bu karışımlar 2 L'lik otoklav cam şişelere doldurulup BMP test ünitesindeki su banyosu içerisinde yer alan bölmelere yerleştirilmiştir (Şekil 3.32). Herbir karışım 3 tekerrür olarak alınmıştır. BMP denemelerindeki deneme, 37 °C sıcaklıkta, 60 gün süre boyunca yürütülmüştür. Şeffaf hortum boruları sayesinde cam şişeler içerisinde oluşan biyogaz 5 L'lik biyogaz torbalarına iletilmiştir. Biyogaz torbalarının dolmasıyla ölçümler yapılmıştır. Ölçümler; 3, 5, 8, 13, 18, 26, 38 ve 60. günlerde volümetrik biyogaz sayacı kullanılarak biyogaz miktarı, sensörler aracılığı ile biyogaz içerisinde oluşan metan oranı belirlenmiştir. Alınan ölçümler sonucundaki değerleri normal şartlar altında (normal basınç, normal sıcaklık) hesaplama yapan OBA programı ile normalizasyon yapılmıştır (İnternet, 2019). Tüm üretimlerden aşı çıkarılmıştır (Eşitlik 3.8).

$$BMP_{net} = \frac{V_R - V_I}{M_S} \dots \dots \dots \text{Eşitlik 3.8}$$

Burada;

$BMP_{net}$ = Net gaz üretimi

$V_R$ = Reaktörde oluşan gaz (L)

$V_I$ = Aşıda oluşan gaz (L)

$M_S$ =Substrat miktarı (kg)

%7 ve %9 kuru madde oranlarında cürüf parametrelerinin kimyasal analizleri ((karbon (C), azot (N), C/N, kuru madde (KM), organik kuru madde (OKM), pH, elektriksel iletkenlik (EC), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), nötr deterjanda çözünmeyen lif (NDF) ve asit deterjanda çözünmeyen lif (ADF)) deney başlangıcında (B) ve 60 günlük anaerobik fermantasyon sonucunda (S) belirlenmiştir. Buna göre kimyasal kompozisyon parametreleri Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Karışımların %7 ve %9 kuru madde oranındaki kimyasal kompozisyon parametrelerinin tanımlamaları

Kimyasal kompozisyonlar	Deney başlangıc (B) tanımlamalar	Deney sonrası (S) tanımlamalar
KM	BKM	SKM
OKM	BOKM	SOKM
pH	BpH	SpH
EC	BEC	SEC
C	BC	SC
N	BN	SN
C/N	B(C/N)	S(C/N)
KOİ	BKOİ	SKOİ
NDF	BNDF	SNDF
ADF	BADF	SADF



Şekil 3.32. BMP test aşamaları

### 3.2.3. BMP materyal karışım oranları

Kuru madde esaslı hazırlanan karışım oranları (Sarapatka, 1993) Eşitlik 3.9 ile belirlenmiştir.

$$KO = \frac{MA}{MA + BHA} \dots \dots \dots \text{Eşitlik 3.9}$$

Burada;

KO: Kuru madde oranı (%)

MA: Makroalg (kg)

BHA: Büyükbaş hayvan gübresi (kg)

### 3.2.4. Karışımların kuru madde oranları

Biyogaz üretiminde, en uygun verimin sağlanması için besleme materyallerinin toplam katı değerlerinin %6-13 arasında olması gerekmektedir (Sarapatka, 1993). Bu çalışmada materyallerin kuru madde oranları %7 ve %9 olarak alınmıştır. Kuru madde oranı, Eşitlik 3.10 ile belirlenmiştir (Sarapatka, 1993).

$$K = \frac{SM}{SM + KK} * 100 \dots \dots \dots \text{Eşitlik 3.10}$$

Burada;

K: Materyal kuru madde oranı (%)

SM: Su miktarı (kg)

KK: Materyal kütlesi (kg)

### 3.2.5. CSTR denemeleri

CSTR, sürekli beslemeli, tam karıştırılmalı, sabit sıcaklıkta, birleşik kaplar prensibine göre çalışmaktadır (Onursal, 2016). BMP denemelerinde, %7 ve %9 kuru madde oranlarının herbiri için elde edilen en iyi karışım oranları, 4 adet 60 L'lik (efektif hacmi 55 litre) reaktörden (R1, R2, R3, R4) oluşan CSTRlar denemeye alınmıştır. %7 kuru madde oranında elde edilen en iyi 2 karışım oranları; R1 ve R2'de, %9 kuru madde oranı elde edilen en iyi 2 karışım ise R3 ve R4 reaktörlerine yüklenmiştir. Materyaller, yaş halde günlük 2 kg OKM/reaktör gün'lük yükleme oranıyla (Şekil 3.33) gerçekleştirilmiştir.

Reaktör üzerinde bulunan sızdırmaz delikten, reaktör içerisinde anaerobik fermantasyon sonucu oluşan biyogaz kabarcıkları (Şekil 3.34) boru yardımıyla 300 L hacminde olan biyogaz torbalarında (Şekil 3.35) depolanmıştır. Biyogaz torbalarına depolanan biyogaz, vakum

pompası yardımıyla biyogaz sayacına iletilerek, biyogaz değeri, günlük hacimsel olarak belirlenmiştir. Ölçüm işlemi, biyogaz torbasındaki gaz bitene kadar sürdürülmüştür. Biyogazın içeriğini ( $CH_4$ ,  $CO_2$ ) belirlemek için kızılötesi prensipli sensörler kullanılmıştır. Küçük bir pompa aracılığı ile çekilen biyogaz  $CO_2$  ve  $CH_4$  sensörlerine iletilerek konsntrasyon değerleri belirlenmiştir (Onursal, 2016; Ekinci ve ark., 2019).

Bu yöntemde 30 gün sonunda elde edilen cürufun (digestate) kimyasal analizleri (C, N, C/N, KM, OKM, pH, EC, KOİ, ADF ve NDF) belirlenmiştir.



Şekil 3.33. CSTR reaktörlerine materyallerin yüklenmesi



Şekil 3.34. Reaktör içerisinde oluşan biyogaz kabarcıkları



Şekil 3.35. Biyogaz torbaları

### 3.2.6. Materyallerin özgül metan üretimi

CSTR reaktörüne yüklenmiş olan materyallerin özgül metan üretimi; birim kütle başına düşen organik kuru madde miktarından üretilen metandır. Materyallerin özgül metan üretimi Eşitlik 3.11 ile belirlenmiştir (Onursal, 2016)

$$\text{ÖMÜ} = \frac{V_G}{M_G + OKM} \dots \dots \dots \text{Eşitlik 3.11}$$

Burada,

ÖMÜ: Materyal özgül metan üretimi (L CH<sub>4</sub> /kg OKM)

V<sub>G</sub>: Günlük oluşan CH<sub>4</sub> (L)

M<sub>G</sub>: Günlük yüklenen materyal kütlesi (kg)

OKM: Materyal organik kuru madde miktarı (%)

### 3.2.7. Reaktör özgül metan üretimi

Günlük birim reaktör hacmi başına düşen metan üretimidir. Reaktör özgül metan üretimi Eşitlik 3.12 ile belirlenmiştir (Onursal, 2016).

$$R\text{ÖMÜ} = \frac{V_G}{V_R} \dots \dots \dots \text{Eşitlik 3.12}$$

Burada,

RÖMÜ: Reaktör özgül metan üretim miktarı (m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> /m<sup>3</sup> Reaktör gün)

V<sub>G</sub>:Günlük metan üretimi (m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>)

V<sub>R</sub>: reaktör toplam hacmi (m<sup>3</sup>)

### 3.2.8. Hidrolik bekleme süresi

Organik maddelerin bakteriler tarafından çürütülmesi sonucu biyogazın üretilmesi için gerekli olan süreye hidrolik bekleme süresi (HBS) denir. Hidrolik bekleme süresi, reaktöre yüklenen günlük besleme miktarının reaktör hacmine oranı (Eşitlik 3.13) ile belirlenmektedir (Ayhan, 2013).

$$HBS = \frac{RH}{GBM} \dots \dots \dots \text{Eşitlik 3.13}$$

Burada;

HBS: Hidrolik bekleme süresi (gün)

RH: Reaktör hacmi (m<sup>3</sup>)

GBM: Günlük besleme miktarı (m<sup>3</sup>/gün).

### 3.2.9. Kimyasal kompozisyonlar

Çalışmada ele alınan materyallerin ve her iki denemelerindeki reaktörler içerisinde oluşan aşının kimyasal kompozisyonları belirlenmiştir. Yapılan kimyasal kompozisyonlar (kuru madde (KM), organik kuru madde (OKM), pH, elektriksel iletkenlik (EC), karbon (C), azot (N), C/N, kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), nötr deterjanda çözünmeyen lif (NDF) ve asit deterjanda çözünmeyen lif (ADF)) analizlerle belirlenmiştir. Bu kimyasal analizlere ilişkin bilgiler aşağıda açıklanmıştır.

#### 3.2.9.1. Kuru madde analizi

Kuru madde analizi (AOAC, 1990)' e göre yapılmıştır (Eşitlik 3.14). Bu amaçla ilk olarak analizde kullanılan porselen krezeler etüvde 105 °C'de 1 saat süreyle bekletilmiş porselen krezede mevcut olan nem alınarak daha sonra desikatöre nem almaması için konulup oda sıcaklığına gelene kadar soğutulmuştur. Her analizde kullanılan porselen krezelerin darası alınmış (A) içerisine 1-3 g aralığında değişen atık materyali konularak (B) mikro terazide tartılmıştır. İçerisinde atık meteryal bulunan porselen krezeler sayısal numara verilerek sırayla etüve yerleştirilip 105°C'de 24 saat bekletilmiştir. Bu süre zarfı sonunda porselen krezeler etüvden alınıp nem almaması için desikatöre konulmuş ve oda sıcaklığına kadar geldikten sonra mikro terazide tartımı yapılmıştır (C). Kuru madde analiz aşamalarına ilişkin resimler Şekil 3.36'da verilmiştir.





Şekil 3.36. Kuru madde analiz aşamaları

$$KM = (C-A)/B*100.....Eşitlik 3.14$$

Burada;

KM: Kuru madde içeriği (%),

A : Boş olan porselen kroze kütlesi (g),

B : Atık materyal ilave edilmiş olan porselen kroze kütlesi (g),

C : 24 saat etüvde bekletilmiş olan porselen kroze kütlesi (g)'dir.

### 3.2.9.2. Ham kül ve organik madde analizi

Ham kül ve organik madde analizlerinin başlangıcında kullanılacak olan porselen krozeler (Şekil 3.37) etüvde 105 °C'de 1 saat süreyle bekletilip porselen krozede mevcut olan nem alınarak desikatöre konulup oda sıcaklığına gelene kadar soğutulmuştur.

Her örnek materyal için 3 tekerrürlü olacak şekilde porselen kroze kullanılmıştır. İlk olarak mikro terazide porselen krozelerin darası alınmış (A), yaklaşık 1-3 g arasında değişen atık materyal konulup (B) tartılmıştır. İçerisinde atık materyal bulunan porselen krozeler ham kül fırınına sayısal numara verilerek sırayla yerleştirilip 550 °C'lik fırında 6 saat süre ile yakılmıştır. Analiz süresi sonunda kül fırını belli sıcaklığa kadar soğutulup içerisinde bulunan porselen krozeler desikatöre alınıp oda sıcaklığına geldikten sonra mikro terazide tartımı (C) yapılmıştır. Ham kül ve organik madde içeriği (AOAC, 1990)'a göre hesaplanmıştır. Bulunan veriler Eşitlik 3.15 ve 3.16'da yerine konularak içerik hesaplamaları yapılmıştır.



Şekil 3.37. Ham kül ve organik madde analizleri

$$HK = ((C-A)/B*100).....Eşitlik 3.15$$

$$OM = 100 - HK.....Eşitlik 3.16$$

Burada;

- HK : Ham kül içeriği (%),  
A : Boş olan porselen kroze kütlesi (g),  
B : Atık materyal ilave edilen porselen kroze kütlesi (g),  
C : Yakma sonrası porselen kroze kütlesi (g),  
OM : Organik madde içeriği (%)’dir.

### 3.2.9.3. NDF analizi

Çalışmada kullanılan büyükbaş hayvan gübresi ve makroalg atıkları kurutulup 1 mm boyutunda öğütüldükten sonra atık maddelerin NDF (Neutral Detergent Fibre-Nötr deterjanda çözünmeyen lif) analizi için hazır hale getirilmiştir. NDF analizi Vansoset ve ark. (1991)’e göre yapılmıştır. NDF aşamaları aşağıda belirtilmiştir.

#### *Çözelti hazırlanması ve analiz uygulaması*

Ankom ADF-NDF cihazına 24 adet örnek için en az 2000 mL çözelti gerekmektedir. 24 örneklik çözelti için 1800 mL saf suya 120 g Neutral Detergent Fibre solüsyonu eklenip hemojen karışım olduktan sonra içerisine 20 mL trietilen glikol ekleyip çözelti saf su ile 2000 mL’ye tamamlanır. 2000 mL hazır hale gelen çözeltiliye 20 g sodyum sülfid ve 4 mL alfa amilaz eklenip NDF için gerekli olan çözelti hazır hale getirilir. Çözelti hazır olmasından sonra F57 torbalarına sayısal numaralandırma sonrası darası alınıp (W1) her bir Ankom F57 torbası

içerisine 0.5-0.7 g atık eklenip (W2) mikro terazide tartımları yapılır. İçerisinde atık bulunan torbalar torba mühürleme cihazı ile ağızları sıkıca kapatılır. Her materyal için 3 tekrarlı olacak şekilde hazırlanıp tartımı yapılır. Hazırlanan torbalar Ankom ADF-NDF cihazı içerisinde bulunan katlı torba raflarına dizilip sonrada cihaza yerleştirilir (Şekil 3.38). Hazır hale getirilmiş olan çözelti cihaz içerisine dökülüp kontrol edildikten sonra cihazın ağızı iyice kapatılır. Cihaz süresi 75 dakikaya ayarlanıp çözünmesi beklenir. Süre sonunda cihazdan alınan torbalar hafif şekilde sıkılıp içerisi aseton olan beher içerisinde yıkanır. Asetonun uzaklaştırılması için çeker ocağa 5 dakika konulmasının ardından 105 °C'ye ayarlı etüvde 12 saat bekletildikten sonra torbalar desikatöre alınır oda sıcaklığına gelinceye kadar soğutulan torbalar (W3) hassas terazide tartımları yapılır.



Şekil 3.38. NDF analizi

#### 3.2.9.4. ADF analizi

Çalışmada kullanılan büyükbaş hayvan atıkları ve makroalg kurutulup 1 mm boyutunda öğütüldükten sonra ADF (Asit Detergent Fibre-Asit deterjanda çözünmeyen lif) analizi için hazır hale getirilmiştir. ADF analizi Vansoset ve ark. (1991)' e göre hesaplanmıştır.

##### *Çözelti hazırlanması ve analiz uygulaması*

ADF analizi için 24 örnek gerekli olan çözelti 2000 mL saf suya 40 g asit deterjan solüsyonu ve 55.6 mL sülfirik asitten oluşmaktadır. NDF tayini yapılmış ve tartılmış olan F57 torbaları tekrardan Ankom ADF-NDF cihazı içerisinde bulunan katlı torba rafına konulup ADF tayini için hazırlanmış olan çözelti cihaza dökülür. Gerekli kontroller yapıldıktan sonra 75 dakika süre ile cihazda bekletilir (Şekil 3.39). Süre sonunda torbalar katlı torba rafından dikkatli bir şekilde alınıp hafifçe sıkıldıktan sonra 105 °C'ye ayarlı etüvde 12 saat süre ile bekletirilir. Süre bitiminde torbalar desikatöre alınıp oda sıcaklığına gelinceye kadar soğutulduktan sonra

torbalar (W4) mikro terazide tartımları yapılmaktadır. NDF hesaplanması Eşitlik 3.17 ile ADF hesaplanması Eşitlik 3.18 ile yapılmıştır.



Şekil 3.39. ADF analiz aşamaları

Hesaplama

$$\%NDF = \frac{W3 - W1}{W2} * 100 \dots \dots \dots \text{Eşitlik 3.17}$$

$$\%ADF = \frac{W4 - W1}{W2} * 100 \dots \dots \dots \text{Eşitlik 3.18}$$

Burada;

W1: Torbaların darası

W2: Örnek ağırlığı

W3: NDF analizi sonrası “örnek + torba” nın kurutulduktan sonraki ağırlığı

W4: ADF analizi sonrası “örnek + torba” nın kurutulduktan sonraki ağırlığı

### 3.2.9.5. Kimyasal oksijen analizi (KOİ)

BMP denemelerinin başlangıcı ve sonunda ve CSTR denemelerinin giriş ve çıkışında materyallerin belli aralıklarla KOİ değerleri belirlenmiştir. Analiz, ISO 6060 (1986)’ı standardına göre yapılmıştır. Standarda göre KOİ analizinde kullanılan kimyasallar/reaktifler (Şekil 3.40) ve deney yapılışı aşağıda belirtilmiştir.

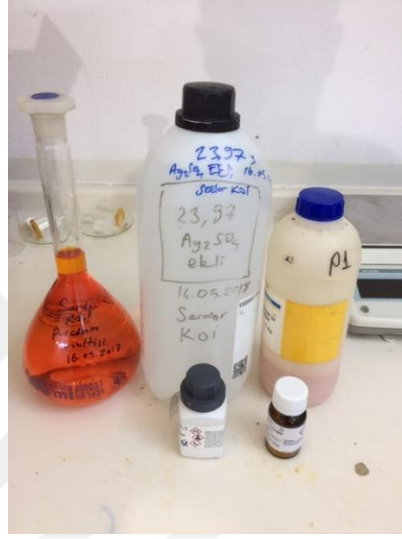
#### **Reaktifler**

**Parçalama çözeltisi;** daha önce 2 saat boyunca 105 °C’de kurutulan K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 1 gün boyunca desikatörde soğutulduktan sonra 4.903 g K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, 167 mL H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve 33.3 g HgSO<sub>4</sub> kimyasalları 500 mL saf suda iyice çözdükten sonra 1000 mL’ye seyreltme yapılır.

**Sülfürik asit reaktifi;** 1 kg derişik sülfürik asit çözeltisine, kristal ya da toz halinde olan 5.5 g  $Ag_2 SO_4$  ilave edilip çözülmeye bırakılır. Gümüş sülfatın asit içerisinde tamamen çözünmesi için 2 gün bekletilip reaktif hazır hale getirilir.

**Potasyum Hidrojen Ftalat (KHP) standartı;** bir miktar KHP'ı (MA:204.23 g/mol ) 120 °C'de 30 dakika kurutup daha sonra 1 saat desikatörde bekletilir. 0.850 g ftalatı 1000 mL saf suda iyice çözdürüp çözelti hazır hale getirilir.

Hazırlanan çözeltiyle spektro fotometre de kalibrasyon yapıp okuma değer aralıkları belirlenir.



Şekil 3.40. KOİ analiz kimyasalları

### **Deney yapılışı**

Parçalama tüpüne 2.5 mL numune (seyreltilmiş), 1.5 mL parçalama çözeltisi ve 3.5 mL sülfürik asit reaktifi ilave edilir. Tüpde karışım hazırlandıktan sonra 150 °C'de olan termoreaktörde 2 saat süre bekletilir. Bu süre zarfı sonunda parçalama tüpleri oda sıcaklığına gelene kadar soğutulur. Soğuyan tüpler spektro fotometrede okuma yapıp KOİ değerleri belirlenir (Şekil 3.41).



Şekil 3.41. KOİ analiz aşamaları

### 3.2.9.6. C/N analizi

Materyaller ilk olarak 0.1 grama kadar alüminyum folyo benzeri deneysel malzemeye konulduktan sonra cihaz üzerindeki yere sırayla yerleştirilmiştir. Vario elementer analiz cihazı ile 1200 °C'ye kadar ayarlanabilen cihaz fırınında materyaller yakılıp oluşan gazların analizi azot analizi Dumas prensibiyle ve karbon analizi AOAC uluslararası standartlarla uyumlu şekilde cihazda yüklü program ile hesaplanmıştır (Şekil 3.42). Cihaz her 4 dakikada bir materyalin C/N oranını hesaplamaktadır.



Şekil 3.42. C/N analiz aşamaları

### 3.2.9.7.pH ve EC analizi

pH değerleri 0.1 hassasiyetli inolab pH 720 sensörlerle okunarak, EC değerleri ise Multi 340i sensörleri ile okunarak bulunmuştur (Şekil 3.43).



Şekil 3.43. pH ve EC ölçümü

### 3.2.9. Verilerin elde edilmesi ve değerlendirilmesi

Araştırmada, tüm veriler 3 tekerrürlü olarak ölçülmüş ve ortalama değerler alınmıştır.

Materyallerin kimyasal analizleri (C, N, C/N, KOİ, EC, pH, KM, OKM, ADF, NDF), BMP denemeleri için %7 ve %9 kuru madde oranlarında, herbir kuru madde oranı için büyükbaş hayvan gübresi ve makroalglerden oluşturulan karışımların (5 karışım) oranları ve C/N değerleri çizelgelere aktarılarak değerlendirilmiştir.

Ele alınan materyallerin %7 ve %9 kuru madde oranlarındaki, iki farklı deneme yönteminde (BMP ve CSTR) elde edilen parametreler (metan oranları, günlük biyogaz üretimi, günlük metan üretimi, kümülatif biyogaz üretimi, kümülatif metan üretimi ve özgül metan üretim değerleri) ile crf parametrelerin kimyasal analizleri ((karbon (C), azot (N), C/N, kuru madde (KM), organik kuru madde (OKM), pH, elektriksel iletkenlik (EC), kimyasal oksijen ihtiyaı (KOİ), nötr deterjanda çözünmeyen lif (NDF) ve asit deterjanda çözünmeyen lif (ADF)) grafiklerle gösterilerek yorumlanmıştır.

Ayrıca her iki kuru madde oranlarında iki farklı denemede elde edilen parametrelerin arasındaki etkinin belirlenmesi için varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. Ortalamalar arasındaki farklar  $p < 0.05$  düzeyinde, Tukey oklu karışılaştırma testiyle, belirlenmiştir. Elde edilen istatistiksel sonuçlar çizelgelere aktarılarak yorumlanmıştır.

#### 4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Araştırmanın bu bölümünde, büyükbaş hayvan gübresi ve makroalg (*Cladophora* sp.) atıklarının ko-fermantasyonu ile biyometan üretilmesi amacıyla elde edilen verilerin, hedeflenen amaçlar doğrultusunda analiz edilmesi, değerlendirilmesi ve öneriler geliştirilmesine yönelik bulgulara yer verilmiştir.

Çalışma deneysel olarak yürütülmüştür. Biyogaz üretimi amacıyla iki farklı deneme yöntemi (BMP ve CSRT deneyleri) kullanılmıştır. BMP denemeleri, besleme materyallerinin en iyi karışım oranlarının belirlenmesinde kullanılmıştır. CSRT denemeleri ise reel biyogaz tesislerinin işletmesine yönelik benzerlik sağladığı için kullanılmıştır. Biyogaz eldesinde en verimli üretimi gerçekleştirmek amacıyla besleme materyallerinin en uygun karışım oranları BMP yönteminde belirlenip CSTR yönteminde uygulanmıştır. Her iki yöntemde elde edilen biyogaz ve cüruf'un parametreleri belirlenmiştir. Biyogaz parametreleri olarak; metan oranı, günlük biyogaz ve metan üretimi, kümülatif biyogaz ve metan üretimi ve özgül metan üretimi, cüruf'un parametreleri olarak; karbon (C), azot (N), C/N, kuru madde(KM), organik kuru madde (OKM), pH, elektriksel iletkenlik (EC), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), nötr deterjanda çözünmeyen lif (NDF) ve asit deterjanda çözünmeyen lif (ADF) elde edilmiştir.

Araştırmanın bulguları 5 ana bölümden oluşmaktadır: 1) Büyükbaş hayvan gübresi ve makroalglerin kimyasal analizleri, 2) İki farklı kuru madde oranında (%7 ve %9) hazırlanan besleme materyallerin karışım oranları, 3) BMP denemeleri ile elde edilen parametrelerin değerlendirilmesi, 4) CSTR denemeleri ile elde edilen parametrelerin değerlendirilmesi, 5) İki farklı denemeden elde edilen parametrelerin istatistiksel olarak karşılaştırılması

##### 4.1. Büyükbaş hayvan gübresi ve makroalglerin kimyasal analizleri

Çalışmada kullanılan büyükbaş hayvan gübresi ve makroalglerin, analizler sonucunda elde edilen, kimyasal analizleri Çizelge 4.1'de verilmiştir. Buna göre büyükbaş hayvan gübresi için C %32.09, N %2.13, C/N 15.03, KOİ 40274 mg/L, EC 10.65 µS/cm, pH 7.24, KM %82.10, OKM %84.45, ADF%34.63 ve NDF değeri ise %68.71 olarak belirlenmiştir. Makroalgler için C %23.03, N %1.98, C/N 11.67, KOİ 16070 mg/L, EC 9.17 µS/cm, pH 7.60, KM %12.23, OKM %59.60, ADF %20.89 ve değeri ise NDF %36.54 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. Büyükbaş hayvan gübresi ve makroalglerin kimyasal analizleri

Materyaller	%C	%N	C/N	KOİ (mg/L)	EC (µS/cm)	pH	%KM	%OKM	%ADF	%NDF
Büyükbaş hayvan gübresi	32.09	2.13	15.03	40274	10.65	7.24	82.10	84.45	34.63	68.71
Makroalg	23.03	1.98	11.67	16070	9.17	7.60	12.23	59.60	20.89	36.54



#### 4.2. İki farklı kuru madde oranında (%7 ve %9) hazırlanan besleme materyallerinin karışım oranları

Anaerobik fermantasyonu gerçekleştiren bakteri gruplarından biyogaz üretimi ve metan miktarından en verimli şekilde yararlanabilmek için optimum reaktör koşullarından birisi de kullanılan besleme materyallerinin kuru madde oranıdır (Mitzlaff, 1988; Nagamani ve Ramasamy, 2010). Besleme materyallerinin toplam kuru madde oranları %6-13 arasında olması durumunda, biyogaz eldesinde en verimli üretim gerçekleştirilmektedir (Sarapatka, 1993). Bu çalışmada kullanılan besleme materyallerinin kuru madde oranları CSTR denemeleri işletimi açısından en uygun aralık olan %7 ve %9 kuru madde oranı alınmıştır.

BMP denemeleri için besleme materyallerinin karışım oranları C/N değerine göre belirlenmiştir. Buna göre besleme materyallerinin %7 kuru madde oranındaki karışım oranları Çizelge 4.2’de, %9 kuru madde oranındaki karışım oranları ise Çizelge 4.3’de verilmiştir. Besleme materyallerinin her iki kuru madde oranları (%7 ve %9) için 5 farklı karışım (Karışım-1, Karışım-2, Karışım-3, Karışım-4, Karışım-5) oluşturulmuştur.

Besleme materyalinin %7 ve %9 kuru madde oranında, Karışımlarda 1’den 5’e doğru büyükbaş hayvan gübresi oranı artıktıkça C/N artmıştır. C/N oranı %7 kuru madde oranında 10.98-15.75 (Çizelge 4.2), %9 kuru madde oranında 10.70-17.00 (Çizelge 4.3) arasında değişmektedir.

%7 kuru madde oranında karışımlar; Karışım-1 (%100 Makroalg), Karışım-2 (%69 Makroalg+%31 Büyükbaş hayvan gübresi), Karışım-3 (%42 Makroalg+%58 Büyükbaş hayvan gübresi), Karışım-4 (%20 Makroalg+%80 Büyükbaş hayvan gübresi) ve Karışım-5 (%100 Büyükbaş hayvan gübresi)’den oluşmaktadır (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2. Besleme materyallerinin %7 kuru madde oranındaki karışım oranları

Karışımlar	C/N	Nem	Büyükbaş hayvan gübresi	Makroalgler	Aşı	Materyallerin karışım oranı
	-	%	kg/kg	kg/kg	kg/kg	-
Karışım-1	10.98	93.00	0.000	0.490	0.462	1.00
Karışım -2	12.17	93.00	0.163	0.356	0.462	0.69
Karışım -3	13.37	93.00	0.314	0.230	0.462	0.42
Karışım -4	14.56	93.00	0.457	0.112	0.462	0.20
Karışım -5	15.75	93.00	0.591	0.000	0.462	0.00

%9 kuru madde oranında karışımlar; Karışım-1 (%100 Makroalg), Karışım-2 (%68 Makroalg+%32 Büyükbaş hayvan gübresi), Karışım-3 (%41 Makroalg+%59 Büyükbaş hayvan

gübre), Karışım-4 (%19 Makroalg+%81 Büyükbaş hayvan gübresi) ve Karışım-5 (%100 Büyükbaş hayvan gübresi)'den oluşmaktadır (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3. Besleme materyallerinin %9 kuru madde oranındaki karışım oranları

Karışımlar	C/N	Nem	Büyükbaş			Karışım oranı
			hayvan gübresi	Makroalgler	Aşısı	
	-	%	kg/kg	kg/kg	kg/kg	-
Karışım-1	10.79	91.00	0.612	0.000	0.322	1.00
Karışım-2	12.34	91.00	0.440	0.209	0.322	0.68
Karışım-3	13.90	91.00	0.282	0.399	0.322	0.41
Karışım-4	15.45	91.00	0.136	0.575	0.322	0.19
Karışım-5	17.00	91.00	0.000	0.738	0.322	0.00

### 4.3. BMP denemeleri ile elde edilen parametrelerin değerlendirilmesi

BMP denemelerinde, elde edilen karışımlar 2 farklı kuru madde oranında (%7 ve %9) denemeye alınmıştır. Denemeler, 60 günlük sürelerde gerçekleştirilmiştir. Testte biyogaz (metan oranı, günlük biyogaz ve metan üretimi, kümülatif biyogaz ve metan üretimi ve özgül metan üretimi) ve cüru parametreler (karbon (C), azot (N), C/N, kuru madde (KM), organik kuru madde (OKM), pH, elektriksel iletkenlik (EC), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), nötr deterjanda çözünmeyen lif (NDF) ve asit deterjanda çözünmeyen lif (ADF)) belirlenmiştir. Bu parametreler aşağıda sırasıyla açıklanmıştır.

#### 4.3.1. BMP denemeleri ile elde edilen biyogaz parametreleri

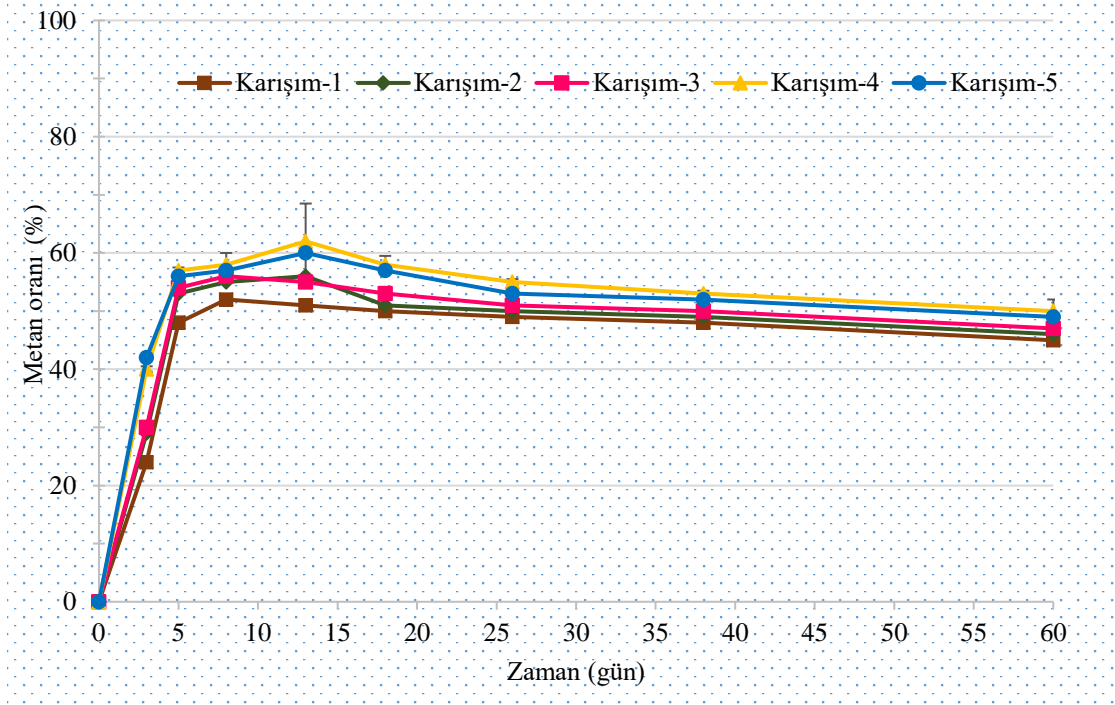
##### 4.3.1.1. Karışımların %7 kuru madde oranında elde edilen biyogaz parametreleri

###### Metan oranı

BMP denemelerinde, %7 kuru madde oranındaki, tüm karışımların zamana bağlı biyogaz değerleri içerisindeki metan (CH<sub>4</sub>) oranı 1-10. günler arasında hızla artarak 13. günde en yüksek düzeye (%50-60) ulaşmıştır. Karışımların metan oranı 10-60. günler arasında ise çok düşük bir azalmayla %47-50 düzeyine inmiştir. Karışımlar içerisinde en yüksek metan oranı (%62) Karışım-4'de elde edilmiştir. Bunu sırasıyla Karışım-5 (%60), Karışım-3 (%57), Karışım-2 (%56) ve Karışım-1 (%52) izlemiştir (Şekil 4.1).

BMP denemeleri ile yapılan araştırmalarda biyogaz içerisindeki metan oranını; Onursal (2014), büyükbaş hayvan gübresi ve güll işleme atıklarından, %25-75, Montingelli ve ark. (2016), Laminaria spp. türündeki makroalgler için %40-60, Korkmaz (2017), makroalglerden maksimum %55.1, Ekinci ve ark. (2018), aspir ve büyükbaş hayvan gübresi atıklarından maksimum %64, Beily ve ark. (2019), koyun gübresinden %55 olarak belirlemişlerdir. Bu

araştırmada, biyogaz içerisinde meydana gelen metan oranlarının yapılan diğer araştırmalarla farklılık göstermesinin nedeni materyallerin kimyasal içeriklerinin, reaktör sıcaklıklarının ve materyal türlerinin farklı olmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

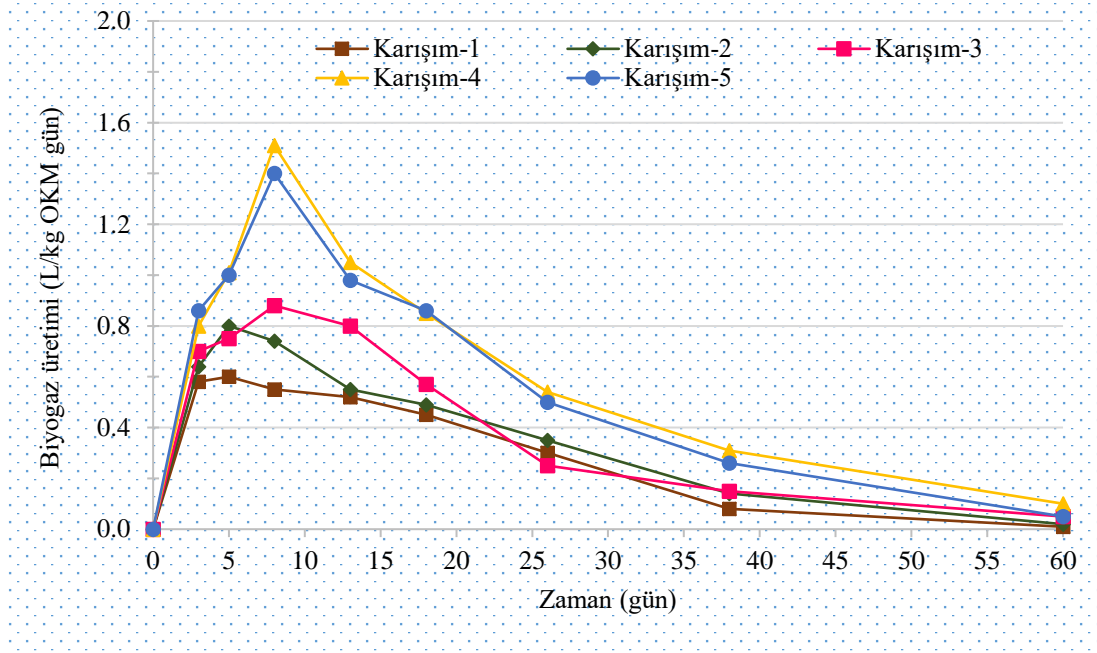


Şekil 4.1. Karışımların %7 kuru madde oranında oluşan metan oranları

### Günlük biyogaz üretimi

BMP denemelerinde, %7 kuru madde oranındaki karışımların günlük biyogaz üretimi Şekil 4.2’de verilmiştir. Tüm karışımlarda, günlük biyogaz üretimi; 1-8. günler arasında hızlı bir artış göstererek, 8. günde maksimum (0.60-1.51 L/kg OKM gün) değerlere ulaşmış, 8-38. günler arasında hızlı bir azalış göstermiş, 38-60. günler arasında ise çok düşük bir azalma göstererek 60. günde en düşük düzeye (0.01-0.1 L/kg OKM gün) ulaşmıştır. Günlük maksimum biyogaz üretimi, Karışım-4’de (1.51 L/gün) oluşmuştur. Bunu sırası ile Karışım-5-3-2-1 izlemiştir (Şekil 4.2).

Aynı yöntemi kullanarak, biyogaz üretimini; Montingelli ve ark. (2016), *Laminaria spp.* türündeki makroalgde 0.64 L/kg OKM gün; Ekinci ve ark. (2018), %26 büyükbaş hayvan gübresi + %74 aspir karışımında 1.70 L/kg OKM gün; Ferrentino ve ark. (2019), atık sulardan 0.6 L/kg OKM gün olarak belirlemişlerdir. Yapılan çalışmada diğer çalışmada farklılık olmasının nedeni kimyasal içerik ve atık, atık türü, karıştırma, ko-fermantasyon ve reaktör sıcaklığının farklılığından kaynaklandığı söylenebilir.

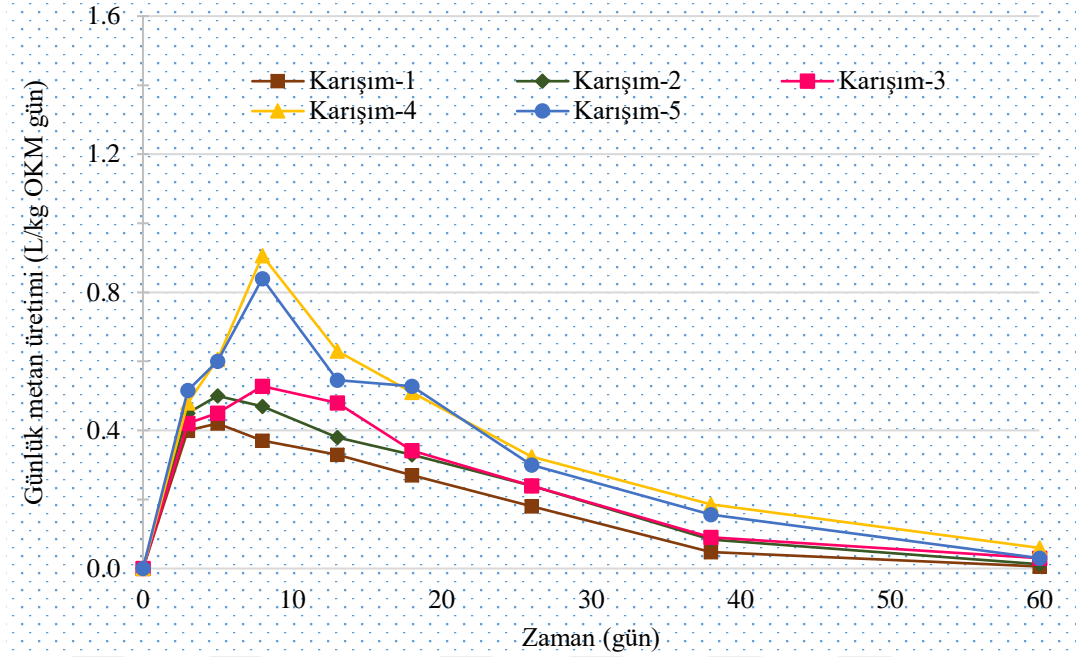


Şekil 4.2. Karışımların %7 kuru madde oranında oluşan günlük biyogaz üretimi

### Günlük metan üretimi

Tüm karışımların, %7 kuru madde oranında, BMP denemelerine göre günlük metan üretimi, 1-8. günler arasında hızlı bir artış göstererek 8. günde maksimum düzeye ulaşmış, devamında 38. güne kadar hızlı azalma ve 60. günde en düşük düzeye (0.01-0.06 L/kg OKM gün) ulaşmıştır. Günlük maksimum CH<sub>4</sub> üretimi, Karışım-4'de (0.91 L/kg OKM gün) oluşmuştur. Bunu sırası ile Karışım-5-3-2-1 izlemiştir (Şekil 4.3).

Farklı materyallerden metan üretimini; Roesijadi ve ark. (2010), *Laminaria* türündeki makroalg için 0.23-0.30 m<sup>3</sup>/kg gün, *gracilaria* türündeki makroalg için 0.25-0.31 L/kg OKM gün; Montingelli ve ark. (2016), *Laminaria* spp. türündeki makroalgde 0.35 L/kg gün; Ekinci ve ark. (2018), büyükbaş hayvan gübresi ve asperde 0.95 L/kg OKM gün; Ferrentino ve ark. (2019), atık sulardan 0.32 L/kg OKM gün olarak saptamışlardır. Yapılan bu araştırmada metan miktarlarının diğer araştırmalarda farklılık göstermesinin nedeni, materyallerin kuru madde oranları, türü, kimyasal içerikleri, ko-fermantasyon ve materyal farklılığından kaynaklandığı söylenebilir.

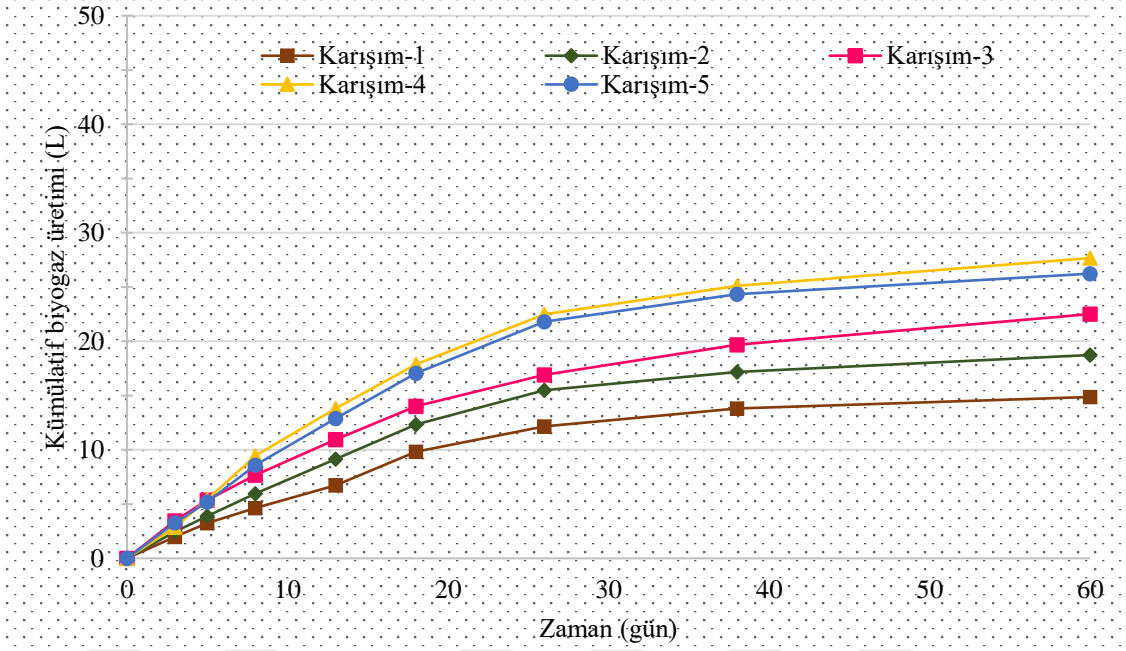


Şekil 4.3. Karışımların %7 kuru madde oranında oluşan günlük metan üretimi

### Kümülatif biyogaz üretimi

BMP denemeleri kullanılarak, %7 kuru madde oranında karışımların kümülatif biyogaz üretim değerleri, 60 günlük süre içerisinde belirlenmiştir. Ölçümler; 3, 5, 8, 13, 18, 26, 38 ve 60. günde yapılmıştır. Tüm karışımlarda oluşan kümülatif biyogaz üretimi; 1-26. günlerde hızlı, devamında ise küçük miktarlarda artarak 60. günde maksimum değerlere (14.87-27.67 L) Biyogaz üretim miktarları Karışım-1'de 2-14.87 L, Karışım-2'de 2-47-18.74 L, Karışım-3'te 3.47-22.51 L, Karışım-4'te 2.87-27.67 L, Karışım-5'te 3.27-26.24 L ve Aşıda 0.46-5.12 L olarak belirlenmiştir. Karışımlar arasında kümülatif biyogaz miktarı en fazla 27.67 L ile Karışım-4'te meydana gelirken en az ise 14.87 L ile Karışım-1'de oluşmuştur.

Ekinci ve ark. (2018), %26 büyükbaş hayvan gübresi+%74 aspir karışımında kümülatif biyogaz üretimi 28 L olarak belirlemiştir. Bu araştırmada elde edilen kümülatif biyogaz değerinin farklı olmasının nedeni materyallerin kimyasal içerik, kuru madde oranı ve karıştırmadan kaynaklandığı söylenebilir.

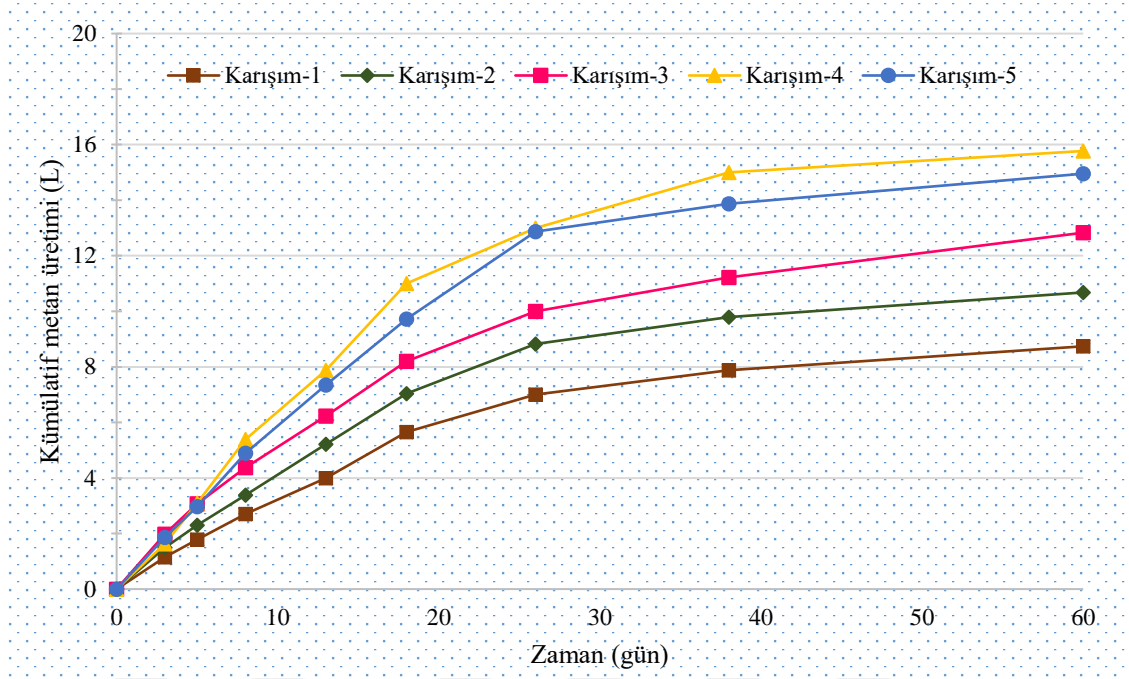


Şekil 4.4. Karışımların %7 kuru madde oranında oluşan kümülatif biyogaz üretimi

### Kümülatif metan üretimi

BMP denemeleri ile yapılan tüm karışımların %7 kuru madde oranında, 60 gün anaerobik fermantasyon sonunda, kümülatif metan miktarları belirlenmiştir. Tüm karışımlarda oluşan kümülatif metan değerleri, biyogaz üretiminde olduğu gibi; 1-26. günlerde hızlı, devamında ise küçük miktarlarda artarak 60. günde maksimum (8.74-15.77 L) düzeye ulaşmıştır. Karışımlar arasında kümülatif metan miktarı en fazla 15.77 L ile Karışım-4'te meydana gelirken en az ise 1.15 L ile Karışım-1' de oluşmuştur.

Onursal (2016), büyükbaş hayvan gübresi ve gül işleme atıkları atıkları için metan üretimi 9 L; Ekinci ve ark. (2018), büyükbaş hayvan gübresi ve aspir atıkları karışımı için BMP kümülatif metan üretimi 10.68-15.77 L olarak belirlemişlerdir. Bu araştırmada elde edilen kümülatif metan değeri Ekinci ve ark. (2018) ile benzer olurken, Onursal (2016)'dan ise yüksek olmaktadır. Farklılıkların, karışım materyallerin kimyasal içeriklerinden, kuru madde oranından ve türünden kaynaklandığı söylenebilir.



Şekil 4.5. Karışımların %7 kuru madde oranında oluşan kümülatif metan üretimi

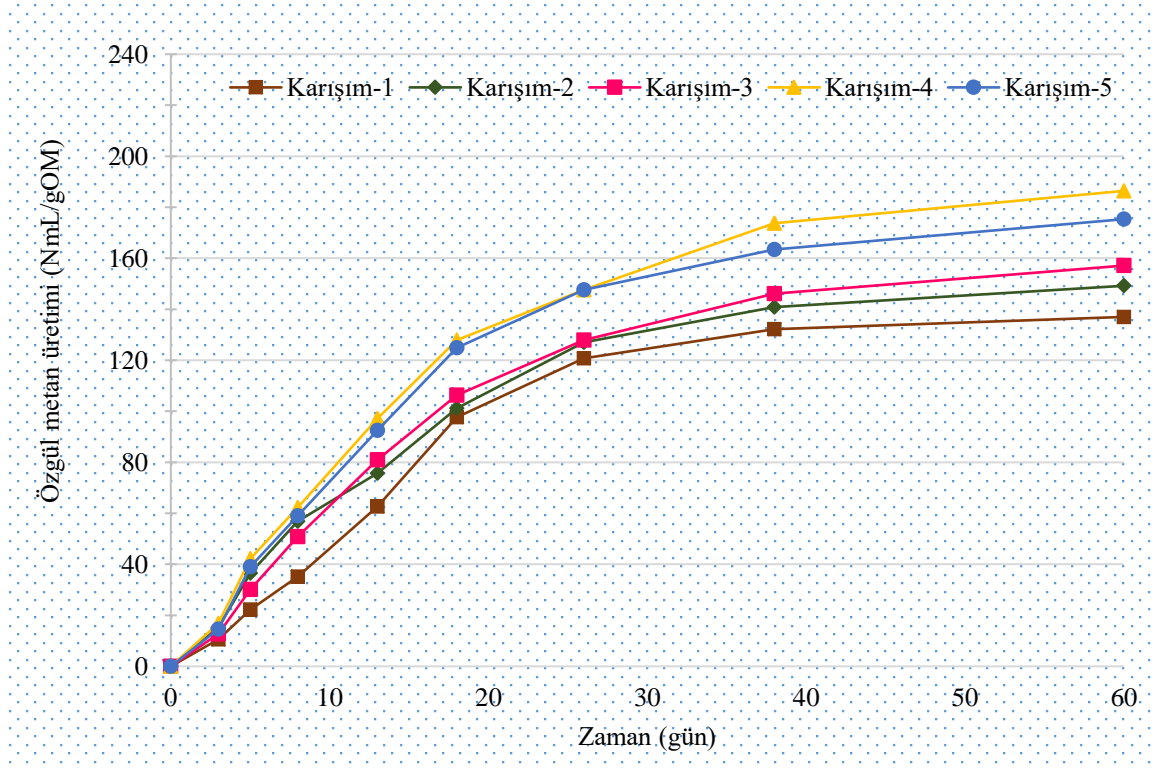
### Özgül metan üretimi

BMP yöntemi kullanılarak, karışımların %7 kuru madde oranındaki, zamana bağlı olarak, özgül metan üretim (N mL /g OM) değerleri Şekil 4.6'da verilmiştir. Tüm karışımlarda özgül metan üretimi 1-26. günlerde hızlı bir artış, 26-38. günlerde, en yüksek özgül metan üretimi gerçekleştiren Karışım-4 aynı hızda artış gösterirken, diğer karışımlar daha düşük oranlarda artış göstermekte, devamında ise tüm karışımlardaki artış oranı düşük miktarda devam ederek 60. günde maksimum düzeye (137.00, 186.41 N mL /g OM) ulaşmıştır. Özgül metan üretimi, Karışım-1'de 10.60-137 NmL/gOM, Karışım-2'de 15.24-149.21 NmL/gOM, Karışım-3'te 12.67-157.13 NmL/gOM, Karışım-4'te 16.86-186.41 NmL/gOM, Karışım-5'te ve 14.56-175.32 NmL/gOM olarak belirlenmiştir. En yüksek özgül metan üretimi Karışım-4 de (186.41 NmL/gOM) oluşmuştur. Bunu sırası Karışım-5 (175.32 NmL/gOM), Karışım-3 (175.32 NmL/gOM), Karışım-2 (149.21 NmL/gOM) ve Karışım-1 (137 NmL/gOM) izlemiştir.

Araştırma'da özgül metan üretimini en yüksek Karışım-4'de meydana gelmesinin sebebi ko-fermantasyon sonucu mikrobiyal sinbiyotik ilişki olmasından kaynaklanabilir. Bakterilerin gelişmesi, üremesi için makro ve mikro besin açısından en uygun ortamda gaz üretimi artmaktadır. Kimyasal analiz sonuçlarına göre en fazla C, N, KM, OKM, KOİ giderimi, ADF ve NDF'nin azalması Karışım-4'de meydana gelmiştir. Bakterilerin uygun ortamda besin, element ve lignoselülozikleri kullanarak gaz üretimini ve metan oranını artırabilir. Bundan

kaynaklı olarak besinsel elementlerin en fazla kullandığı en iyi verim Karışım-4'te gerçekleşmiş olabilir.

Oliveria ve ark. (2014), *Gracilaria vermiculophylla* türündeki makroalgleri önışlemlenmiş olarak, ko-fermantasyonu ile metan üretimini 295 NmL/gOM olarak, Korkmaz (2017), makroalglerin metan üretimini 147-167 NmL/gOM, Ekinci ve ark. (2018) ise büyükbaş hayvan gübresi ve aspir karışımından özgül metan üretimini 167-205 NmL/gOM olarak belirlemişlerdir. Bu araştırmada bulunan değerler, Oliveria ve ark. (2014)'den düşük bulunmuş Korkmaz (2017) ve Ekinci ve ark. (2018) ile benzer düzeyde bulunmuştur. Farklılıkların makroalg türü, ko-fermantasyon, ön işlem, materyallerin kimyasal yapısı, hayvanın cinsi ve atığın toplanma yerinden kaynaklanabileceği söylenebilir.



Şekil 4.6. Karışımların %7 kuru madde oranında oluşan özgül metan üretimi

#### 4.3.1.2. Karışımların %9 kuru madde oranında elde edilen biyogaz parametreleri

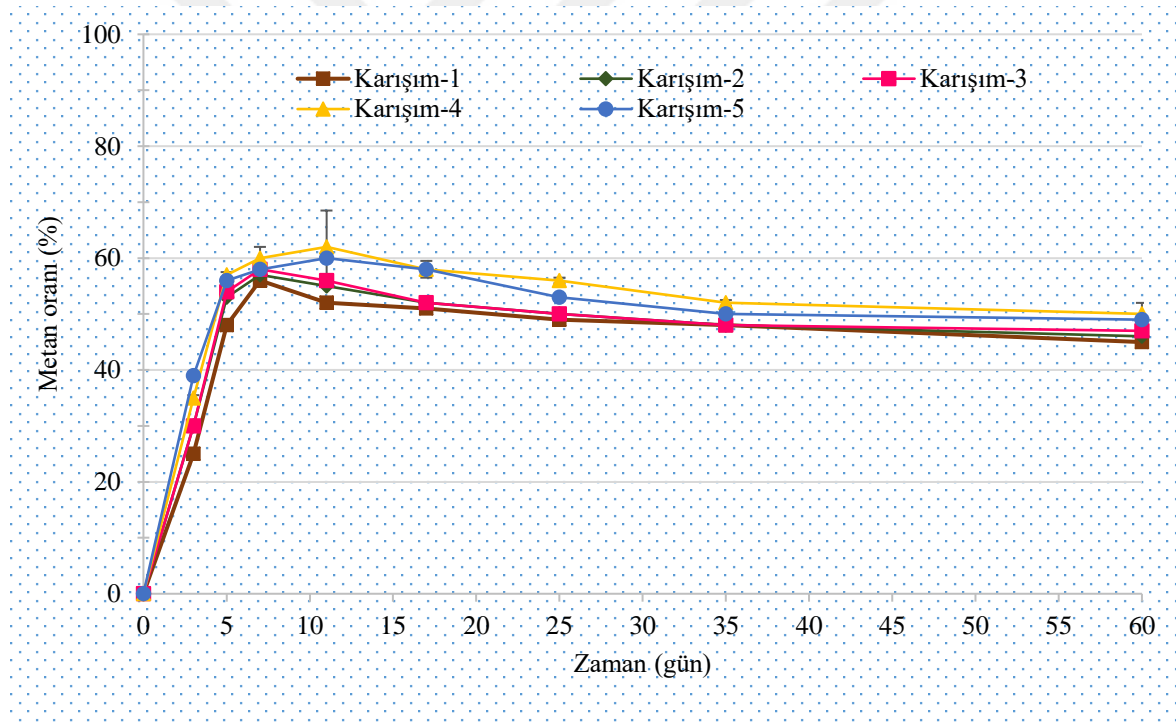
##### Metan oranı

BMP denemeleri ile yapılan tüm karışımların %9 kuru madde oranındaki, 60 gün anaerobik fermentasyon sonunda, metan oranları belirlenmiştir. Tüm karışımlarda metan oranları, %7 kuru madde oranı, tüm karışımların zamana bağlı biyogaz değerleri içerisindeki metan oranı 1-10. günler arasında hızla artarak 13. günde en yüksek düzeye (%50-62)



ulaşmıştır. Karışımların metan oranı 10-60. günler arasında ise çok düşük bir azalmayla %46-50 düzeyine inmiştir. Karışımlar içerisinde en yüksek metan oranı (%62) Karışım-4'te elde edilmiştir. Bunu sırasıyla Karışım-5 (%60), Karışım-3 (%58), Karışım-2 (%57) ve Karışım-1 (%56) izlemiştir (Şekil 4.7).

BMP denemeleri ile yapılan araştırmalarda biyogaz içerisindeki metan oranını; Onursal (2014), büyükbaş hayvan gübresi ve gül işleme atıklarından, %25-75, Montingelli ve ark. (2016), Laminaria spp. türündeki makroalgler için %40-60, Korkmaz (2017), makroalglerden maksimum %55.1, Ekinci ve ark. (2018), aspir ve büyükbaş hayvan gübresi atıklarından maksimum %64, Beily ve ark. (2019), koyun gübresinden %55 olarak belirlemişlerdir. Bu araştırmada, biyogaz içerisinde meydana gelen metan oranlarının yapılan diğer araştırmalarla farklılık göstermesinin nedeni materyallerin kimyasal içeriklerinin, reaktör sıcaklıklarının ve materyal türlerinin farklı olmasından kaynaklanabileceği söylenebilir.



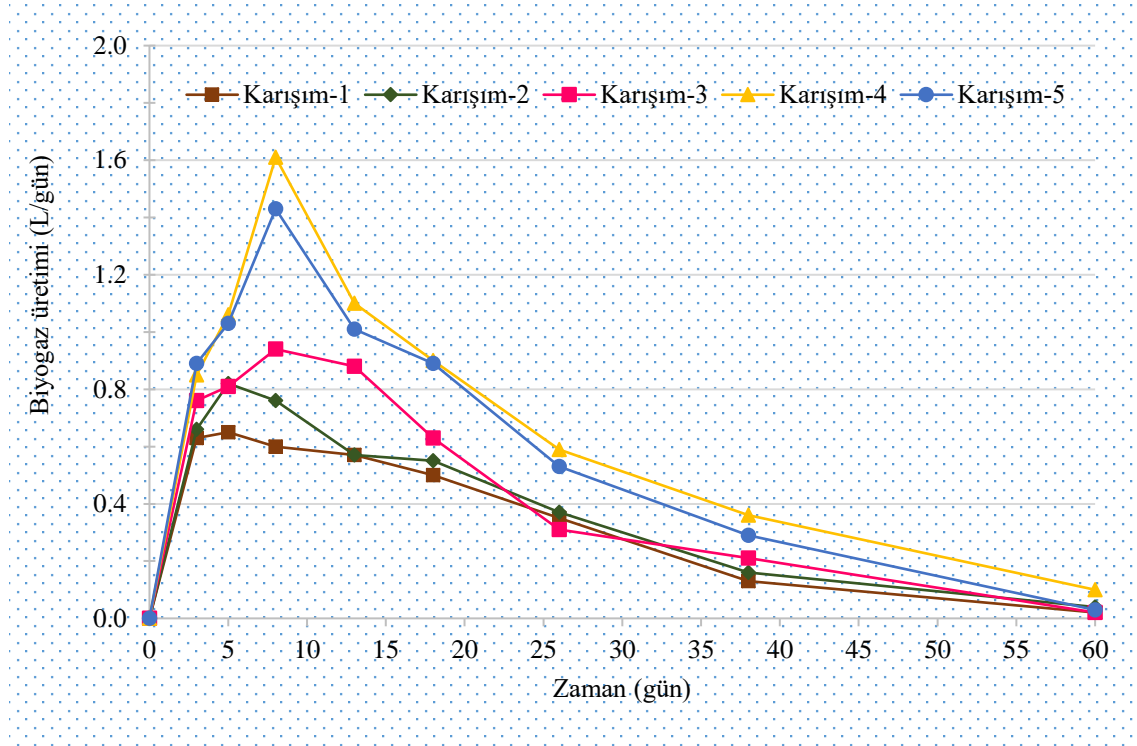
Şekil 4.7. Karışımların %9 kuru madde oranında oluşan metan oranı

### Günlük biyogaz üretimi

BMP denemelerinde, %9 kuru madde oranındaki karışımların günlük biyogaz üretimi Şekil 4.8'de verilmiştir. Tüm karışımlarda, günlük biyogaz üretimi; 1-8. günler arasında hızlı bir artış göstererek, 8. günde maksimum (0.65-1.61 L/kg gün) değerlere ulaşmış, 8-38. günler arasında hızlı bir azalış göstermiş, 38-60. günler arasında ise çok düşük bir azalma göstererek 60. günde düşük düzeye (0.05-0.1 L/kg gün) ulaşmıştır. Günlük maksimum biyogaz üretimi,

Karışım-4'de (1.61 L/gün) oluşmuştur. Bunu sırasıyla Karışım-5 (1.43 L/gün), Karışım-3 (0.94 L/gün), Karışım-2 (0.81 L/gün) ve Karışım-1 (0.65 L/gün) izlemiştir (Şekil 4.8). Aşırı'da ise 1-8. günler arasında hızlı bir artış göstererek, 8. günde maksimum değerlere ulaşmış, 8-13. günler arasında hızlı bir azalış göstermiş, 13-60. günler arasında ise sabitlenmiştir.

BMP denemeleri ile yapılan araştırmalarda günlük biyogaz üretimi; Montingelli ve ark. (2016), Sun ve ark. (2017) makroalglerde 0.6-1.98 L/kg gün, Ekinci ve ark. (2018), büyükbaş hayvan gübresi ve aspirde 1.70 L/kg gün; Ferrentino ve ark. (2019), atık suların 0.6 L/kg gün olarak belirlemişlerdir. Yapılan çalışmada diğer çalışmalardan farklı olmasının nedeni kimyasal içerik ve atık, atık türü, yükleme oranı, karıştırma ve reaktör sıcaklığının farklılığından kaynaklandığı söylenebilir.

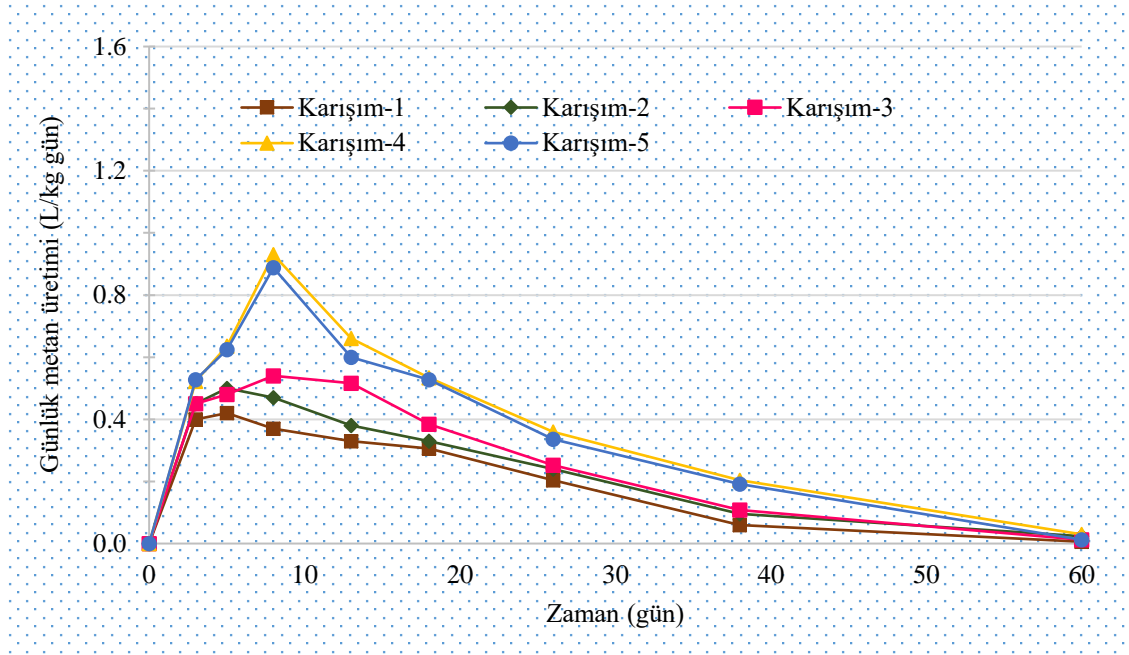


Şekil 4.8. Karışımların %9 kuru madde oranında oluşan günlük biyogaz üretimi

### Günlük metan üretimi

Tüm karışımların, %9 kuru madde oranındaki, BMP denemelerine göre günlük metan üretimi, 1-8. günler arasında hızlı bir artış göstererek 8. günde maksimum düzeye ulaşmış, devamında 38. güne kadar hızlı azalma ve 60. günde en düşük düzeye (0.01-0.06 L/kg OKMgün) ulaşmaktadır. Günlük maksimum CH<sub>4</sub> üretimi, Karışım-4'de (0.94 L/kg OKMgün) oluşmuştur. Bunu sırası ile Karışım-5-3-2-1 izlemiştir (Şekil 4.9).

Farklı materyallerden metan üretimini; Sun ve ark. (2017) makroalglerde 0.3-0.98 L/ kg OKMgün; Ekinci ve ark. (2018), büyükbaş hayvan gübresi ve aspirde 0.95 L/ kg OKMgün; Ferrentino ve ark. (2019), atık sulardan 0.32 L/kg OKMgün olarak saptamışlardır. Yapılan bu araştırmada metan miktarlarının diğer araştırmalarda farklılık göstermesinin nedeni, kimyasal içerik, ön işlem, materyal türleri ve yükleme oranından kaynaklandığı söylenebilir.

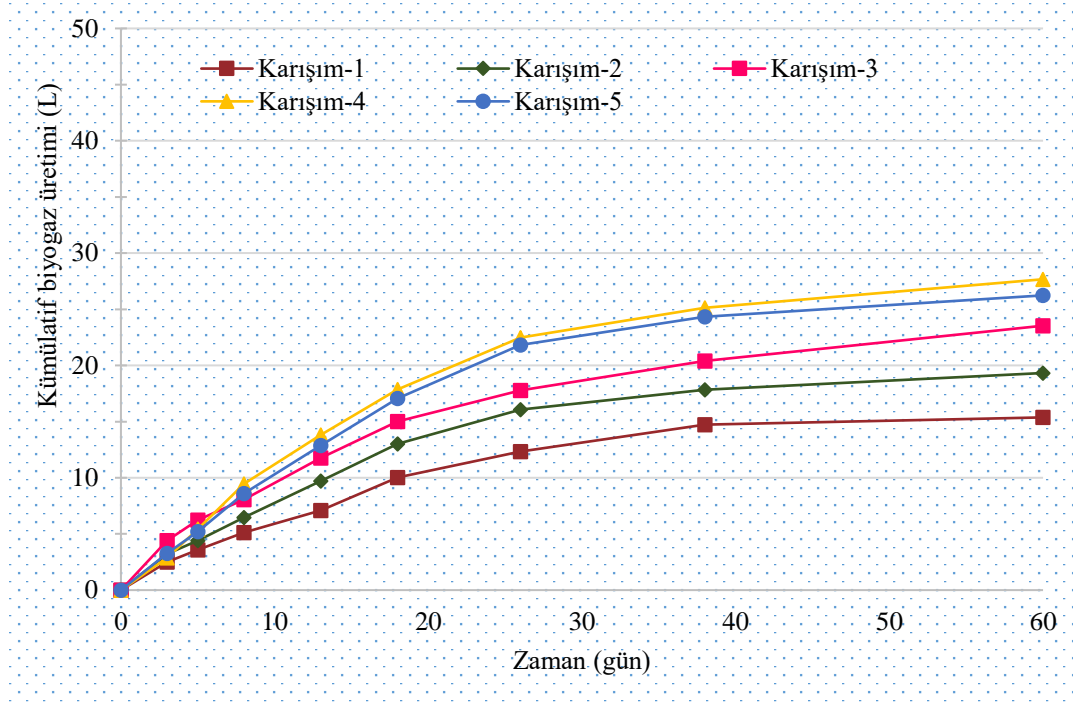


Şekil 4.9. Karışımların %9 kuru madde oranında oluşan günlük metan üretimi

### Kümülatif biyogaz üretimi

BMP denemeleri kullanılarak %9 kuru madde oranı karışımların kümülatif biyogaz üretim değerleri, 60 günlük süre içerisinde belirlenmiştir. Ölçümler; 3, 5, 8, 13, 18, 26, 38 ve 60. günde yapılmıştır. Tüm karışımlarda oluşan kümülatif biyogaz üretimi; 1-26. günlede hızlı, devamında ise küçük miktarlarda artarak 60. günde maksimum değerlere (15.38-28.10 L) ulaşmıştır. Biyogaz üretim miktarları Karışım-1'de 2.5-15.38 L, Karışım-2'de 3.22-19.33 L, Karışım-3'te 4.41-23.54 L, Karışım-4'te 2.87-28.10 L, Karışım-5'te 3.27-27.42 L ve Aşıda 0.46-5.12 L olarak belirlenmiştir. Karışımlar arasında kümülatif biyogaz miktarı en fazla 28.10 L ile Karışım-4'te meydana gelirken en az ise 15.38 L ile Karışım-1'de oluşmuştur (Şekil 4.10).

BMP denemeleri ile yapılan araştırmada; Ekinci ve ark. (2018) büyükbaş hayvan gübresi ve aspir karışımındaki kümülatif biyogaz üretimi 20-28 L olarak bulunmuştur. Bu araştırmada elde edilen kümülatif biyogaz değerinin farklı olmasının nedeni materyallerin kimyasal içerik, kuru madde oranı ve karıştırılmadan kaynaklandığı söylenebilir.

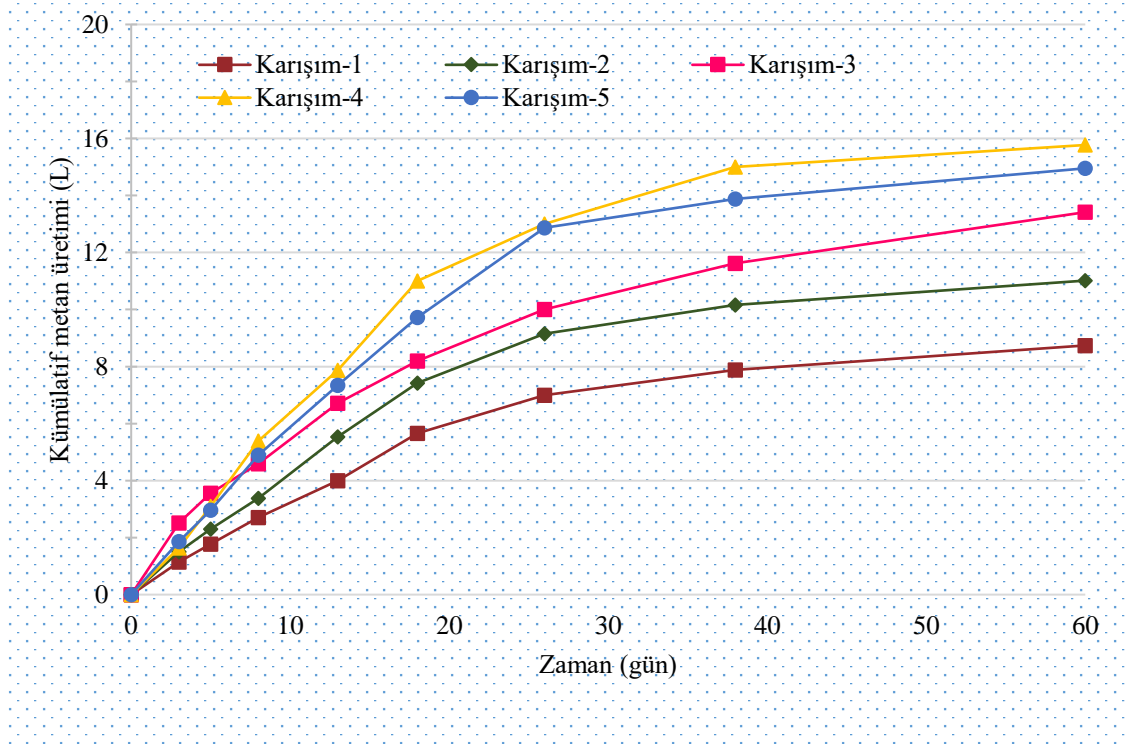


Şekil 4.10. Karışımların %9 kuru madde oranında oluşan kümülatif biyogaz üretimi

#### **Kümülatif metan üretimi**

BMP denemeleri ile yapılan tüm karışımların %9 kuru madde oranındaki, 60 gün anaerobik fermentasyon sonunda, kümülatif metan miktarları belirlenmiştir. Ölçümler; 3, 5, 8, 13, 18, 26, 38 ve 60. günde yapılmıştır. Tüm karışımlarda oluşan kümülatif metan değerleri, biyogaz üretiminde olduğu gibi; 1-26. günlede hızlı, devamında ise küçük miktarlarda artarak 60. günde maksimum (8.74-16.07 L) düzeye ulaşmıştır. Karışımlar arasında kümülatif metan miktarı en fazla 16.07 L ile Karışım-4 de meydana gelirken en az ise 8.74 L ile Karışım-1' de oluşmuştur.

BMP denemeleriyle farklı çalışmalarda; Onursal (2016), büyükbaş hayvan gübresi ve gül işleme atıkları için metan üretimi 9 L; Ekinci ve ark. (2018), büyükbaş hayvan gübresi ve aspir atıkları karışımı için BMP kümülatif metan üretimi 10.68-15.77 L olarak belirlemişlerdir. Bu araştırmada elde edilen kümülatif metan değeri Ekinci ve ark. (2018) ile aynı olurken, Onursal (2016)'dan ise yüksek olmaktadır. Farklılıkların, karışım materyallerin kimyasal içeriklerinden, kuru madde oranından ve türünden kaynaklandığı söylenebilir.



Şekil 4.11. Karışımların %9 kuru madde oranında oluşan kümülatif metan üretimi

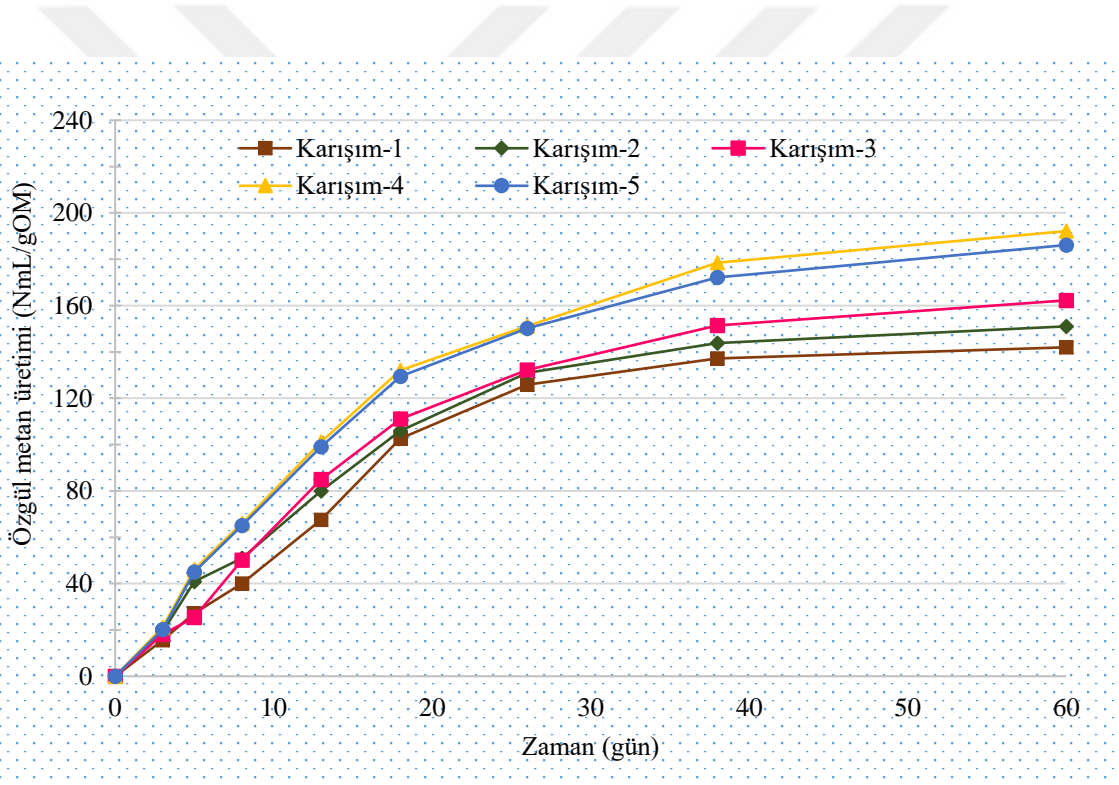
### Özgül metan üretimi

BMP yöntemi kullanılarak, karışımların %9 kuru madde oranındaki, zamana bağlı olarak 3, 5, 8, 13, 18, 26, 38 ve 60. günde, özgül metan üretim (N mL/gOM) değerleri Şekil 4.12’de verilmiştir. Tüm karışımlarda özgül metan üretimi 1-26. günlerde hızlı bir artış, 26-38. günlerde, en yüksek özgül metan üretimi gerçekleştiren Karışım-4 aynı hızda artış gösterirken, diğer karışımlar daha düşük oranlarda artış göstermekte, devamında ise tüm karışımlardaki artış oranı düşük miktarda devam ederek 60. günde maksimum düzeye (142.00-192.15 N mL/g OM) ulaşmıştır. Özgül metan üretimi Karışım-1’de 15.60-142 NmL/gOM, Karışım-2’de 19.25-151.04 NmL/gOM, Karışım-3’te 18.11-162.26 NmL/gOM, Karışım-4’te 21.11-192.15 NmL/gOM, Karışım-5’te ve 20.14-192.15 NmL/gOM olarak belirlenmiştir. En yüksek özgül metan üretimi Karışım-4 de (186.41 NmL/gOM) oluşmuştur. Bunu sırası ile Karışım-5-3-2-1 izlemiştir.

Araştırma’da özgül metan üretimini en yüksek Karışım-4’de meydana gelmesinin sebebi ko-fermantasyon sonucu mikrobiyal sinbiyotik ilişki olmasından kaynaklanabilir. Bakterilerin gelişmesi, üremesi için makro ve mikro besin açısından en uygun ortamda gaz üretimi artmaktadır. Kimyasal analiz sonuçlarına göre en fazla C, C/N, KM, OKM, KOİ giderimi, ADF ve NDF’nin azalması Karışım-4’de meydana gelmiştir. Bakterilerin uygun ortamda besin, element ve lignoselülozikleri kullanarak gaz üretimini ve metan oranını

artırabilir. Bundan kaynaklı olarak besinsel elementlerin en fazla kullandığı en iyi verim Karışım-4'te gerçekleşmiş olabilir.

Oliveria ve ark. (2014), *Gracilaria vermiculophylla* türündeki makroalgleri önışlemlilik olarak, ko-fermantasyonu ile metan üretimini 295 NmL/gOM olarak, Sun ve ark. (2017) makroalglerden metan üretimini 187-215 NmL/gOM olarak, Korkmaz (2017), makroalglerin metan üretimini 147-167 NmL/gOM, Ekinci ve ark. (2018) ise büyükbaş hayvan gübresi ve aspir karışımından özgül metan üretimini 167-205 NmL/gOM olarak belirlemişlerdir. Bu araştırmada bulunan değerler, Oliveria ve ark. (2014)'den düşük bulunmuş Korkmaz (2017) ve Ekinci ve ark. (2018) ile benzer düzeyde bulunmuştur. Farklılıkların makroalg türü, ko fermentasyon, ön işlem, materyallerin kimyasal yapısı, hayvanın cinsi ve atığın toplanma yerinden kaynaklanabileceği söylenebilir.



Şekil 4.12. Karışımların %9 kuru madde oranında oluşan özgül metan üretimi

#### 4.3.2. BMP denemeleri ile elde edilen cüruf parametreleri

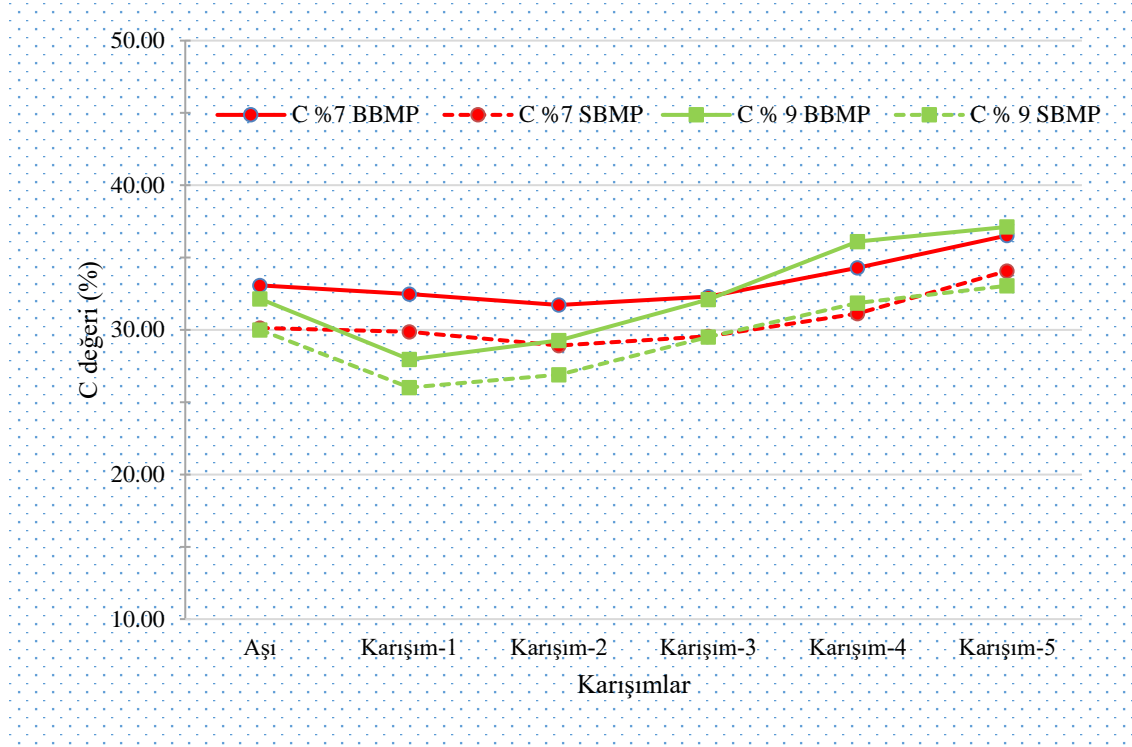
BMP denemelerinde %7 ve %9 kuru madde oranındaki karışım materyallerinin başlangıç (B) ve 60 günlük anaerobik fermentasyon sonucunda (S) oluşan biyogaz cüruf parametrelerinin (C, N, C/N, KM, OKM, pH, EC, KOİ, ADF ve NDF) kimyasal analizleri belirlenmiştir. Elde edilen parametreler aşağıda sırasıyla açıklanmıştır.

## C değeri

BMP denemelerinde tüm karışımların %7 ve %9 kuru madde oranındaki C değeri Şekil 4.13'de verilmiştir. %7 kuru madde oranındaki BMP denemelerinde karışımların C değeri, Karışım-1'de %32.48'den %29.88'e, Karışım-2'de %31.72'den %28.92'e, Karışım-3'te %32.30'dan %29.56'ya, Karışım-4'te %34.29'dan %31.12'e ve Karışım-5'te ise %36.52'den %34.08'e azalma göstermiştir (Şekil 4.13). %7 kuru madde oranındaki tüm karışımların başlangıçtaki C değeri (BC), 60 günlük deney sonucunda (SC) azalmıştır. En yüksek azalma oranı (%3.37) Karışım-4'te oluşmuştur. Diğer karışımlardaki azalma oranı ise 0.95-4.07 arasında değişmiştir.

Karışımların %9 kuru madde oranındaki C değeri ise; Karışım-1'de %27.96'dan %26.01'e, Karışım-2'de %29.26'dan %26.01'e, Karışım-3'te %32.10'dan %29.51'e, Karışım-4'te %36.12'den %31.87'e ve Karışım-5'te %37.12'den %33.05'e azalma göstermiştir (Şekil 4.13). %9 kuru madde oranındaki tüm karışımların başlangıçtaki C değeri (BC), 60 günlük deney sonucunda (SC) azalmıştır. En yüksek azalma oranı (%4.26) Karışım-4'te oluşmuştur. Diğer karışımlardaki azalma oranı ise 2.17-2.90 arasında değişmiştir.

BMP denemeleriyle biyogaz ve metan üretimine yönelik yapılan çalışmalarda; Li ve ark. (2013), tavuk ve mısır karışım mateyallerinin C oranı %38.2'den 32.1'e düşmüştür. Anaerobik fermantasyon sonucu C oranı gerek bu araştırmada gerekse diğer yapılan çalışmada düşmüştür. C oranının düşmesinin nedeni bakterilerin anaerobik fermantasyon sırasında C'yi enerji kaynağı olarak kullanmasından kaynaklanabilir.



Şekil 4.13. BMP denemelerinde oluşan C değeri

### N değeri

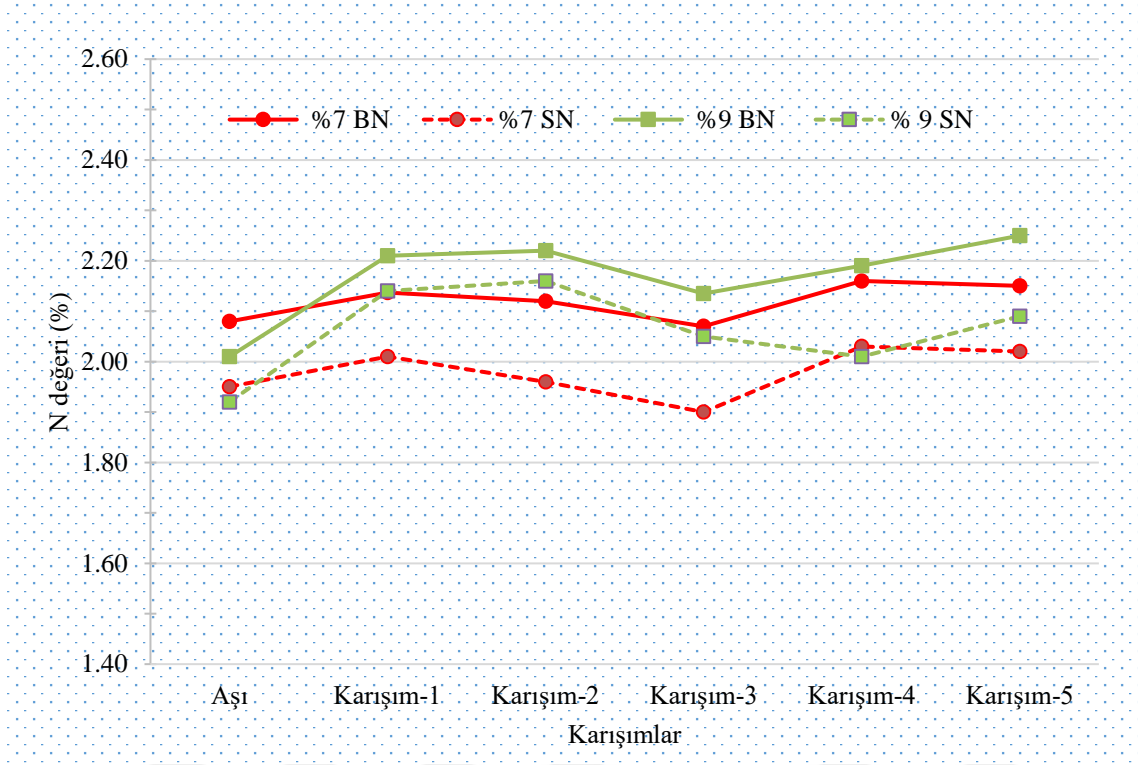
BMP denemelerinde tüm karışımların %7 ve %9 kuru madde oranındaki N değeri Şekil 4.14'de verilmiştir. %7 kuru madde oranındaki BMP denemelerinde karışımların N değeri, Karışım-1'de %2.21'den %2.14'e, Karışım-2'de %2.22'den %2.16'e, Karışım-3'te %2.14'den %2.05'ya, Karışım-4'te %2.19'dan %2.01'e ve Karışım-5'te %2.25'den %2.09'a düşmüştür (Şekil 4.14). %7 kuru madde oranındaki tüm karışımların başlangıçtaki N oranı (BN), 60 günlük deney sonucunda (SN) azalmıştır. En yüksek azalma oranı (%0.18) Karışım-4'te oluşmuştur. Diğer karışımlardaki azalma oranı ise 0.06-0.15 arasında değişmiştir.

Karışımların %9 kuru madde oranındaki N değeri ise; Karışım-1'de %2.08'den %1.95'e, Karışım-2'de %2.14'den %2.01'e, Karışım-3'te %2.12'den %1.96'ya, Karışım-4'te %2.16'dan %2.03'e ve Karışım-5'te %2.15'ten %2.02'a düşmüştür (Şekil 4.13). %9 kuru madde oranındaki tüm karışımların başlangıçtaki N değeri (BN), 60 günlük deney sonucunda (SN) azalmıştır. En yüksek azalma oranı (%0.16) Karışım-3'te oluşmuştur. Diğer karışımlardaki azalma oranı ise 0.12-0.13 arasında değişmiştir.

BMP denemeleriyle biyogaz ve metan üretimine yönelik yapılan çalışmalarda; Li ve ark. (2013), tavuk ve mısır materyal karışımlarının N oranı %4.9'dan %2.8'e Tedosco ve ark., 2013 makroalg ve atık sularla ko fermantasyonunda N oranını %2.6'dan 1.5'e düşüğünü bildirmişlerdir. N oranları yapılan çalışma ile yakın değerlere sahip olduğu görülmüştür. Hem



yapılan bu çalışmada hemde diğer çalışmalarda tüm karışımlarda N oranı düşmüştür. N oranı düşmesinin nedeni bakterilerin anaerobik fermantasyon esnasında azotu anaerobik bakterilerin gelişimi ve üremesi için kullanmasından kaynaklanabilir.



Şekil 4.14. BMP denemelerinde oluşan N değeri

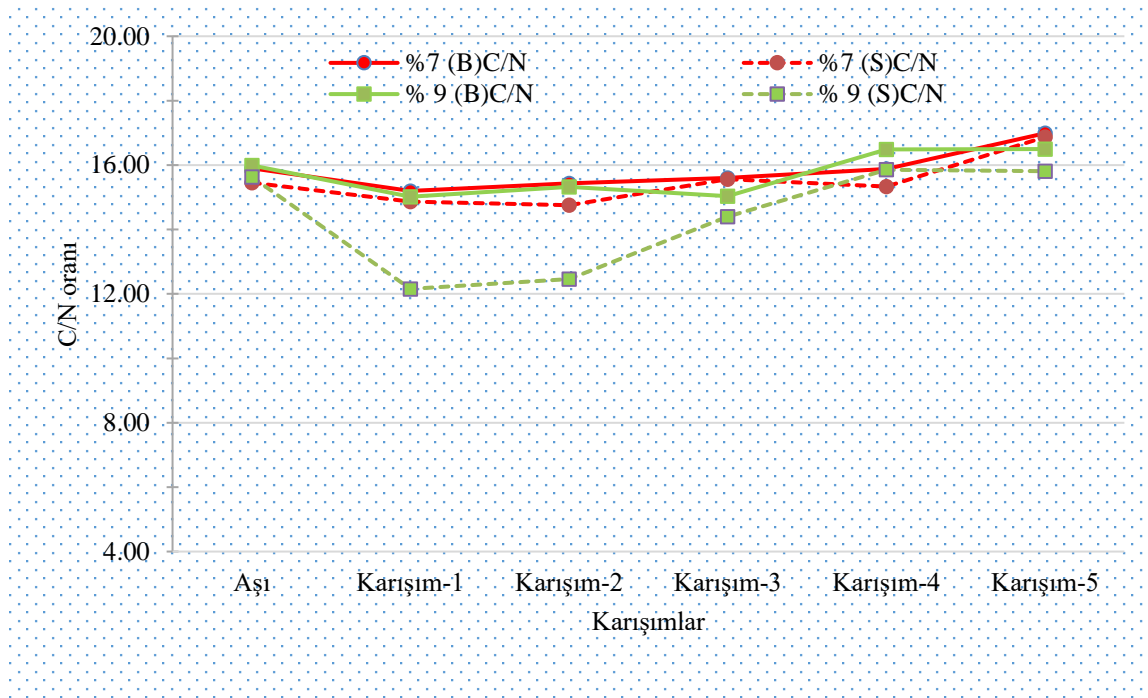
### C/N oranı

BMP denemelerinde tüm karışımların %7 ve %9 kuru madde oranındaki C/N oranı Şekil 4.15’de verilmiştir. %7 kuru madde oranındaki BMP denemelerinde karışımların C/N oranı; Karışım-1’de 15.20:1’den, 14.86:1’e, Karışım-2’de %15.43:1’den %14.75:1’e, Karışım-3’te 15.60:1’den %15.56:1’e, Karışım-4’te 15.86:1’den 15.33:1’e ve Karışım-5’te 16.99:1’den 16.87:1’e düşmüştür (Şekil 4.15).%7 kuru madde oranındaki tüm karışımların başlangıçtaki C/N oranı (B(C/N)), 60 günlük deney sonucunda (S(C/N)) azalmıştır. En yüksek azalma oranı (0.68:1) Karışım-2’te oluşmuştur. Bunu sırasıyla Karışım-4(0.53:1), Karışım-1(0.34:1) ve Karışım-3-5(0.04:1) izlemiştir.

Karışımların %9 kuru madde oranındaki C/N oranı ise; Karışım-1’de 15.02:1’den 12.16:1’ya, Karışım-2’de 15.32:1’den 14.75:1’e, Karışım-3’te 15.03:1’den 14.39:1’e, Karışım-4’te 16.49:1’den 15.86:1’e ve Karışım-5’te 16.50:1’den 15.81:1’e düşmüştür (Şekil 4.15). %9 kuru madde oranındaki tüm karışımların başlangıçtaki C/N oranı (B(C/N)), 60 günlük deney

(S(C/N)) azalmıştır. En yüksek azalma oranı (2.86:1) Karışım-1'de oluşmuştur. Diğer karışımlardaki azalma oranı ise 0.57:1-0.69:1 arasında değişmiştir.

C/N oranının; 8:1 seviyesinden daha düşük seviyeye hareket etmesi durumunda anaerobik fermantasyona olumsuz bir etki görülmekte, 15:1 ile 30:1 seviyesi olmasının durumunda anaerobik fermentasyon için en ideal ortamları oluşturmaktadır (Werner ve ark., 1989). Yapılan çalışmada C/N oranı en ideal ortamlar arasında olmuştur. Başlangıç C/N değerlerinin anaerobik fermantasyona sonrası değerlerden farklı olmasının nedeni bakteriler kimyasal fonksiyonları için C'yi enerji kaynağı olarak kullanması, N'yi de hücrel fonksiyonların onarımı için kullanmasından kaynaklanabilir.



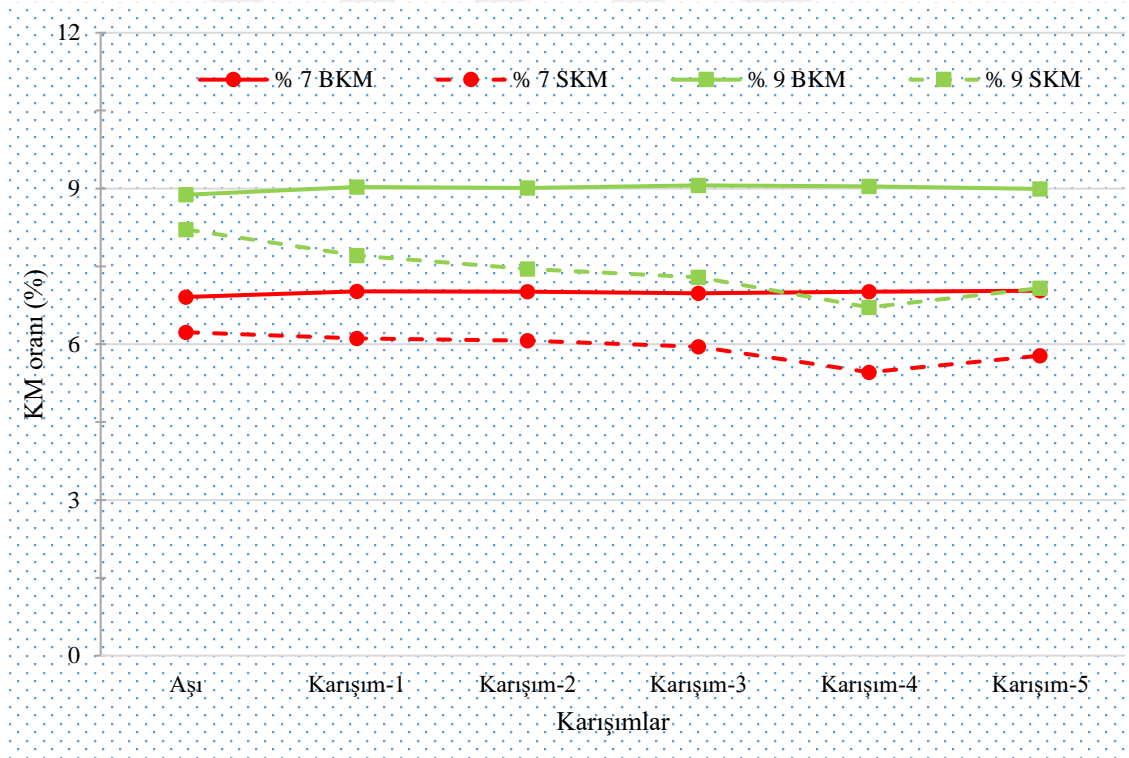
Şekil 4.15. BMP denemelerinde oluşan C/N oranı

### KM oranı

BMP denemelerinde tüm karışımların %7 ve %9 kuru madde oranındaki, kuru madde oranları (KM) Şekil 4.16'da verilmiştir. Karışımların %7 %7 kuru madde oranındaki BMP denemelerinde karışımların KM oranları; Karışım-1'de %6.91'den %6.23'e, Karışım-2'de %7.02'den %6.11'e, Karışım-3'te %6.98'den %5.95'e, Karışım-4'te %7.01'den %5.46'a ve Karışım-5'te %7.03'den %5.78'e azalma göstermiştir (Şekil 4.16). %7 kuru madde oranındaki tüm karışımların başlangıçtaki KM oranları (BKM), 60 günlük deney sonucunda (SKM) azalmıştır. En yüksek azalma oranı (%1.55) Karışım-4'te oluşmuştur. Diğer karışımlardaki azalma oranı ise %0.68-1.25 arasında değişmiştir.

Karışımların %9 kuru madde oranı KM oranları ise; Karışım-1'de %8.88'den %7.71'e, Karışım-2'de %9.03'den %7.71'e, Karışım-3'te %9.01'den %7.45'e, Karışım-4'te %9.06'den %6.71'e ve Karışım-5'te %8.99'den %7.08'e düşmüştür (Şekil 4.16). %9 kuru madde oranındaki tüm karışımların başlangıçtaki KM oranları (BKM), 60 günlük deney sonucunda (SKM) azalmıştır. En yüksek azalma oranı (%2.35) Karışım-4'te oluşmuştur. Bunu sırası ile Karışım-5 (%1.91), Karışım-3 (%1.56), Karışım-2 (%1.32) ve Karışım-1 (%1.17) izlemiştir.

BMP denemeleriyle biyogaz ve metan üretimine yönelik yapılan çalışmalarda; Ayhan (2013), büyükbaş hayvan gübresi ve mısır silajı karışımlarındaki kuru madde oranları %6'dan %3.92'ye, Ekinci ve ark. (2018) büyükbaş hayvan gübresi ve aspir karışımların kuru madde oranları %7.36'dan 5.79'a düştüğü bildirilmiştir. Gerek yapılan bu araştırma ve gerekse diğer araştırmalarda karışım materyallerinin kuru madde oranlarının düşmesinin nedeni bakterilerin biyogaz ve metan üretiminde materyalleri besin ve enerji kaynağı olarak kullanmasından kaynaklanabilir.



Şekil 4.16. BMP denemelerinde oluşan KM oranı

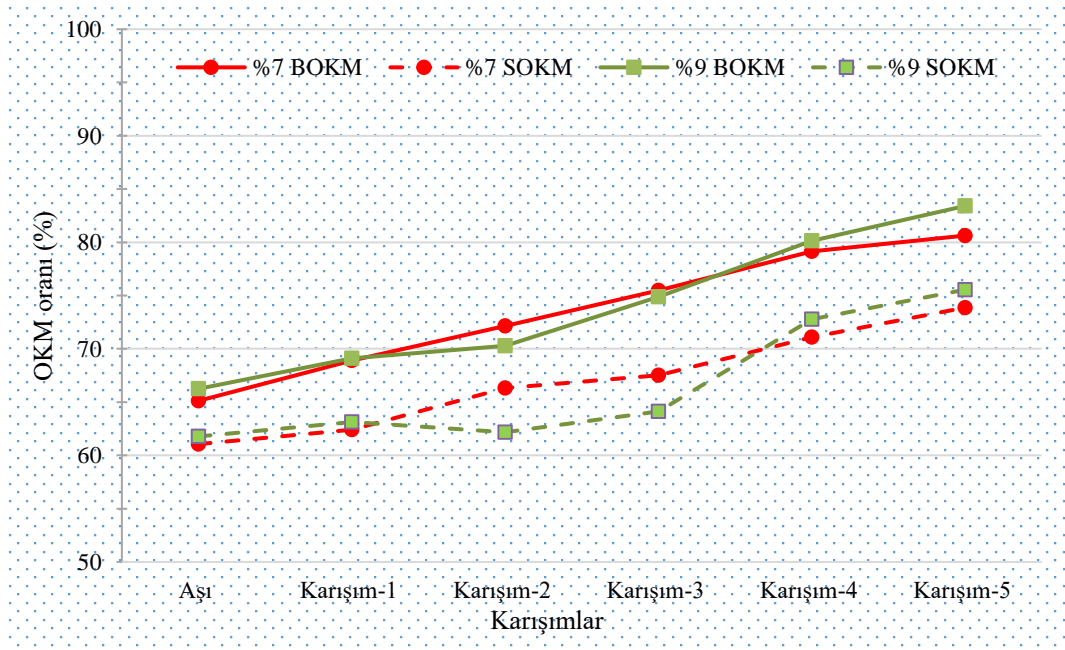
### OKM oranı

BMP denemelerinde tüm karışımların %7 ve %9 kuru madde oranında organik kuru madde oranları (OKM) Şekil 4.17'de verilmiştir. %7 kuru madde oranındaki BMP denemelerinde karışımların OKM oranları, Karışım-1'de %69.12'den %63.14'e, Karışım-2'de

70.25'ten %62.16'a, Karışım-3'te %74.88'den %64.12'e, Karışım-4'te %80.14'den %72.79'a ve Karışım-5'te %83.41'den %75.55'e düştüğü gözlemlenmiştir %7 kuru madde oranındaki tüm karışımların başlangıçtaki organik kuru madde oranları (BOKM), 60 günlük deney sonucunda (SOKM) azalmıştır. En yüksek azalma oranı (%10.76) Karışım-3'te oluşmuştur. Diğer karışımlardaki azalma oranı ise %5.98-8.09 arasında değişmiştir.

Karışımların %9 kuru madde oranında OKM oranları ise Karışım-1'de %68.9'dan %62.4'e, Karışım-2'de 72.15'ten %66.31'e, Karışım-3'te %72.15'ten %66.31'e, Karışım-4'te %79.14'ten %71.11'e ve Karışım-5'te %80.63'ten %73.87'e düştüğü gözlemlenmiştir. (Şekil 4.17). %9 kuru madde oranındaki tüm karışımların başlangıçtaki organik kuru madde oranları (BOKM), 60 günlük deney sonucunda (SOKM) azalmıştır. En yüksek azalma oranı (%8.03) Karışım-4'te oluşmuştur. Diğer karışımlardaki azalma oranı ise 5.84-6.76 arasında değişmiştir. Karışımların kuru madde oranı %9 olan OKM oranları kuru madde oranı %7'ye göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir

BMP denemeleriyle biyogaz ve metan üretimine yönelik yapılan çalışmalarda; Ayhan (2013), büyükbaş hayvan gübresi ve mısır silajı karışımlarındaki organik kuru madde oranları %86.48'den %69.58'ye, Ekinci ve ark. (2018) büyükbaş hayvan gübresi ve aspir karışımların organik kuru madde oranları %83.97'den 75.79'a düştüğü belirtilmiştir. Hem yapılan bu araştırma ve hem diğer araştırmalarda karışım materyallerinin organik kuru madde oranlarının düşmesinin nedeni bakterilerin biyogaz ve metan üretiminde materyallerin şeker, yağ, protein ve diğer organik maddelerini yaşam koşulları ve besin amaçlı kullanmasından kaynaklanabilir.



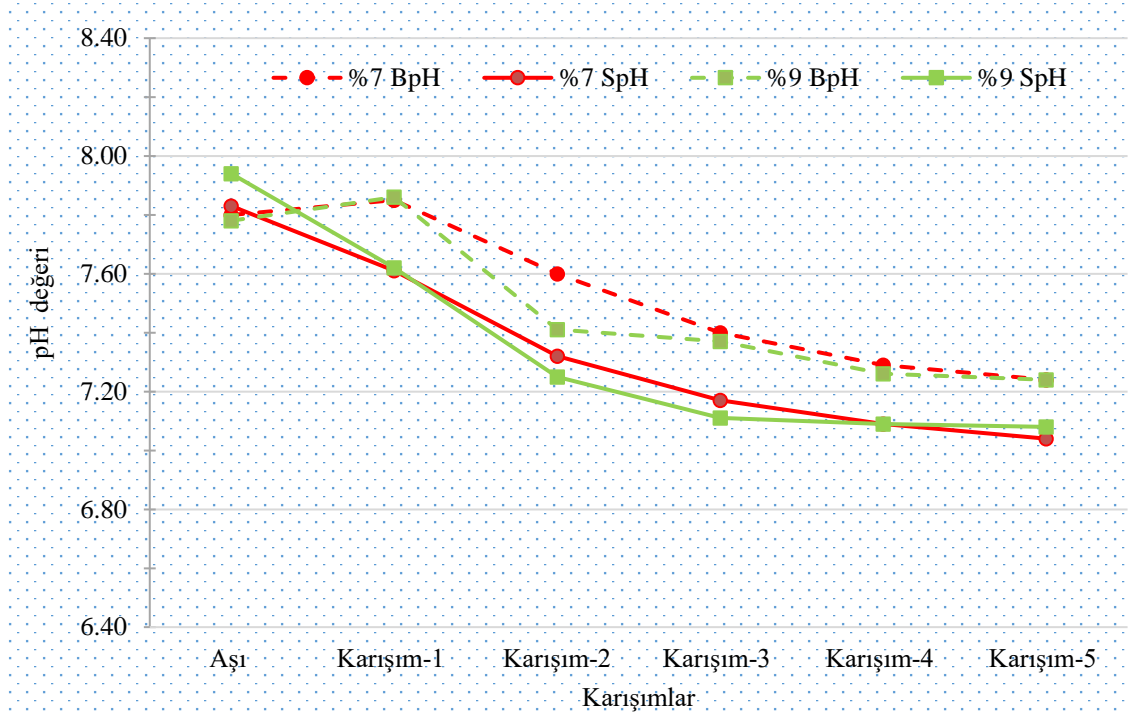
Şekil 4.17. BMP denemelerinde oluşan OKM oranı

## pH değeri

BMP denemelerinde tüm karışımların %7 ve %9 kuru madde oranındaki pH değeri Şekil 4.18'de verilmiştir. %7 kuru madde oranındaki BMP denemelerinde pH değeri, Karışım-1'de 7.85'ten 7.61'e, Karışım-2'de 7.60'tan 7.32'ye, Karışım-3'te 7.40'tan 7.17'e, Karışım-4'te 7.29'dan 7.09'a ve Karışım-5'te 7.24'den 7.04'e düşmüştür (Şekil 4.18). %7 kuru madde oranındaki tüm karışımların başlangıçtaki pH değeri (BpH), 60 günlük deney sonucunda (SpH) azalmıştır. En yüksek azalma oranı (0.28) Karışım-2'te oluşmuştur. Diğer karışımlardaki azalma oranı ise 0.20-0.24 arasında değişmiştir.

Karışımların %9 kuru madde oranındaki pH değeri ise; Karışım-1'de 7.86'den 7.62'e, Karışım-2'de 7.41'den 7.25'e, Karışım-3'te 7.37'den 7.11'e, Karışım-4'te 7.26'dan 7.09'e ve Karışım-5'te 7.24'ten 7.08'e düşmüştür (Şekil 4.18). %9 kuru madde oranındaki tüm karışımların başlangıçtaki pH değeri (BpH), 60 günlük deney sonucunda (SpH) azalmıştır. En yüksek azalma oranı (0.26) Karışım-3'te oluşmuştur. Bunu sırası ile Karışım-2-5 (0.16), Karışım-4 (0.17) ve Karışım-1 (0.24) izlemiştir. Aşıda meydana gelen pH değeri başlangıçta 7.87 iken araştırma sonunda 7.83 olarak belirlenmiştir.

BMP denemeleriyle biyogaz ve metan üretimine yönelik yapılan çalışmalarda; Ayhan (2013), büyükbaş hayvan gübresi ve mısır silajı karışımlarındaki pH değeri 7.8'den 7'ye, Ekinci ve ark. (2018) büyükbaş hayvan gübresi ve aspir karışımların pH değeri 7.7'den 7'e, Sun ve ark. (2017) makroalglerdeki pH değeri 8.3'den 7'e düştüğü bildirilmiştir. Ayrıca Rittmann 2011'e göre dengeye ulaşmış biyogaz tesislerinde en ideal pH değeri 7-8.5 aralığı olduğu söylenmiştir. Yapılan bu çalışmada pH değerleri ideal aralıkta olduğu görülmektedir. Hem yapılan bu araştırma ve hem diğer araştırmalarda karışım materyallerinin pH değerinin düşmesinin nedeni metan ve biyogaz üretiminde anaerobik bozunma esnasında asitleşme olmasından kaynaklanabilir.



Şekil 4.18. BMP denemelerinde oluşan pH değeri

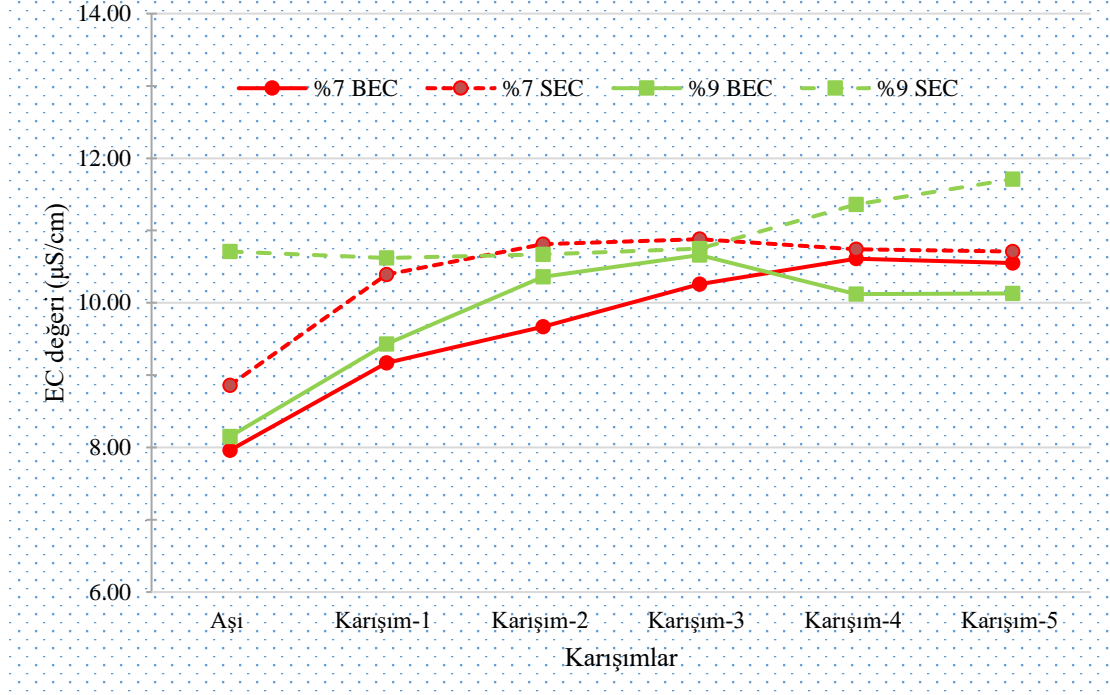
### EC değeri

BMP denemelerinde tüm karışımların %7 ve %9 kuru madde oranındaki, EC değeri Şekil 4.19’da verilmiştir. %7 kuru madde oranındaki BMP denemelerinde EC değeri, Karışım-1’de %9.17  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ’den %10.39’a, Karışım-2’de %9.67  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ’den %10.81’e, Karışım-3’te %10.26  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ’den %10.88  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ’e, Karışım-4’te %10.61  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ’den %10.74  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ’e ve Karışım-5’te %10.55  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ’ten %10.71  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ’e yükselmiştir (Şekil 4.19). %7 kuru madde oranındaki tüm karışımların başlangıçtaki EC değeri (BEC), 60 günlük deney sonucunda (SEC) artmaktadır. En yüksek artma oranı (%1.22) Karışım-1’de oluşmuştur. Diğer karışımlardaki artma oranı ise %0.15-1.14 arasında değişmiştir.

Karışımların %9 kuru madde oranındaki pH değeri ise; Karışım-1’de %8.15  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ’den %10.71  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ’e, Karışım-2’de %9.43  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ’ten %10.62  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ’e, Karışım-3’te %10.42  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ’den %10.67  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ’e, Karışım-4’te %10.12  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ’den %11.36  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ’a ve Karışım-5’te %10.13  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ’den %11.71  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ’e çıkmıştır (Şeki 4.16). %9 kuru madde oranındaki tüm karışımların başlangıçtaki EC değeri (BEC), 60 günlük deney sonucunda (SEC) artmaktadır. En yüksek artma oranı (%2.56) Karışım-1’de oluşmuştur. Diğer karışımlardaki bunu sırası ile Karışım-5 (%1.58), Karışım-4 (%1.24), Karışım-2 (%1.19) ve Karışım-3 (%0.25) izlemiştir.

BMP denemeleriyle biyogaz ve metan üretimine yönelik yapılan çalışmalarda; Tedosco ve ark. (2013) makroalg ve atıksu karışımlarının EC değeri 10.11  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ’den 12.1  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ’e

Ekinci ve ark. (2018) büyükbaş hayvan gübresi ve aspir karışımların EC değeri 10.13  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'den 11.71  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'e yükseldiğini bulmuşlardır. Gerek bu çalışmada gerekse diğer çalışmalarda EC değeri yükselmiştir. EC değerinde artma olmasının nedeni kuru madde oranlarının düşmesi ve bakterilerin besin olarak biyogaz cürufunu kullanarak kuru madde oranının azalmasından kaynaklanabilir.



Şekil 4.19. BMP denemelerinde oluşan EC değeri

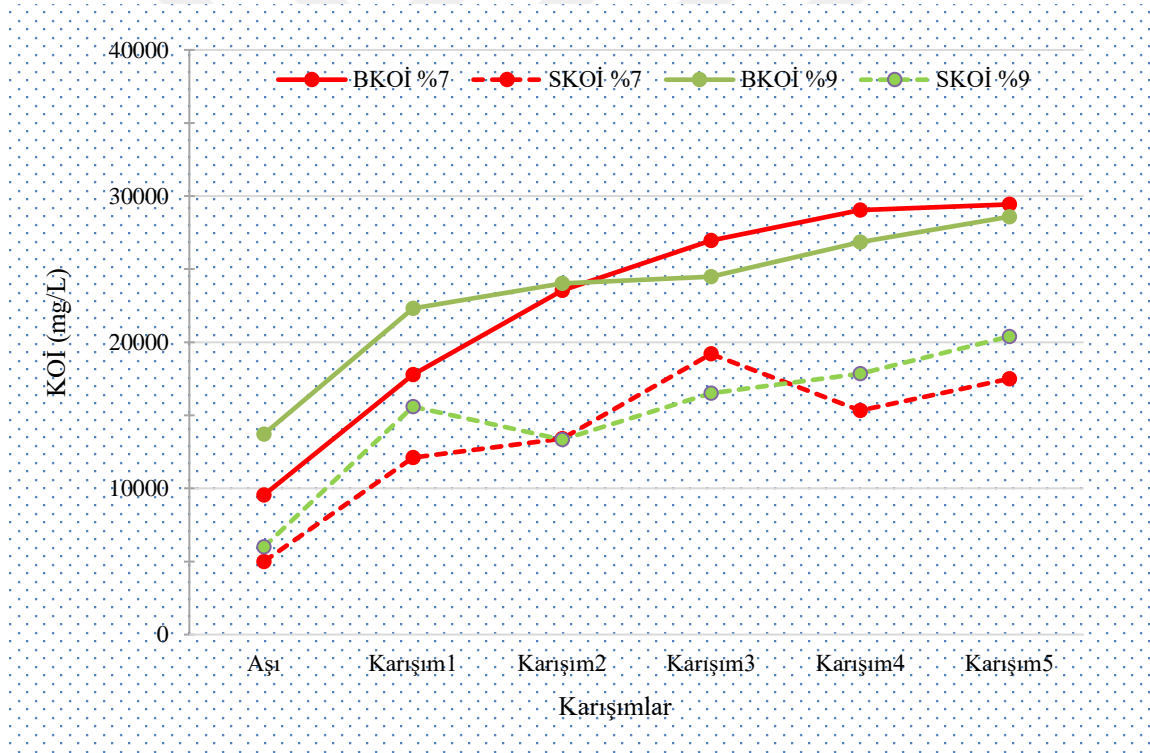
## KOİ

BMP denemelerinde tüm karışımların %7 ve %9 kuru madde oranındaki, kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) değerleri Şekil 4.20'de verilmiştir. %7 kuru madde oranındaki BMP denemelerinde KOİ değeri, Karışım-1'de 17.791 mg/L'den 12.121 mg/L'e, Karışım-2'de 23.549 mg/L'den 13.410 mg/L'e, Karışım-3'te 26.958 mg/L'den 19.197 mg/L'e, Karışım-4'te 29.046 mg/L'den 15.331 mg/L'e ve Karışım-5'te 29.430 mg/L'den 17.499 mg/L'e düşmüştür (Şekil 4.20). %7 kuru madde oranındaki tüm karışımların başlangıçtaki KOİ değeri (BKOİ), 60 günlük deney sonucunda (SKOİ) azalmıştır. En yüksek azalma oranı 13.715 mg/L Karışım-4'te oluşmuştur. Diğer karışımlardaki azalma oranı ise 5.670-11.931 mg/L arasında değişmiştir.

Karışımların %9 kuru madde oranındaki KOİ değeri ise; Karışım-1'de 22.316 mg/L'den 15.590 mg/L'e, Karışım-2'de 24.026 mg/L'den 13.334 mg/L'e, Karışım-3'te 24.489 mg/L'den 16.513 mg/L'e, Karışım-4'te 26.844 mg/L'den 17.842 mg/L'e ve Karışım-5'te 28.588 mg/L'den 20.391 mg/L'e azalmıştır (Şekil 4.20). %9 kuru madde oranındaki tüm karışımların

başlangıçtaki KOİ değeri (BKOİ), 60 günlük deney sonucunda (SKOİ) azalmıştır. En yüksek azalma oranı (10 139 mg/L) Karışım-2’te oluşmuştur. Bunu sırası ile Karışım-4 (9 002 mg/L), Karışım-5 (8 197 mg/L), Karışım-3 (7 976 mg/L) ve Karışım-1 (6 724 mg/L) izlemiştir. Aşı’da KOİ değeri 13.713 mg/L’den 5.989 mg/L’e düşmüştür.

BMP denemeleriyle biyogaz ve metan üretimine yönelik yapılan çalışmalarda; Wang ve ark. (2010) büyükbaş hayvan gübresi ve mikro alg atık karışımlarının başlangıç KOİ’si 38.8230 mg/L iken anaerobik fermantasyon sonucu KOİ değeri 23.760 mg/L’ye, Dede ve ark. (2018) büyükbaş hayvan gübresi başlangıç KOİ değeri 7949 mg/L iken deney sonrası 4516 mg/L’e, Beily (2019), koyun atıklarının KOİ değeri 15450 mg/L’den 9710 mg/L’e düştüğü bildirilmiştir. Hem yapılan bu araştırmada hem diğer tüm araştırmalarda KOİ değeri düşmüştür. KOİ değerlerinin düşme nedeni anaerobik fermantasyon sonucu karbonlu organik maddelerin karbondioksit ve suya dönüşmesinden kaynaklanabilir.



Şekil 4.20. BMP denemelerinde oluşan KOİ değeri

### ADF değeri

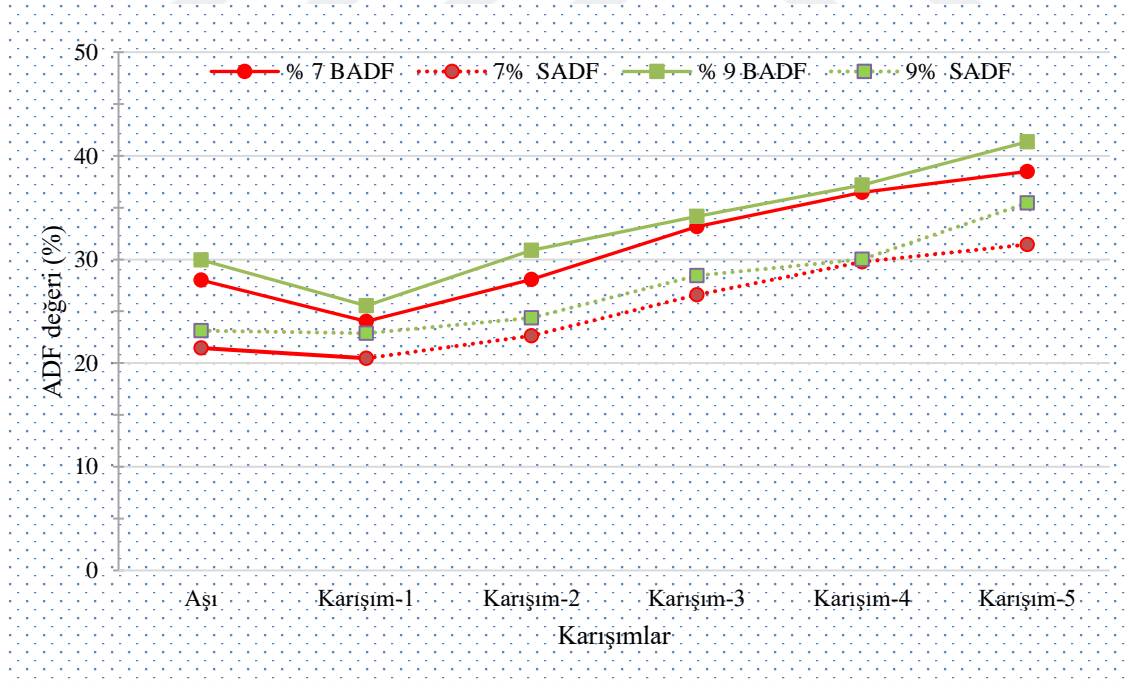
BMP denemelerinde tüm karışımların %7 ve %9 kuru madde oranındaki ADF değerleri Şekil 4.21’de verilmiştir. %7 kuru madde oranındaki BMP denemelerinde karışımların ADF değeri, Karışım-1’de %24.03’den %20.47, Karışım-2’de %28.07’den %22.63’e, Karışım-3’te %33.16’den %26.58’e, Karışım-4’te %36.47’den %29.77’e ve Karışım-5’te %38.49’den



%31.44'e düştüğü belirlenmiştir (Şekil 4.21). %7 kuru madde oranındaki tüm karışımların başlangıçtaki ADF değeri (BADF), 60 günlük deney sonucunda (SADF) azalmıştır. En yüksek azalma oranı (%7.05) Karışım-5'te oluşmuştur. Diğer karışımlardaki azalma oranı ise %2.56-6.70 arasında değişmiştir.

%9 BMP test ünitesinde karışımların ADF değeri, Karışım-1'de %25.54'den %22.88'e, Karışım-2'de %30.87'den %24.36'e, Karışım-3'te %34.16'den %28.45'e, Karışım-4'te %37.17'den %30.03'e ve Karışım-5'te %41.35'den %35.44'e düştüğü belirlenmiştir (Şekil 4.21). %9 kuru madde oranındaki tüm karışımların başlangıçtaki ADF değeri (BADF), 60 günlük deney sonucunda (SADF) azalmıştır. En yüksek azalma oranı (%7.14) Karışım-4'te oluşmuştur. Diğer karışımlardaki azalma oranı ise %2.66-6.51 arasında değişmiştir.

BMP denemeleriyle biyogaz ve metan üretimine yönelik yapılan çalışmalarda; Tedesco ve ark. (2013) makroalglerin ADF değerlerini %15.1-46.6 arasında, Ayhan (2013) büyükbaş hayvan gübresi ve mısır silajının ADF değerlerini %38.74 olarak belirlemiştir. Yapılan bu çalışma diğer çalışmalarla karşılaştırıldığında ADF değerleri arasında farklılıkların olduğu görülmüştür. Bu farklılıkların olmasının nedeni materyallerdeki selüloz, hemiselüloz ve lignin oranının farklı olmasından kaynaklanabilir.



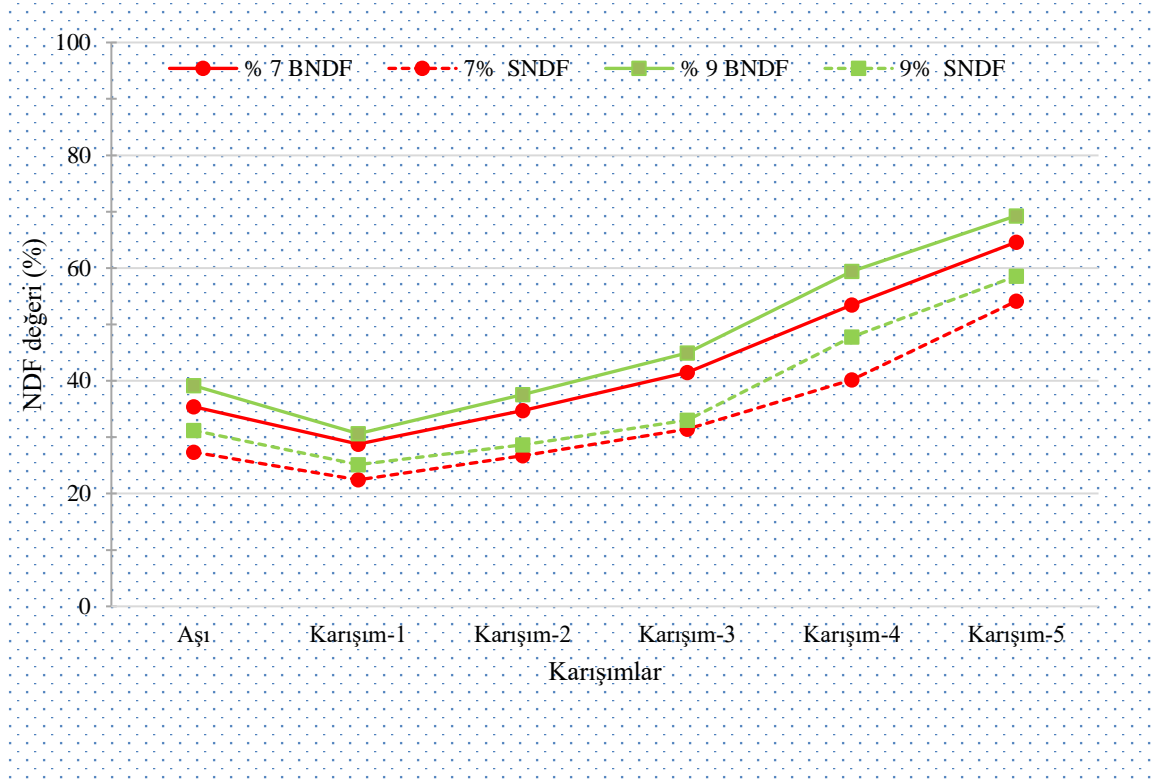
Şekil 4.21. BMP denemelerinde oluşan ADF değeri

## NDF değeri

BMP denemelerinde tüm karışımların %7 ve %9 kuru madde oranındaki NDF değerleri Şekil 4.21’de verilmiştir. %7 kuru madde oranındaki BMP denemelerinde karışımların NDF değeri, Karışım-1’de %28.78’den %22.44, Karışım-2’de %34.71’den %26.74’e, Karışım-3’te %41.46’den %31.45’e, Karışım-4’te %59.43’den %40.16’e ve Karışım-5’te %69.27’den %54.12’e düştüğü belirlenmiştir (Şekil 4.21). %7 kuru madde oranındaki tüm karışımların başlangıçtaki NDF değeri (BNDF), 60 günlük deney sonucunda (SNDF) azalmıştır. En yüksek azalma oranı (%13.28) Karışım-4’te oluşmuştur. Diğer karışımlardaki azalma oranı ise %6.34-10.47 arasında değişmiştir.

%9 BMP test ünitesinde karışımların NDF değeri, Karışım-1’de %30.63’den %25.14’e, Karışım-2’de %37.55’den %28.65’e, Karışım-3’te %44.96’den %33.01’e, Karışım-4’te %59.43’den %47.79’e ve Karışım-5’te %69.27’den %58.56’e düştüğü belirlenmiştir (Şekil 4.21). %9 kuru madde oranındaki tüm karışımların başlangıçtaki NDF değeri (BNDF), 60 günlük deney sonucunda (SNDF) azalmıştır. En yüksek azalma oranı (%11.64) Karışım-4’te oluşmuştur. Diğer karışımlardaki azalma oranı ise %5.49-10.95 arasında değişmiştir.

BMP denemeleriyle biyogaz ve metan üretimine yönelik yapılan çalışmalarda; Tedesco ve ark. (2013) makroalglerin NDF değerlerini %%25.7-53.6 arasında, Ayhan (2013) büyükbaş hayvan gübresi ve mısır silajının NDF değerlerini %61.26 olarak belirlemiştir. Yapılan bu çalışma diğer çalışmalarla karşılaştırıldığında NDF değerleri arasında farklılıkların olmasının nedeni materyallerdeki selüloz, hemiselüloz ve lignin oranının farklı olmasından kaynaklanabilir.



Şekil 4.22. BMP denemelerinde oluşan NDF değeri

#### 4.4.CSTR denemeleri ile elde edilen parametrelerin değerlendirilmesi

##### 4.4.1. CSTR denemeleri ile elde edilen biyogaz parametreleri

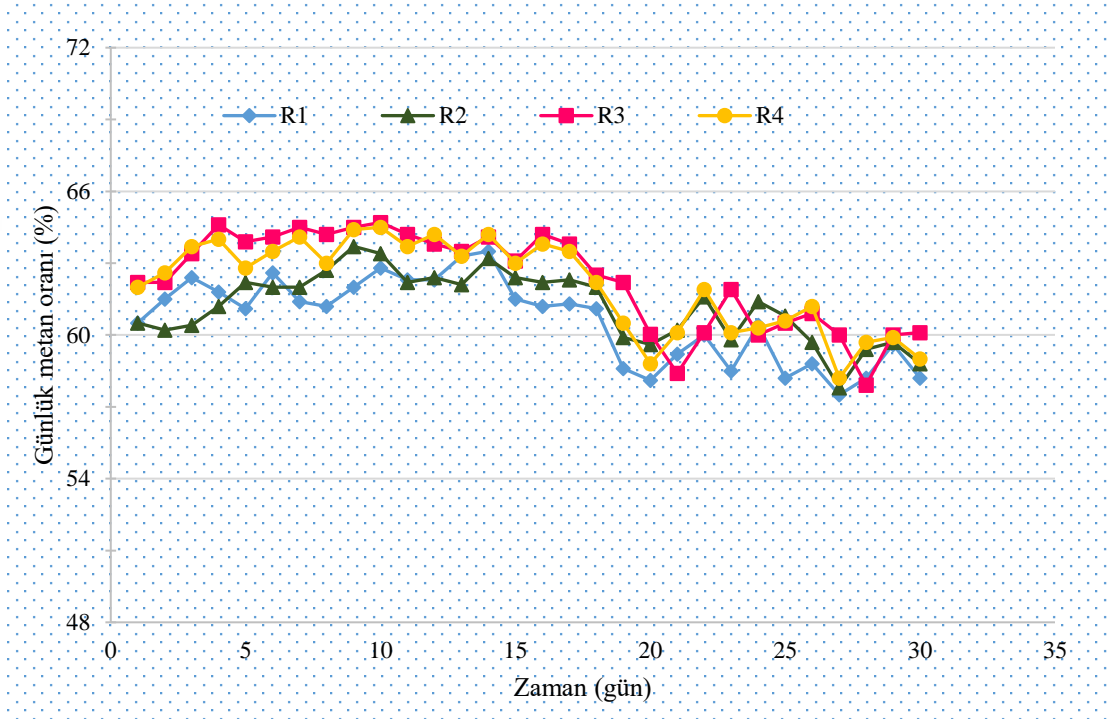
CSTR test ünitesinde %7 (R1, R2) ve %9 (R3, R4) kuru madde oranında 30 gün süre boyunca günlük 2 kg OM/reaktör gün' lük yükleme ile yapılan deneme sonucunda; günlük metan oranı, günlük biyogaz üretimi, günlük metan üretimi, kümülatif biyogaz üretimi, kümülatif metan üretimi ve karbondioksit (CO<sub>2</sub>) üretimi belirlenmiştir. Bulunan bu değerler aşağıda sırasıyla açıklanmıştır.

##### Günlük metan oranı

CSTR denemelerinde R1, R2, R3 ve R4 reaktörlerde oluşan günlük metan oranı (%) Şekil 4.23'de verilmiştir. R1, R2, R3 ve R4 reaktörlerinde 1-18. günler arasında artış göstermekte, 18-30. günlerde ise azalma olmuştur (Şekil 4.23). Metan oranları; R1 reaktöründe %57.5-63.5, R2 reaktöründe %57.8-63.4, R3 reaktöründe %57.9-63.8 ve R4 reaktöründe ise %58.2-64.5 olarak meydana gelmiştir. Maksimum metan oranı R4 (%64.5) reaktöründe gerçekleşmiştir. Bunu sırası ile R3 (%63.8), R1 (%63.5) ve R2 (%63.4) izlemiştir. R3 ve R4

reaktörlerinde oluşan günlük metan oranı R1 ve R2 reaktöründe oluşan günlük metan oranından daha fazla olmuştur

CSTR denemeleri kullanarak, günlük metan oranını; Ayhan (2013), büyükbaş hayvan gübresi ve mısır silajı atıklarından maksimum %66, Onursal (2016), büyükbaş hayvan gübresi ve gül işleme atıklarından %50-66, Ekinci ve ark. (2019) büyükbaş hayvan gübresinden maksimum %63.6 olarak belirlemişlerdir. Yapılan bu çalışma diğer çalışmalardan metan oranlarının birbirine yakın olduğu gözlemlenmiştir.



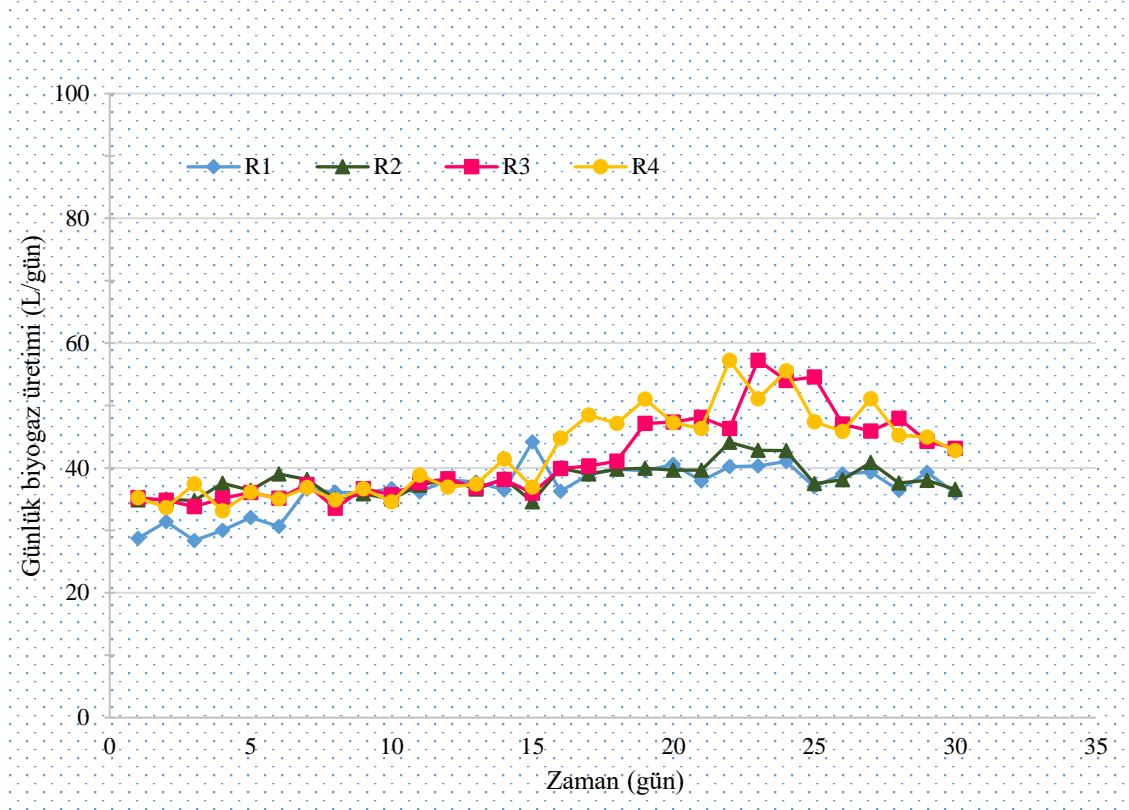
Şekil 4.23. CSTR denemelerinde reaktörlerde oluşan günlük metan oranı

### Günlük biyogaz üretimi

CSTR denemelerinde R1, R2, R3 ve R4 reaktörlerden oluşan günlük biyogaz üretimi (L/gün) Şekil 4.24'de verilmiştir. R1, R2, R3 ve R4 reaktörlerinde 1-23. günler arasında günlük biyogaz üretimi artmakta, 23-30. günler arasında ise giderek azalma göstermektedir. R1 reaktöründe 28.71-44.15 L/gün, R2 reaktöründe 34.88-44.11 L/gün, R3 reaktöründe 34.85-57.27 L/gün ve R4 reaktöründe 33.65-57.30 L/gün arasında günlük biyogaz üretimi oluşmuştur. Maksimum biyogaz üretimi R4 (57.30 L/gün) reaktörüne olmuştur. Bunu sırası ile R3 (57.27 L/gün), R1 (44.15 L/gün) ve R2 (44.11 L/gün) izlemiştir. R3 ve R4 reaktörlerinde oluşan günlük biyogaz üretimi R1 ve R2 reaktöründe oluşan günlük biyogaz üretiminden daha fazla olmuştur

CSTR denemeleri kullanarak, 2 2 kg OM/reaktör gün'lük yükleme ile günlük biyogaz üretimini; Onursal (2016), büyükbaş hayvan gübresi ve gül işleme atıklarından 10-60 L/gün, Ekinci ve ark. (2019) büyükbaş hayvan gübresinden maksimum biyogaz üretimini 57.95 L/gün olarak belirlemişlerdir.

Yapılan bu çalışmada diğer çalışmalardan farklılık olmasının nedeni kimyasal içerik ve atık, atık türü, karıştırma ve reaktör sıcaklığının farklılığından kaynaklandığı söylenebilir.

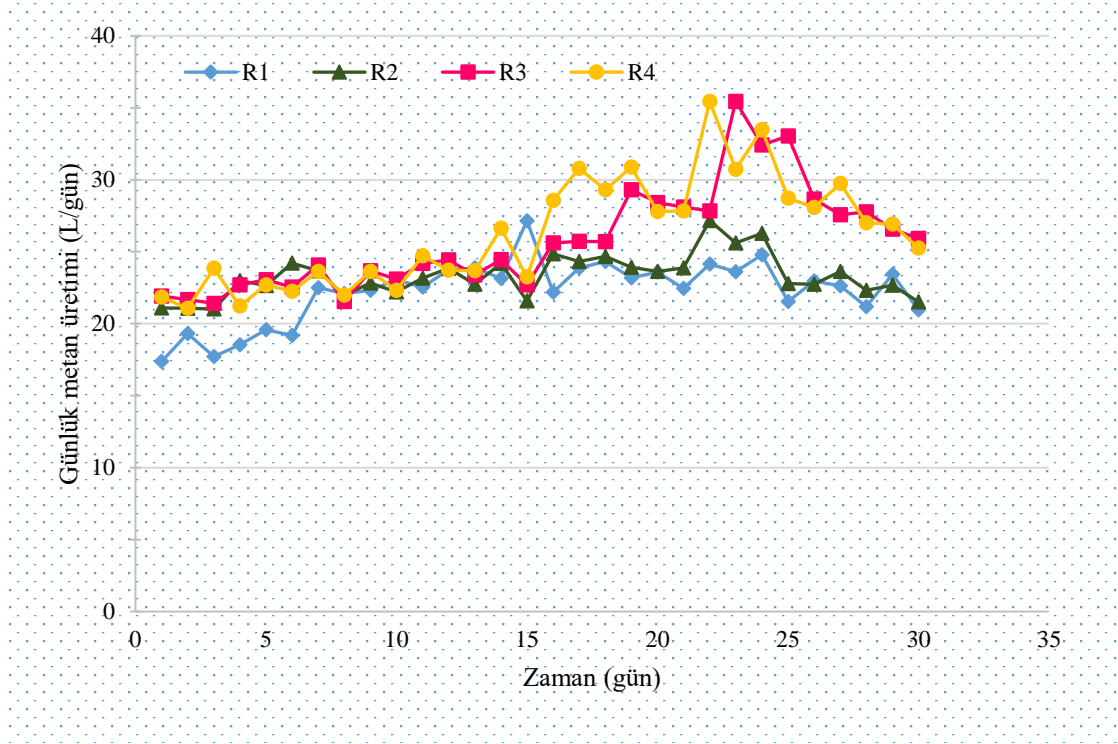


Şekil 4.24. CSTR denemelerinde reaktörlerde oluşan günlük biyogaz üretimi

### Günlük metan üretimi

CSTR denemelerinde R1, R2, R3 ve R4 reaktörlerden oluşan günlük metan üretimi (L/gün) Şekil 4.25'de verilmiştir. R1, R2, R3 ve R4 reaktörlerinde 1-23. günler arasında günlük metan üretimi artmakta, 23-30. günler arasında ise giderek azalma göstermektedir. R1 reaktöründe 17.36-27.15 L/gün, R2 reaktöründe 21.01-26.26 L/gün, R3 reaktöründe 21.41-35.45 L/gün ve R4 reaktöründe 21.06-35.50 L/gün metan üretimi oluşmuştur. Maksimum metan üretimi R4 (35.50 L/gün) reaktöründe olmuştur. Bunu sırası ile R3 (35.45 L/gün), R1 (27.15 L/gün) ve R2 (26.26 L/gün) izlemiştir. R3 ve R4 reaktörlerinde oluşan günlük metan üretimi R1 ve R2 reaktöründe oluşan günlük metan üretiminden daha fazla olmuştur

CSTR denemeleri kullanarak, 2 kg OKM/reaktör gün'lük yükleme ile günlük biyogaz üretimini; Onursal (2016), büyükbaş hayvan gübresi ve gül işleme atıklarından 25 L/gün, Ekinci ve ark. (2019) büyükbaş hayvan gübresinden maksimum biyogaz üretimini 30.37 L/gün olarak belirlemişlerdir. Yapılan bu çalışma diğer çalışmalardan farklılık göstermesinin nedeni atık farklılığı, organik yükleme oranı, kimyasal içerik, sıcaklık ve kuru madde oranının farklı olmasından kaynaklanabilir.



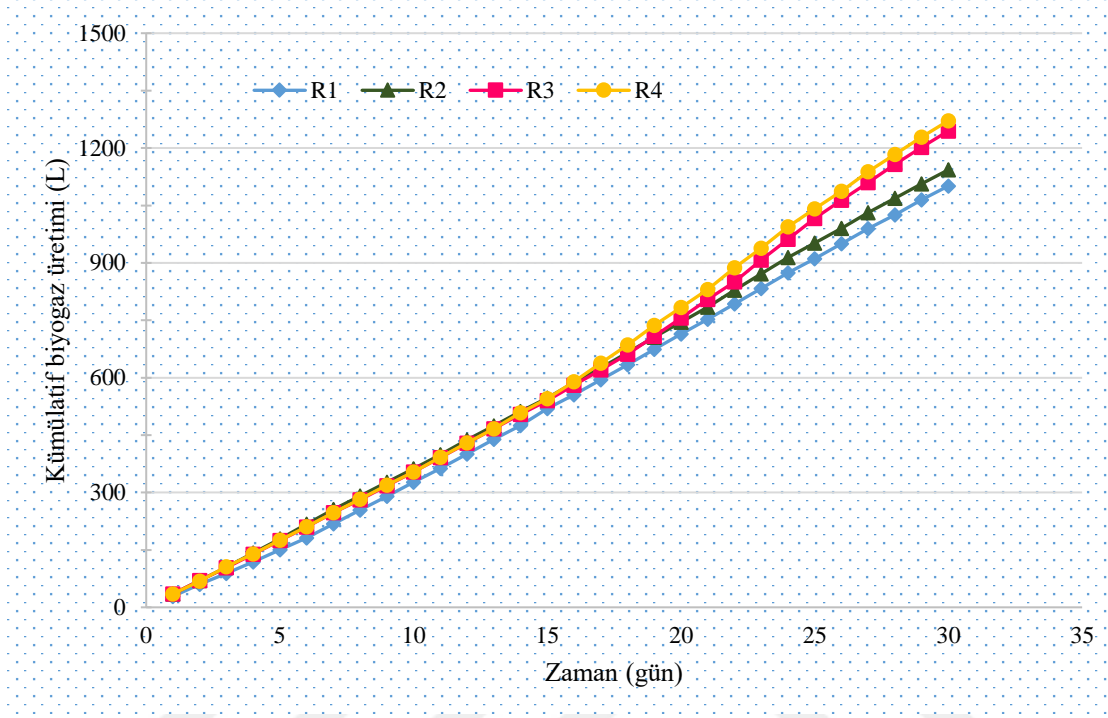
Şekil 4.25. CSTR denemelerinde reaktörlerde oluşan metan üretimi

### Kümülatif biyogaz üretimi

CSTR denemelerinde; R1, R2, R3 ve R4 reaktörlerinin zamana bağlı kümülatif biyogaz üretimleri Şekil 4.26'de verilmiştir. Toplam kümülatif biyogaz üretimi R1 reaktörü için 1101.06 L, R2 reaktörü için 1143.13 L, R3 reaktörü için 1244.81 L ve R4 reaktörü için 1271.47 L gerçekleşmiştir (Şekil 4.26). Reaktörler 30. günde maksimum biyogaz üretimini gerçekleştirmektedirler. Maksimum kümülatif biyogaz üretimi R4 (1271.47 L) reaktörüne olmuştur. Bunu sırası ile R3 (1244.81 L), R2 (1143.13 L) ve R1 (1101.06 L) izlemiştir. R3 ve R4 reaktörlerinden oluşan kümülatif biyogaz üretimi R1 ve R2 reaktöründe oluşan kümülatif biyogaz üretiminden daha fazla olmuştur

Ayhan (2013), büyükbaş hayvan gübresi ve mısır silajı atıklarından CSTR denemelerini kullanarak 500 L'lik reaktör ile 45 gün sonunda kümülatif metan üretimini, 13008 L olarak

belirlemiştir. Literatür ile karşılaştırma yapıldığında bulunan değerler birbirinden farklı olduğu görülmüştür. Bu farklılığın olmasının nedeni kimyasal içerik, atık türü, sıcaklık ve kuru madde oranının farklı olmasından kaynaklanabilir.

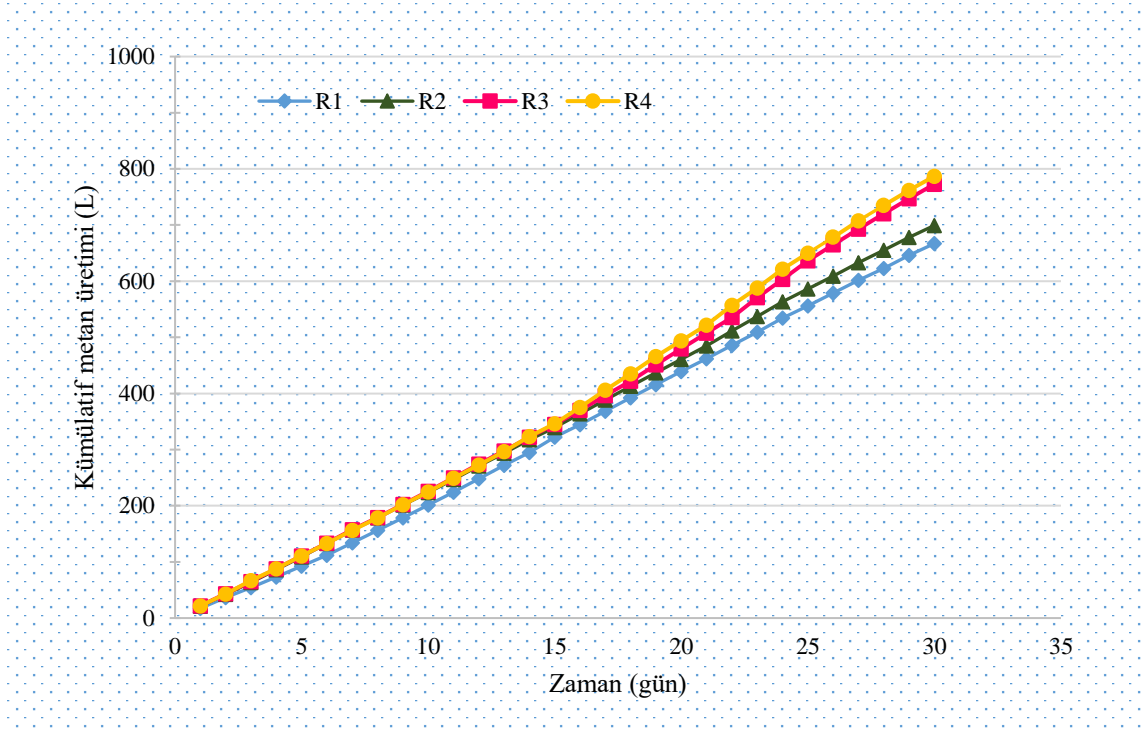


Şekil 4.26. CSTR denemelerinde reaktörlerde kümülatif biyogaz üretimi

### **Kümülatif metan üretimi**

CSTR denemelerinde; R1, R2, R3 ve R4 reaktörlerinin zamana bağlı olarak oluşan kümülatif metan üretimleri Şekil 4.27’de verilmiştir. Kümülatif metan üretimi; R1 reaktörü için 666.93 L, R2 reaktörü için 699.26 L, R3 reaktörü için 772.84 L ve R4 reaktörü için 786.99 L gerçekleşmiştir (Şekil 4.27). Reaktörler 30. günde maksimum biyogaz üretimini gerçekleştirmektedirler. Maksimum kümülatif metan üretimi R4 (786.99 L) reaktörüne olmuştur. Bunu sırası ile R3 (772.84 L), R2 (699.26 L) ve R1 (666.93 L) izlemiştir. R3 ve R4 reaktörlerinde oluşan kümülatif metan üretimi R1 ve R2 reaktörünende oluşan kümülatif metan üretiminden daha fazla olmuştur.

CSTR denemelerini kullanarak, kümülatif metan üretimini; Ekinci ve ark. (2019) büyükbaş hayvan gübresi atıklarından 949.58 L olarak belirlenmiştir. yapılan bu çalışma diğer çalışmalardan farklı olduğu görülmüştür. Bu farklılığın olmasının nedeni kimyasal içerik, atık çeşidi, sıcaklık ve kuru madde oranının farklı olmasından kaynaklanabilir.



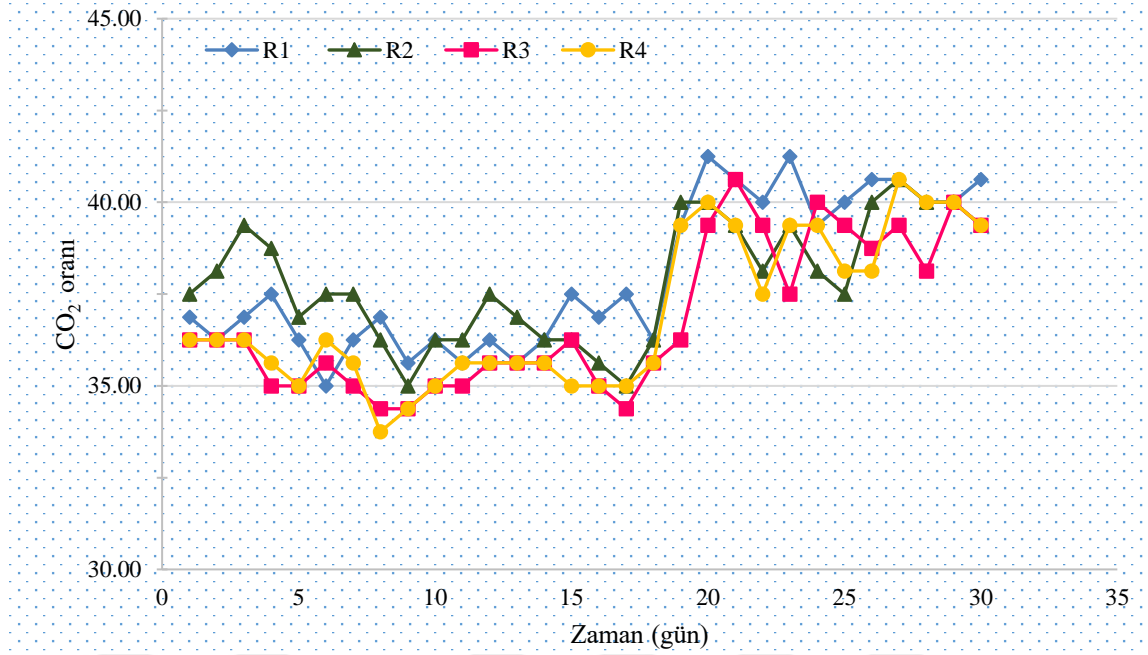
Şekil 4.27. CSTR denemelerinde reaktörlerde oluşan kümülatif metan üretimi

#### CO<sub>2</sub> oranı

CSTR denemelerinde; R1, R2, R3 ve R4 reaktörlerinin günlük oluşan CO<sub>2</sub> oranları Şekil 4.28’de verilmiştir. R1, R2, R3 ve R4 reaktörlerinde CO<sub>2</sub> oranları 1-18. günler arasında azalmakta 18-30. günler arasında artma göstermiştir. CO<sub>2</sub> oranları; R1 reaktöründe %35-41.25, R2 reaktöründe %35-40, R3 reaktöründe %34.38-40 ve R4 reaktöründe ise %33.75-40 olarak meydana gelmiştir. Maksimum oranı R1 (%41.25) reaktörüne olmuştur. Bunu sırası ile R2-R3-R4 izlemiştir. Metan oranının artmasıyla CO<sub>2</sub> oranı azalmıştır. Buna bağlı olarak R1 ve R2 reaktöründe oluşan CO<sub>2</sub> miktarı R3 ve R4 reaktörlerinde oluşan CO<sub>2</sub> miktarından fazla olmuştur.

CSTR denemelerini kullanarak; CO<sub>2</sub> oranını, Ayhan (2013), büyükbaş hayvan gübresi ve mısır silajı atıklarından %35-41, Onursal (2016), büyükbaş hayvan gübresi ve gül işleme atıklarından %35-42, Ekinci ve ark. (2019) büyükbaş hayvan gübresi atıklarından %32-45 olduğunu bildirmişlerdir. Literatürle karşılaştırma yapıldığında metan oranları birbirine yakın çıktığı gözlemlenmiştir. CO<sub>2</sub> oranının yakın olmasının nedeni metan ve biyogaz üretimlerinin birbirine yakın olmasından kaynaklanabilir.





Şekil 4.28. CSTR denemelerinde reaktörlerde oluşan CO<sub>2</sub> oranı

#### 4.4.2. CSTR denemeleri ile elde edilen cüruf parametreleri

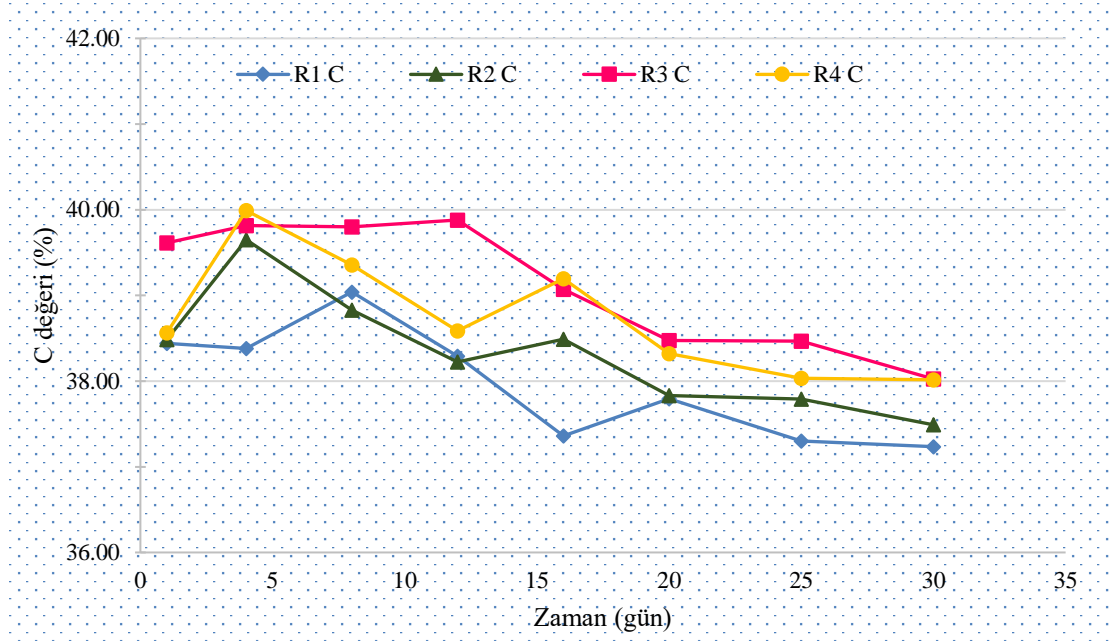
CSTR denemelerinde R1, R2, R3 ve R4 reaktörlerinde 30 günlük anaerobik fermantasyon sonucu oluşan biyogaz cüruf kimyasal analizleri (C, N, C/N, KM, OKM, EC, pH, KOİ, ADF ve NDF) belirlenmiştir. Elde edilen parametreler aşağıda sırasıyla açıklanmıştır.

##### C değeri

CSTR denemelerinde R1, R2, R3 ve R4 reaktörlerinin 1, 4, 8, 12, 16, 20, 25 ve 30. günlerde belirlenen C değerleri Şekil 4.29’da verilmiştir. C değeri; R1 reaktöründe %37.24-39.04, R2 reaktöründe %37.49-39.65, R3 reaktöründe %38.03-39.88 ve R4 reaktöründe %38.02-39.99 arasında değişmiştir. Maksimum C değeri R4 (%39.99) reaktöründe olmuştur. Bunu sırası ile R3 (%39.88), R2 (%39.65) ve R1 (%39.04) izlemiştir. R1 ve R2 de meydana gelen C miktarı R3 ve R4 reaktörlerinde meydana gelen C miktarından daha az olmuştur (Şekil 4.29).

CSTR denemeleri ile yapılan araştırmalarda biyogaz cüruf parametrelerindeki C değerlerini; Roesijadi ve ark. (2010), farklı türdeki makroalglerde %28-34.6, Nielse ve Heiske (2011), büyükbaş hayvan gübresi ve makroalg materyallerinin karışımlarında %2.8, Chen ve ark. (2015), farklı türdeki makroalglerde makroalglerde %55.5-55.6, Dede ve ark. (2018), büyükbaş hayvan gübresinde %29.32-38.02 olduğunu bildirmişlerdir. Yapılan bu çalışma ile diğer çalışmalar arasında farklılık olduğu görülmektedir. Farklılık olmasının nedeni makroalg

türlerinin farklı olması, makroalg türü, sıcaklık, ko-fermantasyon ve bakterilerin anaerobik fermentasyon sırasında C'yi enerji kaynağı olarak kullanmasından kaynaklanabilir.

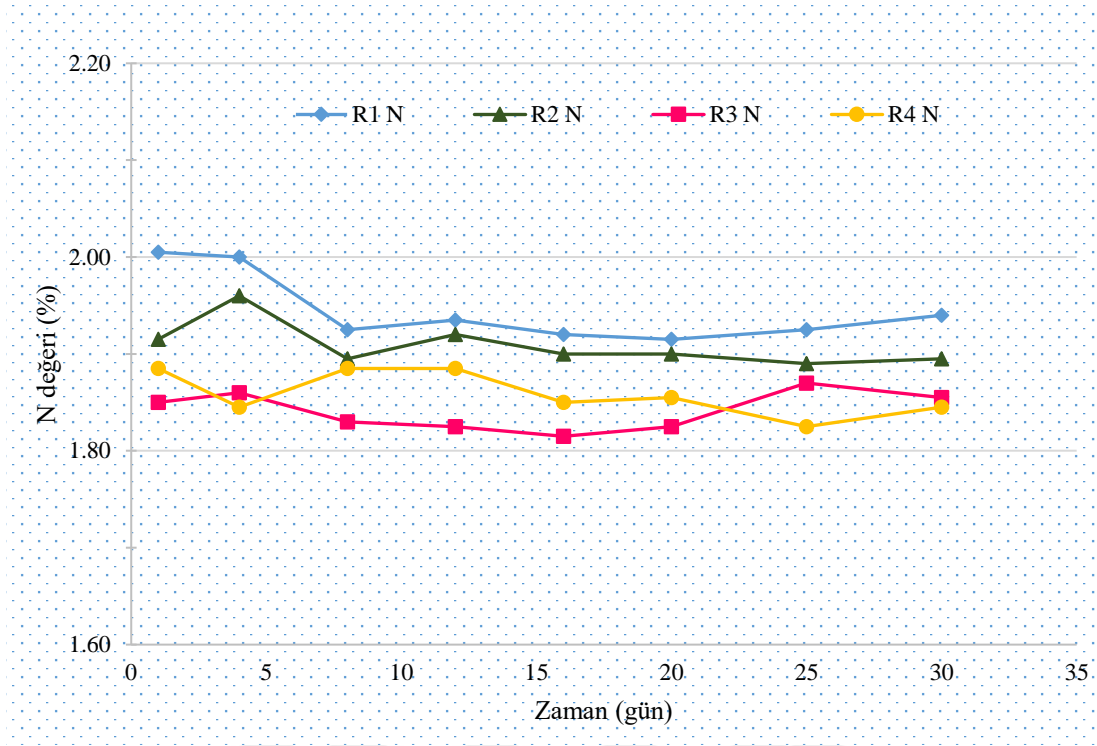


Şekil 4.29. CSTR denemelerinde reaktörlerde oluşan C değeri

#### N değeri

CSTR denemelerinde R1, R2, R3 ve R4 reaktörlerinin 1, 4, 8, 12, 16, 20, 25 ve 30. günlerde belirlenen N değerleri Şekil 4.30'da verilmiştir. N (azot) değeri; R1 reaktöründe %1.92-2.01, R2 reaktöründe %1.89-1.96, R3 reaktöründe %1.82-1.87 ve R4 reaktöründe %1.83-1.89 arasında belirlenmiştir. Maksimum N değeri R1 (%2.01) reaktöründe olmuştur. Bunu sırası ile R2 (%1.96), R4 (%1.89) ve R3 (%1.87) izlemiştir. R1 ve R2'de meydana gelen N miktarı R3 ve R4 reaktörlerinde meydana gelen N miktarından fazla olmuştur (Şekil 4.30).

CSTR denemeleri ile yapılan araştırmalarda biyogaz cüruf parametrelerindeki N değerlerini; Roesijadi ve ark. (2010), farklı türdeki makroalglerde %1.86-2.4, Nielse ve Heiske (2011), büyükbaş hayvan gübresi ve makroalg materyallerinin karışımlarında %2.8, Chen ve ark. (2015), farklı türdeki makroalglerde makroalglerde %2.2-2.7 Dede ve ark. (2018), büyükbaş hayvan gübresinde %1.71-1.92, olduğunu bildirmişlerdir. Yapılan bu çalışma ile diğer çalışmalar arasında farklılık olduğu görülmektedir. Farklılık olmasının nedeni makroalg türlerinin farklı olması, materyallerin alındığı, yetiştiği yerlerin farklı olması ve bakterilerin anaerobik fermentasyon esnasında azotu bakterilerin gelişimi ve üremesi için kullanmasından kaynaklanabilir.



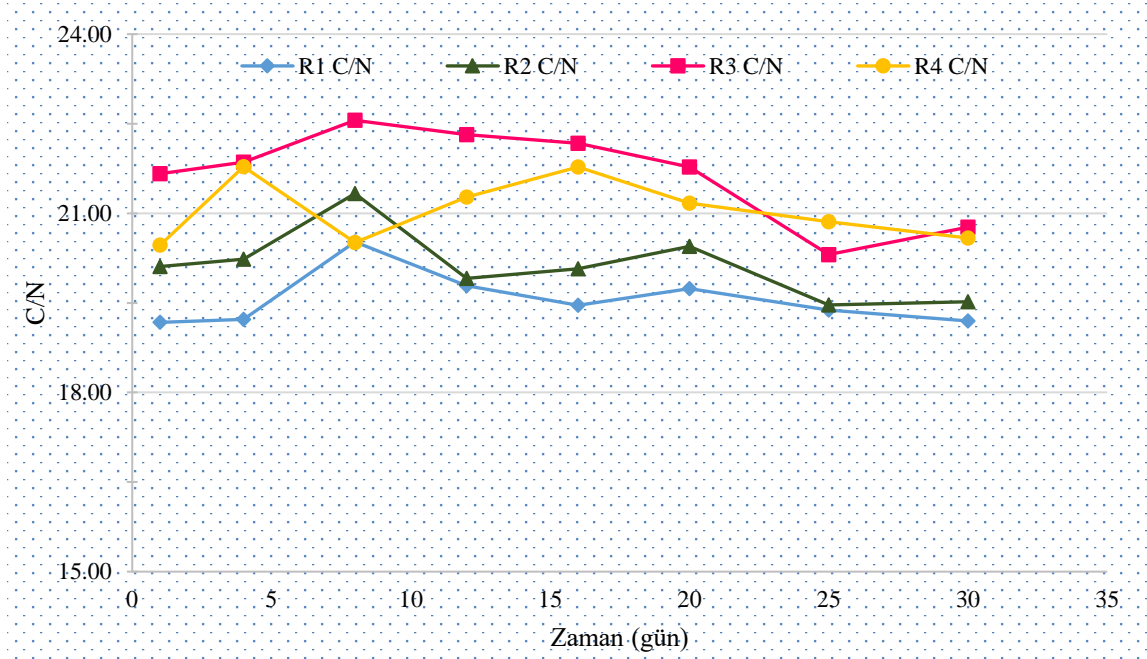
Şekil 4.30. CSTR denemelerinde reaktörlerde oluşan N değeri

#### C/N oranı

CSTR denemelerinde R1, R2, R3 ve R4 reaktörlerinin 1, 4, 8, 12, 16, 20, 25 ve 30. günlerde belirlenen C/N değerleri Şekil 4.31’de verilmiştir. C/N oranı; R1 reaktöründe 18.97-20.12, R2 reaktöründe 19.47-21.33, R3 reaktöründe 20.31-22.56 ve R4 reaktöründe 20.47-21.78 arasında değişmiştir. Maksimum C/N oranı R3 (22.56) reaktöründe olmuştur. Bunu sırası ile R4 (21.78), R2 (21.33) ve R1 (20.12) izlemiştir. R1 ve R2 de meydana gelen C/N miktarı R3 ve R4 reaktörlerinde meydana gelen C/N miktarından daha az meydana gelmiştir. R1 ve R2 de oluşan C/N miktarı R3 ve R4 reaktörlerinde oluşan C/N miktarından daha az olmuştur.

CSTR denemeleri ile yapılan araştırmalarda biyogaz cüruf parametrelerindeki C/N oranlarını; Ayhan (2013), büyükbaş hayvan gübresinde ve mısır silajı atıklarında 26.26, Dede ve ark. (2018), büyükbaş hayvan gübresinde 15.27-22.23 olduğunu bildirmişlerdir. Yapılan bu çalışma ile diğer çalışmalardan C/N oranının azda olsa farklı olduğu görülmüştür. Bu farklılığın olmasının nedeni başlangıç materyallerinin, C, N ve C/N değerlerinin farklı olması ve bakterilerin kimyasal fonksiyonları için C’yi enerji kaynağı olarak kullanması, N’yi de hücre sel fonksiyonların onarımı için kullanmasından kaynaklanabilir. C/N oranının; 8:1 seviyesinden daha düşük seviyeye hareket etmesi durumunda anaerobik fermantasyona olumsuz bir etki görülmekte, 15:1 ile 30:1 seviyesinde olması durumunda anaerobik fermentasyon için en ideal

ortamları oluşturmaktadır (Werner ve ark., 1989). Yapılan çalışmada C/N oranı en ideal ortamlar arasında olmuştur.

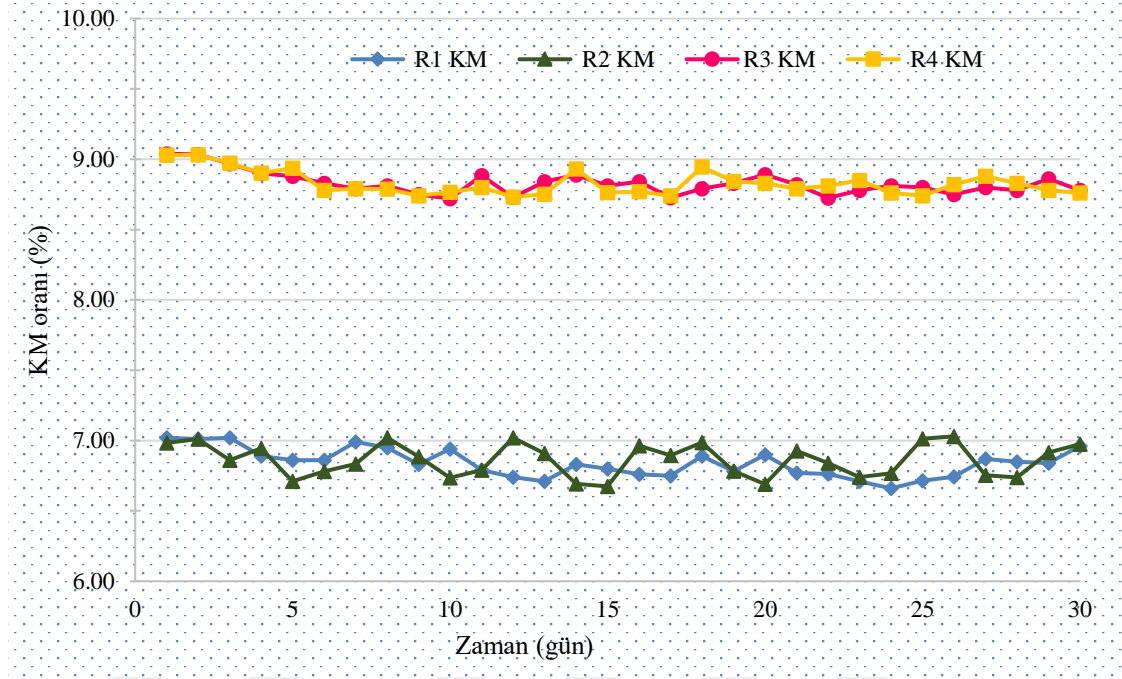


Şekil 4.31. CSTR denemelerinde reaktörlerde oluşan C/N oranı

### KM oranı

CSTR denemelerinde R1, R2, R3 ve R4 reaktörlerinin zamana bağlı günlük belirlenen KM değerleri Şekil 4.32’de verilmiştir. KM oranları; R1 reaktöründe %6.66-7.02, R2 reaktöründe %6.67-7.02, R3 reaktöründe %8.72-9.04 ve R4 reaktöründe %8.73-9.03 arasında değişmiştir (Şekil 4.32). KM oranları genel olarak istenilen %7 ve %9 oranında kalmıştır.

CSTR denemeleri ile yapılan araştırmalarda biyogaz cüruf parametrelerindeki KM oranlarını; Dede ve ark. (2018), büyükbaş hayvan gübresinde %10, Onursal (2016), büyükbaş hayvan gübresi ve gül işleme atıklarında %6-9, Ayhan (2013), büyükbaş hayvan gübresi ve mısır silajı atıklarında %6, Yahmed ve ark. (2016), linum türündeki makroalgde %7.8 olarak belirlemişlerdir. Gerek bu çalışmada gerekse diğer çalışmalar arasında KM oranlarında farklılık olduğu görülmüştür. Bu farklılığın olmasının nedeni karışım materyallerinin kuru madde oranları ve reaktöre konulan su miktarından kaynaklanabilir.

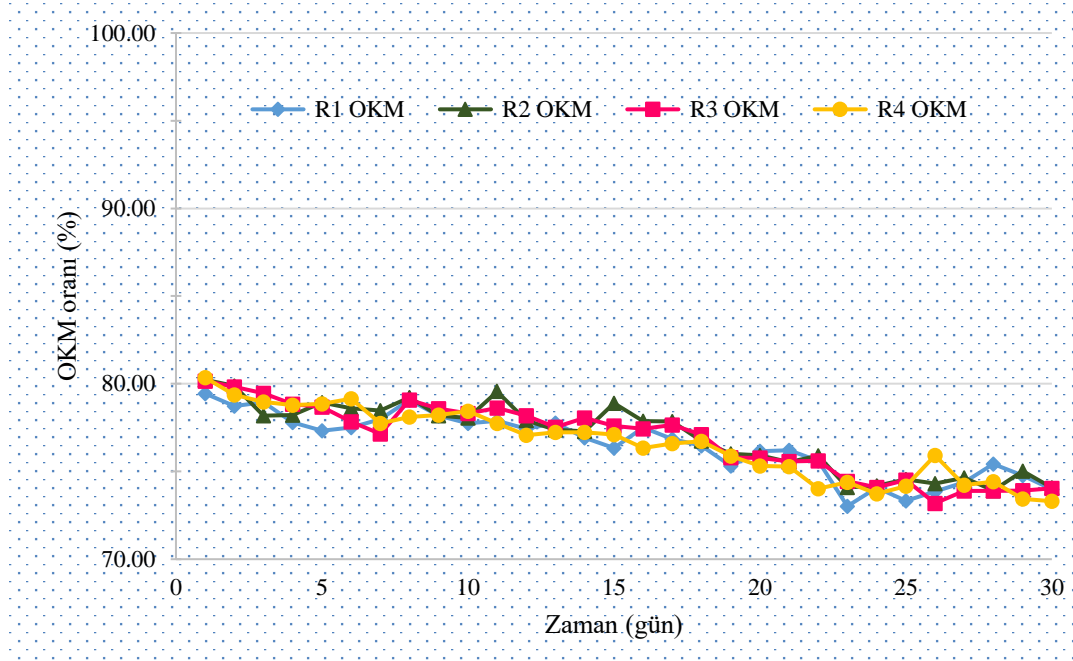


Şekil 4.32. CSTR denemelerinde reaktörlerde oluşan KM oranı

### OKM oranı

CSTR denemelerinde R1, R2, R3 ve R4 reaktörlerinin zamana bağlı günlük belirlenen OKM değerleri Şekil 4.33'de verilmiştir. OKM oranları; R1 reaktöründe %73.98-79.44, R2 reaktöründe %74.08-80.23, R3 reaktöründe %74.08-80.16 ve R4 reaktöründe %73.31-80.35 arasında değişmiştir (Şekil 4.33). Maksimum organik kuru madde R4 (%80.35) reaktöründe olmuştur. Bunu sırası ile R3-R2-R1 reaktörleri izlemiştir.

CSTR denemeleri ile yapılan araştırmalarda biyogaz cüruf parametrelerindeki OKM oranlarını; Ayhan (2013), büyükbaş hayvan gübresi ve mısır silajı atıklarında %69.58-86.48, Ekinci ve ark. (2019), büyükbaş hayvan gübresi ve aspir atıkları karışımında %75.79-83.97 olarak belirlemişlerdir. Yapılan bu çalışma ve diğer çalışmalarda OKM oranları zamana bağlı olarak azalma göstermiştir. OKM oranlarının düşmesinin nedeni bakterilerin metan ve biyogaz üretimi için mateyaller içerisinde bulunan şeker, yağ, protein ve diğer organik maddeleri yaşam koşulları için kullanmasından kaynaklanabilir.

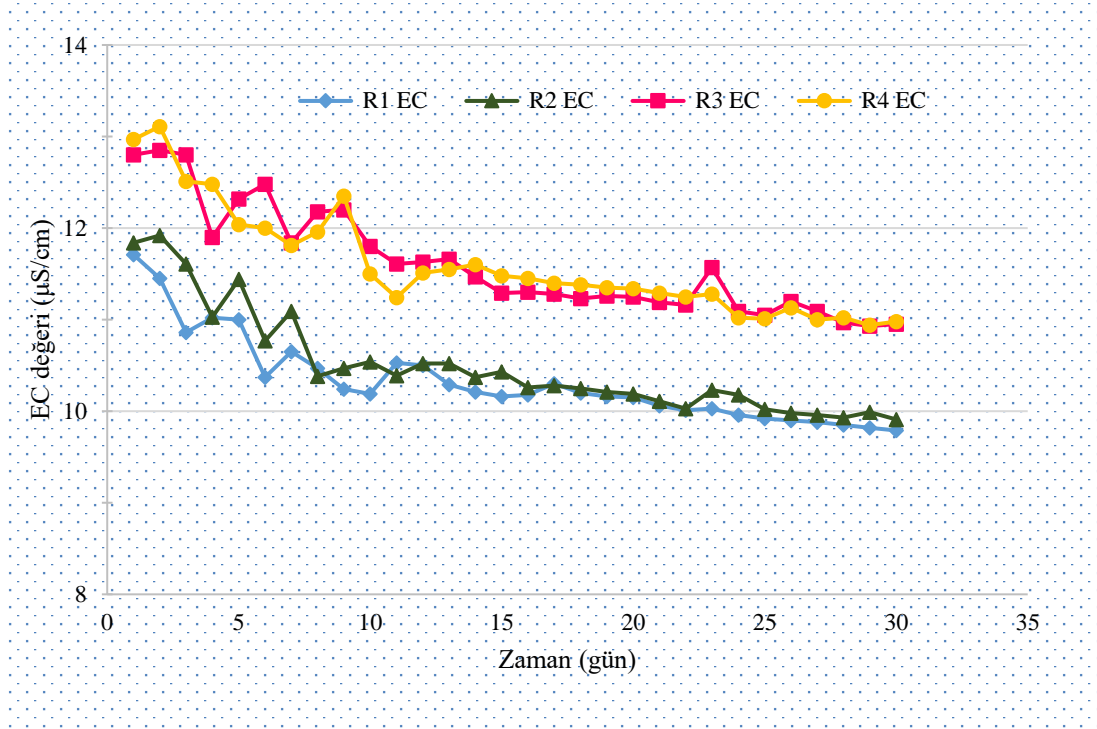


Şekil 4.33. CSTR denemelerinde reaktörlerde oluşan OKM oranı

### EC değeri

CSTR denemelerinde R1, R2, R3 ve R4 reaktörlerinin zamana bağlı günlük belirlenen EC değerleri Şekil 4.34'de verilmiştir. EC değerleri; R1 reaktöründe 11.71-9.79  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , R2 reaktöründe 11.92-9.91  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , R3 reaktöründe 10.93-12.85  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ve R4 reaktöründe 10.94-13.11  $\mu\text{S}/\text{cm}$  arasında değişmiştir (Şekil 4.33). Maksimum EC değeri R4 (13.11  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) reaktöründe olmuştur. Bunu sırası ile R3 (12.85  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), R2 (9.91  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) ve R1 (9.79  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) izlemiştir. R1 ve R2 de meydana gelen EC değerleri R3 ve R4 reaktörlerinde meydana gelen EC değerlerinden daha az meydana gelmiştir. EC oranları tüm reaktörlerde zamana bağlı olarak azalma göstermiştir.

Bu denemeleri ile yapılan araştırmalarda biyogaz cüruf parametrelerindeki EC değerlerini; Dede ve ark. (2018), büyükbaş hayvan gübresinde 9.46-10.65  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , Ekinci ve ark. (2019), büyükbaş hayvan gübresi ve aspir atıkları karışımında 10.53-12.49  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , Galvan ve ark. (2019) farklı türdeki büyükbaş hayvan gübresinde 10.8-14.72  $\mu\text{S}/\text{cm}$  olduğunu bildirmişlerdir. Yapılan bu çalışma farklı çalışmalarla karşılaştırıldığında EC değerlerinin azda olsa farklılık olduğu görülmüştür. Bu farklılığın olmasının nedeni kuru madde oranlarından kaynaklandığı söylenebilir.



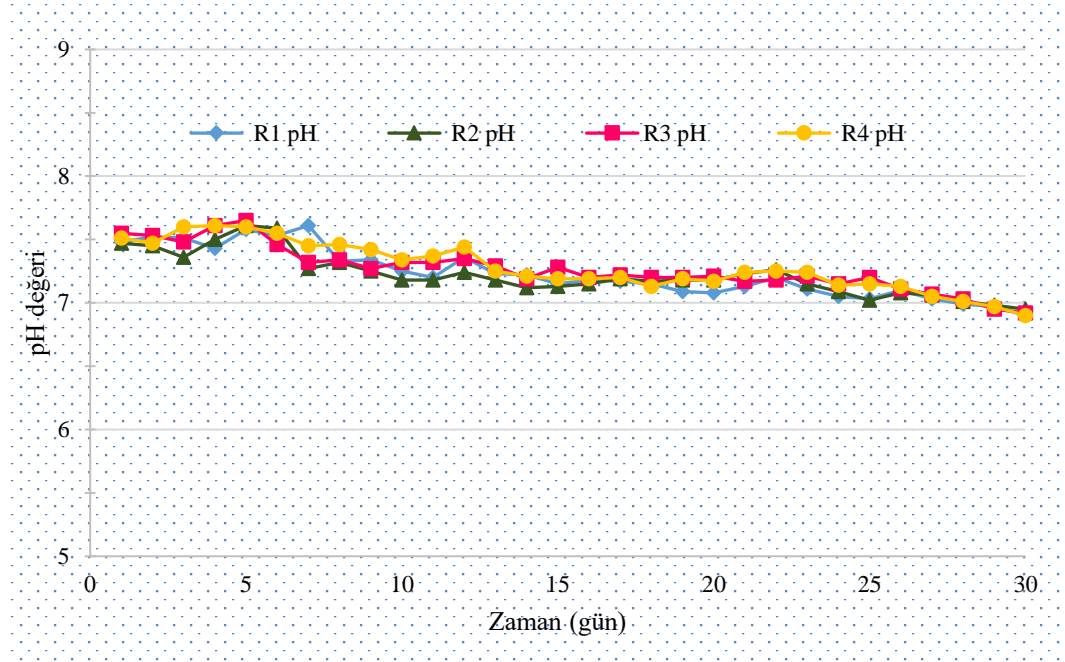
Şekil 4.34. CSTR denemelerinde reaktörlerde oluşan EC değeri

### pH değeri

CSTR denemelerinde R1, R2, R3 ve R4 reaktörlerinin zamana bağlı günlük belirlenen pH değerleri Şekil 4.35’de verilmiştir. pH değerleri; R1 reaktöründe 6.9-7.61, R2 reaktöründe 6.95-7.60, R3 reaktöründe 6.92-7.65 ve R4 reaktöründe 6.9-7.61 arasında değişmiştir (Şekil 4.34). Maksimum pH değeri R3 (7.65) reaktöründe olmuştur. Bunu sırası ile R-4-1 (7.60) ve R2 (7.60) izlemiştir. R1 ve R2 de meydana gelen EC değerleri R3 ve R4 reaktörlerinde meydana gelen EC değerleri daha az meydana gelmiştir. pH değerleri tüm reaktörlerde zamana bağlı olarak azalma göstermiştir. R1 ve R2 de meydana gelen pH değerleri R3 ve R4 reaktörlerinde meydana gelen pH değerlerine yakın şekilde oluşmuştur.

CSTR denemeleri ile yapılan araştırmalarda biyogaz cüruf parametrelerindeki pH değerleri; Ayhan (2013), büyükbaş hayvan gübresi ve mısır silajı atıklarında 6-7 arasında, Onursal (2016), büyükbaş hayvan gübresi ve gül işleme atıklarında 7.37-8.45, Kafle ve ark. (2016), büyükbaş hayvan gübresilerinde 7.95-8.30, Ekinci ve ark. (2019), büyükbaş hayvan gübresi ve aspir atıkları karışımında 6.2-7.8 arasında belirlemişlerdir. Ayrıca Rittmann 2011’e göre dengeye ulaşmış biyogaz tesislerinde en ideal pH değeri 7-8.5 aralığı olduğu bildirilmiştir. Yapılan bu çalışmada pH değerleri ideal aralıkta olduğu görülmektedir. Hem yapılan bu araştırma ve hem diğer araştırmalarda karışım materyallerinin pH değerinin düşmesinin nedeni

metan ve biyogaz üretiminde anaerobik bozunma esnasında asitleşme olmasından kaynaklanabilir.



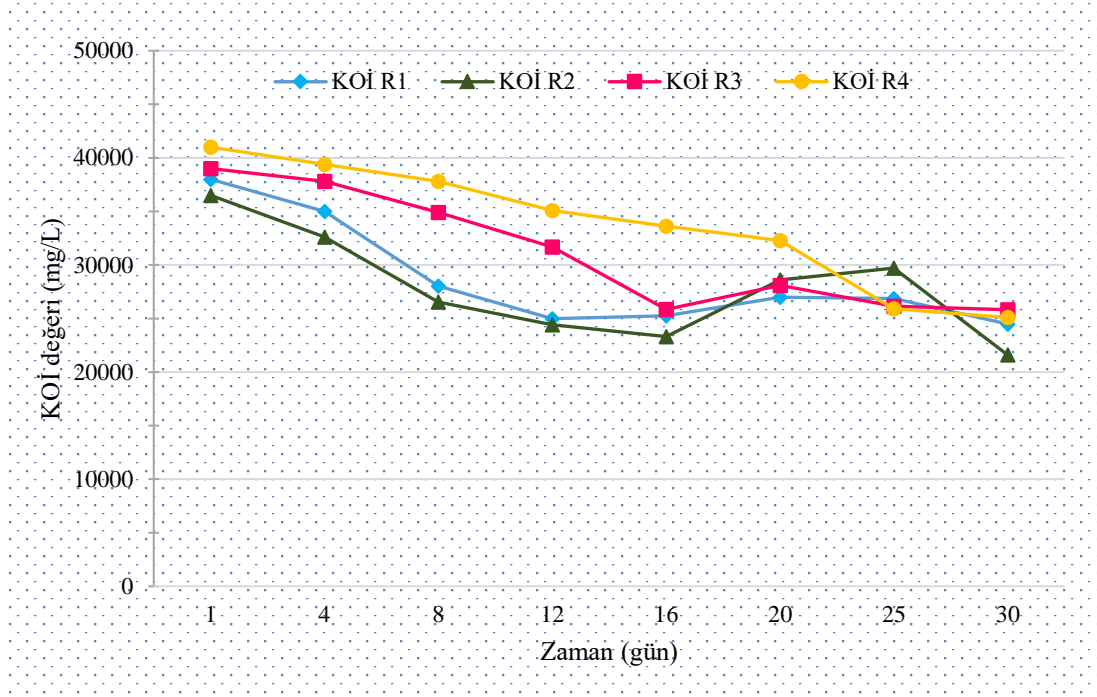
Şekil 4.35. CSTR denemelerinde reaktörlerde oluşan pH değeri

### KOİ değeri

CSTR denemelerinde R1, R2, R3 ve R4 reaktörlerinin 1, 4, 8, 12, 16, 20, 25 ve 30. günlerde belirlenen KOİ değerleri Şekil 4.36'da verilmiştir. KOİ değerleri; R1 reaktöründe 24.485-38.000 mg/L, R2 reaktöründe 21.942-36.000 mg/L, R3 reaktöründe 25.602-39.000 mg/L ve R4 reaktöründe 25.100-41.000 mg/L arasında değişmiştir. Maksimum KOİ değeri R4 (41.000 mg/L) reaktöründe olmuştur. Bunu sırası ile R3 (39.000 mg/L), R1 (38.000 mg/L) ve R2 (36.000 mg/L) izlemiştir. R1 ve R2 de meydana gelen KOİ değerleri R3 ve R4 reaktörlerinde meydana gelen KOİ değerleri daha az meydana gelmiştir. KOİ değerleri tüm reaktörlerde zamana bağlı olarak azalma göstermiştir.

Bu denemeleri ile yapılan araştırmalarda biyogaz cüruf parametrelerindeki KOİ değerlerini; Ağdağ ve Sponza (2005) yiyecek atıklarında 5.400-20.000 mg/L, Wang ve ark. (2010), mikroalg ve büyükbaş hayvan gübresinde 23.760-38.200 mg/L, Rico ve ark. (2011), büyükbaş hayvan gübresinde 46.800-59.600 mg/L olarak belirlemişlerdir. Gerek bu çalışmada gerekse diğer yapılan çalışmalarda zamana bağlı olarak azalma göstermiştir. Fakat bu araştırma ile diğer araştırmalar arasında farklılık olmuştur. Bu farklılığın olmasının nedeni reaktör içerisinde olan karışımdaki C, N ve O miktarının farklı olmasından kaynaklanabilir.



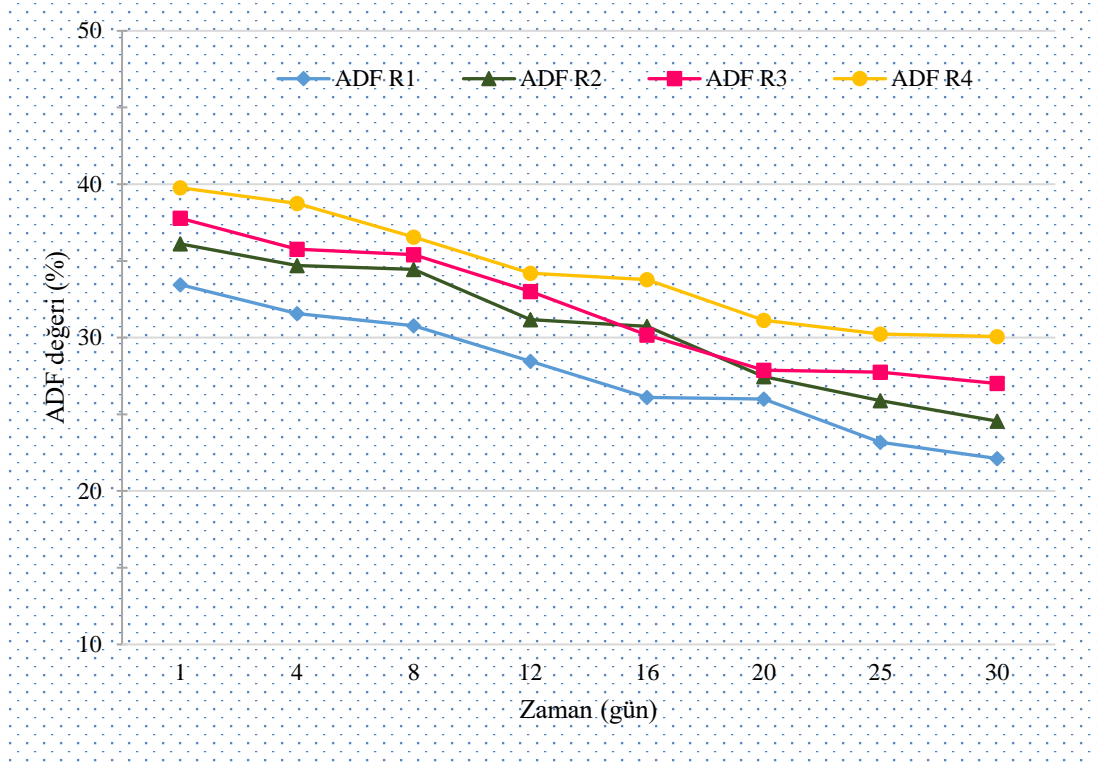


Şekil 4.36. CSTR denemelerinde reaktörlerde oluşan KOİ değeri

#### ADF değeri

CSTR denemelerinde R1, R2, R3 ve R4 reaktörlerinin 1, 4, 8, 12, 16, 20, 25 ve 30. günlerde belirlenen ADF değerleri Şekil 4.37’de verilmiştir. ADF değerleri; R1 reaktörü için %22.12-33.45, R2 reaktörü için %24.56-36.11, R3 reaktörü için %27.01-37.78 ve R4 reaktörü için %30.07-39.77 olarak belirlenmiştir. Maksimum ADF değeri R4 (%39.77) reaktöründe gerçekleşmiştir. Bunu sırası ile R3 (%37.78), R2 (%36.11) ve R2 (%33.45) izlemiştir. R1 ve R2 de meydana gelen ADF değerleri R3 ve R4 reaktörlerinde meydana gelen ADF değerleri daha az meydana gelmiştir. ADF değerleri tüm reaktörlerde zamana bağlı olarak 30 gün sonunda azalma göstermiştir (Şekil 4.37).

CSTR denemeleri ile yapılan araştırmalarda biyogaz cüruf ADF değerlerini; Ayhan (2013), büyükbaş hayvan gübresi ve mısır silajı atıklarında %38.74, Tedeco ve ark. (2013) makroalglerde %15.1-46.6, Kafle ve Chen (2016), farklı türdeki hayvan gübrelarinde, büyükbaş hayvan gübresi için %48.31, domuz gübresi için %24.42, tavuk gübresi için %18.21 ve keçi gübresi için %39.50 olarak belirlenmiştir. Gerek bu çalışma gerekse diğer çalışmalarda ADF değerlerinde azalma ve farklılık olmasının nedeni tür farklılığı, materyallerdeki selüloz, hemiselüloz ve lignin oranının farklı olmasından kaynaklanabilir.

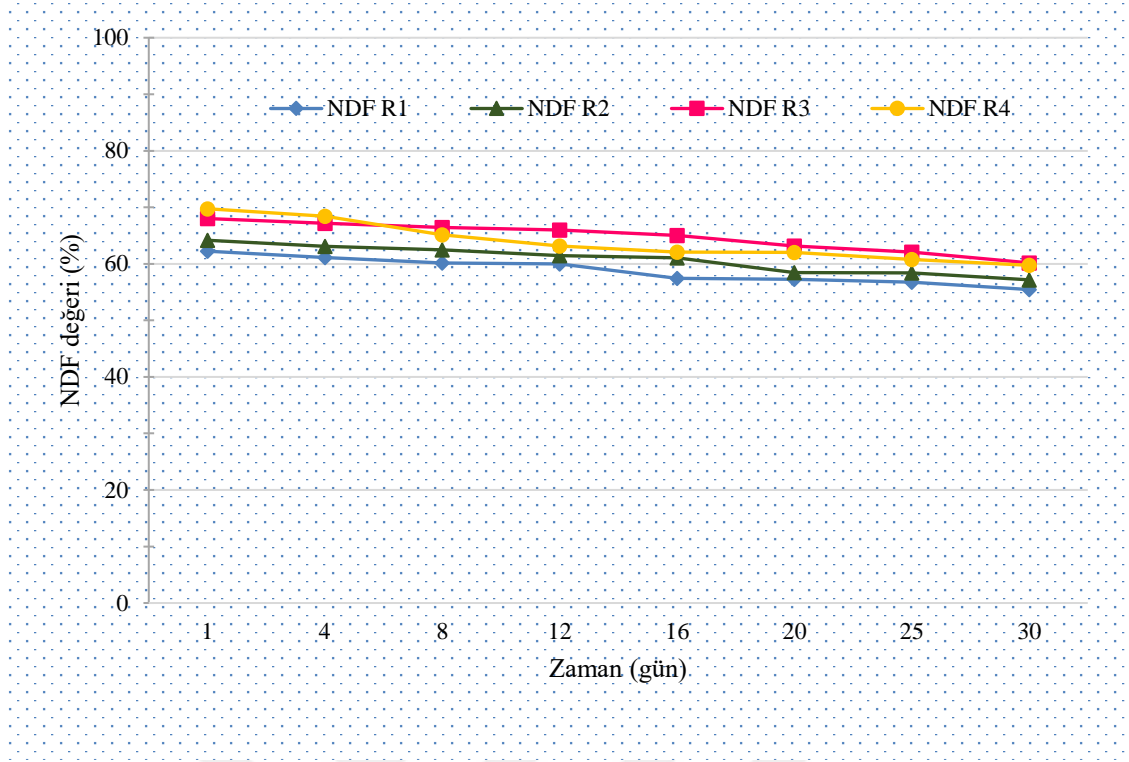


Şekil 4.37. CSTR denemelerinde reaktörlerde oluşan ADF değeri

### NDF değeri

CSTR denemelerinde R1, R2, R3 ve R4 reaktörlerinin 1, 4, 8, 12, 16, 20, 25 ve 30. günlerde belirlenen NDF değerleri Şekil 4.38’de verilmiştir. NDF değerleri R1 reaktörü için %55.45-62.24, R2 reaktörü için %57.17-64.17, R3 reaktörü için %60.17-68.01 ve R4 reaktörü için %59.74-69.74 olarak meydana gelmiştir. Maksimum NDF değeri R4 (%69.74) reaktöründe olmuştur. Bunu sırası ile R3 (%68.01), R2 (%64.17) ve R2 (%62.24) izlemiştir. NDF değerleri %7 (R1 ve R2) ve %9 (R3 ve R4) olan karışımların hepsinde 30 gün sonunda azalma göstermiştir. R1 ve R2 reaktöründe oluşan NDF değeri R3 ve R4 reaktöründe oluşan NDF değerinden daha az olmuştur (Şekil 4.38).

Bu denemeleri ile yapılan araştırmalarda biyogaz cüruf NDF değerlerini; Ayhan (2013), büyükbaş hayvan gübresi ve mısır silajı atıklarında %61.26, Tedeco ve ark. (2013) makroalglerde %25.7-53.6 olduğunu bildirmişlerdir. NDF değerlerini literatür ile karşılaştırdığımızda bazı farklılıkların olduğu görülmüştür. Bu farklılıkların olmasının nedeni tür farklılığı, büyükbaş hayvan ve makroalg içerisinde bulunan selüloz, hemiselüloz ve lignin oranının farklı olmasından kaynaklanabilir.



Şekil 4.38. CSTR denemelerinde reaktörlerde oluşan NDF değeri

#### 4.5. Deneme yöntemlerinden elde edilen parametrelerin istatistiksel olarak karşılaştırılması

60 günlük BMP denemeleri ve 30 günlük CSTR deney denemeleri sonucunda elde edilen parametrelerin iki farklı kuru madde oranında (%7, %9), beş karışımdan elde edilen biyogaz (metan oranı, günlük biyogaz üretimi, günlük metan üretimi, kümülatif biyogaz üretimi, kümülatif metan üretimi ve özgül metan üretimi) ve cüruf (C, N, C/N, KOİ, EC, pH, KM, OKM, ADF ve NDF) parametrelerin deney başlangıç (B) ve deney sonrası (S) birbirleri arasında etkisel farkı ortaya koymak için varyans analizi, ortalama değerler arasındaki farkı belirlemek için önem testi yapılmıştır.

##### 4.5.1. BMP denemeleri ile elde edilen parametrelerin istatistiksel analizi

60 günlük deney sonucunda BMP denemeleri parametrelerinin istatistiksel analizinde; Çizelge 4.4'de %7 ve %9 kuru madde oranı elde edilen biyogaz parametrelerin varyans analiz sonuçları, Çizelge 4.5'de, %7 ve %9 kuru madde oranı elde edilen biyogaz parametrelerinin ortalama değerleri ve önem testi, Çizelge 4.6'de %7 kuru madde oranında elde edilen cüruf parametrelerinin varyans analiz sonuçları, Çizelge 4.7'de %7 kuru madde oranında elde edilen cüruf parametrelerinin ortalama değerleri ve önem testi, Çizelge 4.8'de, %7 kuru madde

oranında elde edilen biyogaz parametrelerinin ortalama değerleri ve önem testi, Çizelge 4.9’da %7 kuru madde oranında elde edilen cüruf parametrelerinin varyans analiz sonuçları, Çizelge 4.10’da %7 kuru madde oranında elde edilen cüruf parametrelerinin ortalama değerleri ve önem testi sırasıyla verilmiştir.

BMP denemelerinde %7 ve %9 kuru madde oranında elde edilen biyogaz parametrelerinde; kuru madde oranının metan oranı üzerinde etkisininin olmadığı ancak karışım ve kuru madde\*karışım interaksiyon etkisi istatistiksel olarak önemli düzeyde ( $P<0.05$ ) bulunmuştur. Biyogaz parametrelerinin (günlük biyogaz üretimi, günlük metan üretimi, kümülatif biyogaz üretimi, kümülatif metan üretimi, özgül metan üretimi) kuru madde, karışım, kuru madde\*karışım interaksiyon etkisi istatistiksel olarak önemli düzeyde ( $P<0.05$ ) bulunmuştur (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4. BMP denemelerinde %7 ve %9 kuru madde oranında elde edilen biyogaz parametrelerinin varyans analiz sonuçları

Değişkenler	VK	KT	sd	KO	F	P
Metan Oranı	Kuru madde	.026	1	.026	.278	.604
	Karışım	170	4	42	449	.000
	Kuru madde*karışım	1.27	4	.319	3.36	.029
	Hata	1.89	20	.095		
Günlük biyogaz üretimi	Kuru madde	.015	1	.015	224	.000
	Karışım	.99	4	.249	3729	.000
	Kuru madde*karışım	.002	4	.001	7.70	.001
	Hata	.002	20			
Günlük metan üretimi	Kuru madde	.003	1	.003	96	.000
	Karışım	.303	4	.076	2273	.000
	Kuru madde*karışım	.001	4	.000	6.80	.001
	Hata	.001	20			
Kümülatif biyogaz üretim	Kuru madde	.015	1	.015	224	.000
	Karışım	.995	4	.249	3729	.000
	Kuru madde*karışım	.002	4	.001	7.70	.001
	Hata	1.07	20			
Kümülatif metan üretim	Kuru madde	1.60	1	1.60	29.89	.000
	Karışım	217	4	54.49	1014	.000
	Kuru madde*karışım	.50	4	.12	2.36	.048
	Hata	1.074	20	.05		
Özgül metan üretim	Kuru madde	248	1	248	8065	.000
	Karışım	10383	4	2595	84335	.000
	Kuru madde*karışım	61	4	15.41	500	.000
	Hata	.61	20	.03		

VK: Varyasyon kaynağı, KT: Kareler toplamı, sd: Serbestlik derecesi, KO: Kareler ortalaması, P: önem değeri

BMP denemelerinde %7 ve %9 kuru madde oranında; metan oranı, günlük biyogaz üretimi, günlük metan üretimi, kümülatif biyogaz üretimi, kümülatif metan üretimi ve özgül metan üretiminde karışımlar arasında önemli farklılık görülmüştür.

Her iki kuru madde oranı (%7, %9), biyogaz parametrelerinin (metan oranı, günlük biyogaz üretimi, günlük metan üretimi, kümülatif biyogaz üretimi, kümülatif metan üretimi, özgül metan üretimi) en yüksek değerleri Karışım-4'de, en düşük değerleri ise Karışım-1'de oluşmuştur (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.5. BMP denemelerinde %7 ve %9 kuru madde oranında elde edilen biyogaz parametrelerinin ortalama değerleri ve önem testi

Değişkenler	Karışım-1	Karışım-2	Karışım-3	Karışım-4	Karışım-5
Metan oranı	49.62e	51.66d	52.37c	56.43a	54.74b
Günlük biyogaz üretimi	0.53e	0.62d	0.70c	0.99a	0.95b
Günlük metan üretimi	0.34e	0.40d	0.43c	0.60a	0.57b
Kümülatif biyogaz üretim	15.25e	19.14d	23.06c	27.89a	26.94b
Kümülatif metan üretim	8.74e	10.85d	13.11c	15.90a	15.33b
Özgül metan üretim	139.62e	150.17d	159.72c	189.39a	180.80b

Satır içersinde aynı harfleri alan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur (P<0.05).

BMP denemelerinde %7 kuru madde oranı elde edilen deney başlangıç ve sonrası cüruf parametrelerinde; varyans analiz sonucu C, N, C/N, KOİ, EC, pH, KM, OKM, ADF ve NDF kimyasal analizlerinde deney başlangıç-sonrası, karışımlar ve deney başlangıç-son\*karışım intereaksiyonu istatistiksel olarak önemli düzeyde bulunmuştur (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.6. BMP denemelerinde %7 kuru madde oranında elde edilen cüruf parametrelerinin varyans analiz sonuçları

Değişkenler	VK	KT	sd	KO	F	P	
C	Deney başlangıç-sonrası		234	1	234	1275	.000
	Karışım		129	4	32	175	.000
	Deney başlangıç-son*karışım		26	4	6.5	35	.000
	Hata		3.67	20	.18		
N	Deney başlangıç-sonrası		.05	1	.05	69	.000
	Karışım		.10	4	.03	36	.000
	Başlangıç-son*karışım		.09	4	.02	30	.000
	Hata		.01	20	.00		
C/N	Deney başlangıç-sonrası		28	1	28	301	.000
	Karışım		42	4	10	111	.000
	Deney başlangıç-son*karışım		15	4	3.86	41	.000
	Hata		1.9	20	.09		
KOİ	Deney başlangıç-sonrası	734223847		1	734223847	167521	.000
	Karışım	319191697		4	79797924	18207	.000
	Deney başlangıç-son*karışım	62304422		4	15576106	3554	.000
	Hata	87657		20	4383		
EC	Deney başlangıç-sonrası		2.98	1	3.0	5253	.000
	Karışım		3.37	4	.84	1487	.000
	Deney başlangıç-son*karışım		1.54	4	.39	680	.000
	Hata		.01	20	.00		
pH	Deney başlangıç-sonrası		.41	1	.41	1171	.000
	Karışım		1.30	4	.33	941	.000
	Deney başlangıç-son*karışım		.01	4	.00	5.8	.003
	Hata		.01	20	.00		
KM	Deney başlangıç-sonrası		9.74	1	9.74	42329	.000
	Karışım		.42	4	.11	457	.000
	Deney başlangıç-son*karışım		.41	4	.10	443	.000
	Hata		.00	20	.00		
OKM	Deney başlangıç-sonrası		402	1	402	4622	.000
	Karışım		506	4	127	1455	.000
	Deney başlangıç-son*karışım		4.99	4	1.25	14	.000
	Hata		1.74	20	0.09		
ADF	Deney başlangıç-sonrası		278	1	278	6235	.000
	Karışım		659	4	165	3691	.000
	Deney başlangıç-son*karışım		10.80	4	3	61	.000
	Hata		0.89	20	.04		
NDF	Deney başlangıç-sonrası		711	1	711	13304	.000
	Karışım		4396	4	1099	20558	.000
	Deney başlangıç-son*karışım		44.04	4	11	206	.000
	Hata		1.07	20	.05		

VK: Varyasyon kaynağı, KT: Kareler toplamı, sd: Serbestlik derecesi, KO: Kareler ortalaması, P:önem değeri

BMP denemelerinde %7 kuru madde oranında oluşan; C, N, C/N, KOİ, EC, pH, KM, OKM, ADF ve NDF kimyasal analizleri karışımlar arasında önemli farklılık görülmüştür.

BMP denemelerinde %7 kuru madde oranında beş farklı karışımda elde edilen deney başlangıç ve sonrasında cüruf parametrelerinde; en yüksek fark N, KM, pH değeri Karışım-1'de, KM değeri Karışım-2'de C, C/N ve KOİ değeri Karışım-5'de olurken en düşük fark ise; C, C/N, KOİ, EC, OKM, ADF ve NDF değeri Karışım-1'de, KM değeri Karışım-1'de ve pH değeri Karışım-5'de meydana gelmiştir (Çizelge 4.7).

Çizelge 4.7. BMP denemelerinde %7 kuru madde oranında elde edilen cüruf parametrelerinin ortalama değerleri ve önem testi

Değişkenler	Karışım-1	Karışım-2	Karışım-3	Karışım-4	Karışım-5
C	29.97d	30.66cb	30.85c	33.99b	35.21a
N	2.24a	2.18b	2.08c	2.09c	2.14b
C/N	13.38d	14.02c	14.75b	16.18a	16.39a
KOİ	14937e	18443d	22169c	23051b	23460a
EC	9.78e	10.23d	10.56c	10.67a	10.62b
pH	7.71a	7.45b	7.27c	7.19d	7.14e
KM	6.55a	6.53a	6.47b	6.22d	6.38c
OKM	65.74e	69.34d	71.54c	75.17b	77.30a
ADF	22.25e	25.32d	29.82c	32.94b	34.88a
NDF	25.52e	30.52d	36.39c	46.73b	59.36a

Satır içersinde aynı harfleri alan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur ( $P < 0.05$ ).

BMP denemelerinde %9 kuru madde oranında beş farklı karışımda elde edilen cüruf parametrelerinde; deney başlangıç ve sonrasında varyans analiz sonucu C, N, C/N, KOİ, EC, pH, KM, OKM, ADF ve NDF kimyasal analizlerinde deney başlangıç-son, karışım ve başlangıç-son\*karışım intereaksiyonu istatistiksel olarak önemli ( $P < 0.05$ ) düzeyde bulunmuştur (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.8. BMP denemelerinde %9 kuru madde oranında elde edilen cüruf parametrelerinin varyans analiz sonuçları

Değişkenler	VK	KT	sd	KO	F	P	
C	Deney başlangıç-sonrası		57.49	1	57.49	16600.01	.000
	Karışım		84.57	4	21.14	6104.59	.000
	Deney başlangıç-son*karışım		2.18	4	0.54	157.09	.000
	Hata		0.07	20	0.00		
N	Deney başlangıç-sonrası		0.02	1	0.02	100.49	.000
	Karışım		0.04	4	0.01	46.59	.000
	Deney başlangıç-son*karışım		0.24	4	0.06	307.27	.000
	Hata		0.00	20	0.00		
C/N	Deney başlangıç-sonrası		7.26	1	7.26	702.65	.000
	Karışım		15.04	4	3.76	364.07	.000
	Deney başlangıç-son*karışım		12.91	4	3.23	312.43	.000
	Hata		0.21	20	0.01		
KOİ	Deney başlangıç-sonrası	566162209		1	566162209	23725.39	.000
	Karışım	140464037		4	35116009	1471.56	.000
	Deney başlangıç-son*karışım	12848345		4	3212086	134.60	.000
	Hata	477263		20	23863		
EC	Deney başlangıç-sonrası		4.657	1	4.66	12363.93	.000
	Karışım		2.69	4	0.67	1787.03	.000
	Deney başlangıç-son*karışım		3.43	4	0.86	2273.40	.000
	Hata		0.01	20	0.00		
pH	Deney başlangıç-sonrası		0.29	1	0.29	1876.79	.000
	Karışım		1.37	4	0.34	2193.72	.000
	Deney başlangıç-son*karışım		0.01	4	0.00	22.21	.000
	Hata		0.00	20	0.00		
KM	Deney başlangıç-sonrası		23.44	1	23.44	34476.00	.000
	Karışım		0.79	4	0.20	291.44	.000
	Deney başlangıç-son*karışım		0.78	4	0.20	288.14	.000
	Hata		0.01	20	0.00		
OKM	Deney başlangıç-sonrası		511.21	1	511.21	5605.59	.000
	Karışım		898.11	4	224.53	2462.01	.000
	Deney başlangıç-son*karışım		17.98	4	4.49	49.28	.000
	Hata		1.82	20	0.09		
ADF	Deney başlangıç-sonrası		248.60	1	248.60	2405.98	.000
	Karışım		723.08	4	180.77	1749.51	.000
	Deney başlangıç-son*karışım		16.20	4	4.05	39.19	.000
	Hata		2.07	20	0.10		
NDF	Deney başlangıç-sonrası		710	1	710	6993.00	.000
	Karışım		5186	4	1296	12764.00	.000
	Deney başlangıç-son*karışım		38	4	9.47	93.00	.000
	Hata		2.03	20	.102		

VK: Varyasyon kaynağı, KT: Kareler toplamı, sd: Serbestlik derecesi, KO: Kareler ortalaması, P:önem değeri



BMP denemelerinde %9 kuru madde oranında meydana gelen; C, N, C/N, KOİ, EC, pH, KM, OKM, ADF ve NDF kimyasal analizleri karışımlar arasında önemli ( $P<0.05$ ) farklılık görülmüştür.

BMP denemelerinde %9 kuru madde oranında beş farklı karışımda elde edilen deney başlangıç ve sonrasında cüruf parametrelerinde; en yüksek fark KM, pH için Karışım-1’de ve C, N, C/N, KOİ, EC, OKM, ADF ve NDF için Karışım-5’de, olurken en düşük fark ise C/N, KOİ, EC, OKM, ADF ve NDF için Karışım-1-2’de, C için Karışım-2’de ve KM için Karışım-4’de meydana gelmiştir (Çizelge 4.9).

Çizelge 4.9. BMP denemelerinde %9 kuru madde oranında elde edilen cüruf parametrelerinin ortalama değerleri ve önem testi

Değişkenler	Karışım-1	Karışım-2	Karışım-3	Karışım-4	Karışım-5
C	31.12c	30.77e	30.90d	32.17b	35.25a
N	2.06a	2.02b	1.97c	2.01b	2.07a
C/N	15.08d	15.16d	15.63c	16.11b	17.00a
KOİ	18686d	18884d	20431c	22314b	24398a
EC	10.03d	10.73b	10.69c	10.71cb	10.90a
pH	7.73a	7.31b	7.22c	7.16d	7.15d
KM	8.35a	8.21b	8.16c	7.87e	8.03d
OKM	66.06d	66.14d	69.45c	76.45b	79.41a
ADF	23.96e	27.42d	31.20c	33.55b	38.19a
NDF	27.91e	31.15d	38.99c	52.93b	63.63a

Satır içerisinde aynı harfleri alan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur ( $P<0.05$ ).

#### 4.5.2. CSTR denemeleri ile elde edilen parametrelerin istatistiksel analizi

CSTR denemelerinde %7 (R1, R2), %9 (R3, R4) kuru madde oranında ve dört farklı reaktörde (R1, R2, R3, R4) yapılan deneyde, biyogaz parametrelerinin (günlük metan üretimi, günlük biyogaz üretimi, metan oranı, karbondioksit üretimi); varyans analiz Çizelge 4.8’de, ortalama değerleri ve önem testi Çizelge 4.9’de verilirken cüruf parametrelerinin (C, N, C/N, EC, KM, ADF ve NDF) ise varyans analizi Çizelge 4.10’de, ortalama değerleri ve önem testi Çizelge 4.11’de verilmiştir.

CSTR denemelerinde varyans analizi sonucunda metan üretimi, günlük biyogaz üretimi, ve metan oranı reaktörler arasında istatistiksel olarak önemli ( $P<0.05$ ) bulunurken karbondioksit üretimi önemli düzeyde ( $P<0.05$ ) bulunmamıştır (Çizelge 4.10).

Çizelge 4.10. CSTR denemelerinde elde edilen biyogaz parametrelerinin varyans analiz sonuçları

Değişkenler	VK	KT	sd	KO	F	P	
Metan oranı	Reaktörler arası		55	3	18.45	5.69	.001
	Gruplar içi		376	116	3.25		
	Toplam		432	119			
Günlük biyogaz üretimi	Reaktörler arası		658	3	219	7.74	.000
	Gruplar içi		3290	116	28.37		
	Toplam		192799	120			
Günlük metan üretimi	Reaktörler arası		333	3	111	12.98	.000
	Gruplar içi		993	116	8.56		
	Toplam		1326	119			
Karbon dioksit oranı	Reaktörler arası		32	3	10.82	2.82	.052
	Gruplar içi		446	116	3.84		
	Toplam		478	119			

VK: Varyasyon kaynağı, KT: Kareler toplamı, sd: Serbestlik derecesi, KO: Kareler ortalaması, P: önem değeri

CSTR denemelerinde %7 (R1, R2), %9 (R3, R4) kuru madde oranında ve dört farklı reaktörde (R1, R2, R3, R4); günlük metan üretimi, günlük biyogaz üretimi, metan oranı üretimi arasında önemli farklılık görülürken karbondioksit üretiminde önemli ( $P < 0.05$ ) farklılık görülmemiştir.

CSTR denemelerinde en yüksek değerler; günlük metan üretimi, günlük biyogaz üretimi, metan oranı R3 ve R4'de olurken en düşük değerler; günlük metan üretimi, günlük biyogaz üretimi, metan oranı ise R1 ve R2'de meydana gelmiştir (Çizelge 4. 11).

Çizelge 4.11. CSTR denemelerinde elde edilen biyogaz parametrelerinin ortalama değerleri ve önem testi

Değişkenler	R1	R 2	R 3	R 4
Metan oranı	60.63b	61.19b	62.31a	62.09a
Günlük biyogaz üretimi	36.70b	38.10b	41.49a	42.38a
Günlük metan üretimi	22.23b	23.30b	25.76a	26.23a
Karbon dioksit oranı	37.97a	37.85a	36.81a	38.95a

Satır içerisinde aynı harfleri alan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur ( $P < 0.05$ ).

CSTR denemelerinde cüruf parametrelerinin C, N, C/N, EC, KM, ADF ve NDF reaktörler arasında fark istatistiksel olarak önemli düzeyde ( $P < 0.05$ ) bulunurken KOİ, pH ve OKM reaktörler arasında fark istatistiksel olarak önemli düzeyde ( $P < 0.05$ ) bulunmamıştır (Çizelge 4.12).

Çizelge 4.12. CSTR denemelerinde elde edilen cüruf parametrelerinin varyans analiz sonuçları

Değişkenler	VK	KT	sd	KO	F	P	
C	Reaktörler arası		6.08	3	2.03	4.19	.014
	Gruplar içi		13.53	28	.483		
	Toplam		19.61	31			
N	Gruplar arası		0.05	3	.018	26.36	.000
	Gruplar içi		0.02	28	.001		
	Toplam		0.07	31			
C/N	Reaktörler arası		21.28	3	7.094	19.79	.000
	Gruplar içi		10.04	28	.358		
	Toplam		31.32	31			
KOİ	Reaktörler arası	168430689		3	56143563	1.96	.143
	Gruplar içi	803247078		28	28687396		
	Toplam	971677768		31			
EC	Reaktörler arası		11.16	3	3.721	8.74	.000
	Gruplar içi		11.92	28	.426		
	Toplam		23.08	31			
KM	Reaktörler arası		29.67	3	9.890	892.91	.000
	Gruplar içi		0.31	28	.011		
	Toplam		29.98	31			
pH	Reaktörler arası		0.04	3	.015	0.32	.812
	Gruplar içi		1.31	28	.047		
	Toplam		1.35	31			
OKM	Reaktörler arası		1.78	3	.593	0.11	.955
	Gruplar içi		155	28	5.523		
	Toplam		156	31			
ADF	Reaktörler arası		181	3	60.290	3.60	.026
	Gruplar içi		468	28	16.725		
	Toplam		649	31			
NDF	Reaktörler arası		182	3	60.780	7.49	.001
	Gruplar içi		227	28	8.111		
	Toplam		409	31			

VK: Varyasyon kaynağı, KT: Kareler toplamı, sd: Serbestlik derecesi, KO: Kareler ortalaması, P: önem değeri

CSTR denemelerinde reaktörler arasında cüruf parametrelerinin C, N, C/N, EC, KM, ADF ve NDF kimyasal analizlerinde istatistiksel olarak önemli ( $P<0.05$ ) farklılık görülürken KOİ, pH ve OKM’de önemli farklılık olmadığı görülmüştür.

Cüruf parametrelerinde kimyasal kompozisyonlar arasındaki en yüksek fark; N değerinde R1’de, C/N, EC, KM değerinde R3 ve R4’de, ADF değerinde R4’de ve NDF değerinde R3’de olurken en düşük fark ise ADF, NDF değerlerinde R1’de C, C/N, EC, KM değerlerinde R1 ve R2’de, N değerinde R3 ve R4’de meydana gelmiştir (Çizelge 4.13).

Çizelge 4.13. CSTR denemelerinde elde edilen cüruf parametrelerinin ortalama değerleri ve önem testi

Değişkenler	R1	R 2	R 3	R 4
C	37.98b	38.34b	39.14a	38.75ab
N	1.94a	1.90b	1.84c	1.85c
C/N	19.56b	20.13b	21.67a	21.05a
KOİ	27906a	28706a	33775a	31158a
EC	10.46b	10.51b	11.63a	11.71a
pH	7.22a	7.22a	7.29a	7.30a
KM	6.86b	6.95b	8.84a	8.81a
OKM	76.68a	76.84a	77.21a	77.22a
ADF	27.70b	30.63ab	31.85ab	34.31a
NDF	58.80c	60.78bc	64.75a	63.88ab

Satır içersinde aynı harfleri alan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur ( $P<0.05$ ).

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Enerji, günümüzde gelişmişliğin bir ölçütü olarak görülmektedir. Son yıllarda dünya nüfusun artmasıyla beraber enerjiye olan gereksinim de giderek artmaktadır. Teknolojinin gelişmesi, fosil yakıtların kısıtlı olması ve çevreye vermiş olduğu zararlardan dolayı dünya genelinde yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelme yoğunlaşmıştır. Temiz, çevreci, enerji verimliliği yüksek olan yenilenebilir enerji kaynaklarından olan biyogaz teknolojisinin üretime kazandırılması enerji üretiminin yanısıra kırsal kalkınmaya önemli katkılar da sağlamaktadır. Biyogaz ve metan üretiminin artırılması için bitkisel materyaller hayvansal materyallere karıştırılarak anaerobik fermantasyon işlemine tabi tutulmaktadır. Anaerobik fermantasyon ile atık materyallerin sürdürülebilir bir şekilde biyogaza dönüştürülerek değerlendirilmesi fayda ve ekonomiklik sağladığı için dünyada yaygınlaşan bir uygulamadır. Farklı materyallerin belli oranlarda karıştırılarak anaerobik fermantasyon işlemi uygulanmasına ko-fermantasyon denilmektedir. Son yıllarda yapılan araştırmalarda, ko-fermantasyon ile farklı materyallerin en iyi karışımın oranı belirlenerek enerji verimliliği artırılmaktadır.

Bu çalışmada, büyükbaş hayvan gübresi ve makroalg materyalleri; %7 ve %9 kuru madde oranlarında, C/N oranına göre; 5 farklı karışım (Karışım-1, Karışım-2, Karışım-3, Karışım-4, Karışım-5) oluşturulmuştur. Bu karışımlardan biyogaz elde etmek amacıyla 2 farklı deneme yöntemi (BMP, CSTR) kullanılmıştır. BMP deneme yöntemi, potansiyel belirlemeye yönelik, CSTR deneme yöntemi ise sürekli beslemeli uygulamaya yönelik bir yöntemdir. BMP denemeleri ile hazırlanan karışım materyallerinin biyogaz parametreleri (metan oranları, günlük biyogaz üretimi, günlük metan üretimi, kümülatif biyogaz üretimi, kümülatif metan üretimi, özgül metan üretim değerleri) ve cüruflar parametreleri (karbon (C), azot (N), C/N, kuru madde (KM), organik kuru madde (OKM), pH, elektriksel iletkenlik (EC), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), nötr deterjanda çözünmeyen lif (NDF) ve asit deterjanda çözünmeyen lif (ADF)) belirlenmiştir. Bu denemelerinde ele alınan her bir kuru madde oranı için en verimli biyogaz parametrelerine sahip olan karışımlar bulunmuştur. Bulunan bu karışımlar sürekli beslemeli, tam karıştırmalı, sabit sıcaklıkta, birleşik kaplar prensibine göre çalışan, 4 adet 50 L'lik reaktörden (R1, R2, R3, R4) oluşan CSTR denemelerinde deneye alınmıştır. %7 kuru madde oranında elde edilen en iyi 2 karışım, R1 ve R2'de, %9 kuru madde oranında elde edilen en iyi 2 karışım ise R3 ve R4 reaktörlerine yaş halde, günlük 2 kg OKM/reaktör gün'lük yükleme oranıyla gerçekleştirilmiştir. Bu denemelerinde belirlenen en iyi 2 karışım materyallerinin; biyogaz ve cüruflar parametreleri belirlenmiştir. Araştırmada elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Her iki kuru madde oranında (%7 ve %9), büyükbaş hayvan gübresi ve makroalglerin C/N oranına göre beş farklı karışım (Karışım-1, Karışım-2, Karışım-3, Karışım-4, Karışım-5) belirlenmiştir.
- BMP denemelerinde, %7 kuru madde oranında metan oranı; büyükbaş hayvan gübresi (Karışım-5) için %60 makroalg (Karışım-1) için %52, %9 kuru madde oranı büyükbaş hayvan gübresi (Karışım-5) için %61, makroalg (Karışım-1) için %56 olarak bulunmuştur.
- BMP denemelerinde; her iki kuru madde oranında (%7, %9), biyogaz parametrelerinin (metan oranı, günlük biyogaz üretimi, günlük metan üretimi, kümülatif biyogaz üretimi, kümülatif metan üretimi, özgül metan üretimi) en yüksek değerleri Karışım-4'de, en düşük değerleri ise Karışım-1'de oluşmuştur.
- En yüksek biyogaz parametrelerinin elde edildiği Karışım-4'de, %7 kuru madde oranında C/N oranı 14.56, %9 kuru madde oranında ise C/N oranı 15.45 olarak elde edilmiştir.
- BMP denemelerinde; biyogaz parametrelerinin (günlük biyogaz üretimi, günlük metan üretimi, kümülatif biyogaz üretimi, kümülatif metan üretimi, özgül metan üretimi) kuru madde, karışım, kuru madde ve karışım interaksyonunun etkisi istatistiksel olarak önemli düzeyde ( $P<0.05$ ) bulunmuştur
- Her iki kuru madde oranında Karışım-4 için maksimum metan oranı %60-62 arasında bulunmuştur.
- BMP denemelerinde; her iki kuru madde oranında, cüruf parametrelerinin (C, N, C/N, KOİ, EC, pH, KM, OKM, ADF, NDF) kimyasal analizlerinde karışımların deney başlangıç ve sonrası karışım, deney başlangıç ve sonrası karışım intereksiyonu; istatistiksel olarak önemli düzeyde ( $P<0.05$ ) bulunmuştur.
- BMP denemelerinde; %7 kuru madde oranında, cüruf parametrelerinde deney başlangıç ve sonrası değerlerinde en yüksek fark; N, KM, pH parametrelerinde Karışım-1'de, KM'de Karışım-2'de ve C, C/N ve KOİ'de Karışım-5'de oluşurken, en düşük fark ise C, C/N, KM, KOİ, EC, OKM, ADF ve NDF parametrelerinde Karışım-1'de ve pH'da Karışım-5'de oluşmuştur.
- %9 kuru madde oranında, cüruf parametrelerinde deney başlangıç ve sonrası değerlerinde en yüksek fark; KM, pH parametrelerinde Karışım-1'de, C, N, C/N, KOİ, EC, OKM, ADF ve NDF'de Karışım-5'de oluşurken, en düşük değerler ise C/N, KOİ,

EC, OKM, ADF ve NDF parametrelerinde Karışım-1-2'de, C'da Karışım-2'de ve KM'de ise Karışım-4'de meydana gelmiştir.

- BMP denemelerinde; her iki kuru madde oranında (%7, %9), tüm karışımlarda, anaerobik fermantasyon sonucunda, cüruf parametrelerinden C, N, C/N, KOİ, pH, OKM, ADF ve NDF'de azalma, EC'de ise artma gerçekleşmiştir.
- CSTR denemelerinde; reaktörlerde (R1, R2, R3, R4) üretilen günlük metan üretimi, günlük biyogaz üretimi ve metan oranı değerleri arasında istatistiksel olarak önemli düzeyde ( $P<0.05$ ) farklılık görülürken, karbondioksit üretiminde önemli düzeyde ( $P<0.05$ ) farklılık görülmemiştir.
- CSTR denemelerinde; biyogaz parametreleri (günlük metan üretimi, günlük biyogaz üretimi, metan oranı) en yüksek R3 ve R4 reaktörlerine, en düşük ise R1 ve R2 reaktörlerinde meydana gelmiştir.
- Reaktörlerde zamana bağlı olarak oluşan cüruf parametrelerinin ortalama değerlerinde istatistiksel fark C, N, C/N, EC, KM, ADF ve NDF'de önemli düzeyde ( $P<0.05$ ) bulunmuş, KOİ, pH ve OKM'de ise önemli düzeyde ( $P<0.05$ ) bulunmamıştır.
- Cüruf parametrelerinin değerleri arasında en yüksek fark; N parametresinde R1 reaktöründe, C/N, EC, KM'de R3 ve R4 reaktörlerinde, ADF'de R4 reaktöründe ve NDF'de R3 reaktöründe, en düşük fark ise ADF, NDF'de R1 reaktöründe, C, C/N, EC, KM'de R1 ve R2 reaktörlerinde, N'de ise R3 ve R4 reaktörlerinde meydana gelmiştir.
- Tüm reaktörlerde, zamana bağlı olarak, N hariç diğer tüm cüruf parametrelerinin değerlerinde azalma gerçekleşmiştir.

Elde edilen bulgular ve değerlendirmeler sonucunda konuya ilişkin aşağıdaki öneriler sıralanabilir:

- Büyükbaş hayvan gübresi ve makroalg atıklarının en uygun karışımlarda kofermantasyonu sonucunda biyogaz ve cüruf parametrelerinin üretim verimlilikleri artırılabilir.
- Makroalg ve büyükbaş hayvan gübresi potansiyelinin fazla olduğu bölgelerde biyogaz üretim tesisleri kurularak hem enerji üretimi hem de atıkların değerlendirilmesi sağlanabilir.
- Büyükbaş hayvan gübresi ve makroalg karışımlarında, %7-9 kuru madde oranında, C/N oranı 14-16 alınarak en uygun biyogaz verimi sağlanabilir.
- Makroalgler, biyogaz tesislerinde materyal olarak kullanılabilir. Böylece tatlı su alanlarında atık, koku vb çevresel sorunların önüne geçilebilir.

- Büyükbaş hayvan gübresi, makroalg vb. materyallerin kontrolsüz koşullarda depolanması ile atmosfere salınacak olan sera gazları (metan ve karbondioksit) biyogaz prosesinin uygulamaya girmesiyle önlenmiş olabilir.
- Büyükbaş hayvan gübresi ve makroalg atıklarının biyogaz amaçlı kullanılması durumunda ortaya çıkacak yeni atıkların (cüruf) tarımda organik gübre amaçlı kullanımı sağlanabilir.
- Bu araştırmada, ele alınan materyal ve kullanılan yöntem ve elde edilen sonuçlar açısından, yapılacak araştırmalara katkı sağlayabilecektir.
- Bu çalışma, 60 bin büyükbaş hayvan kapasiteli, tarıma dayalı ihtisas büyükbaş besi organize sanayi bölgesinden biri olan ve alg materyalinin alındığı Kahramanmaraş Elbistan ilçesinde kurulabilecek biyogaz tesisinde, büyükbaş hayvan ve makroalglerin en iyi kuru madde ve karışım oranında kullanılmasına katkı sağlayarak enerji verimliliğini artırabilecektir.
- Makroalglerin ağır metal içerikleri belirlenerek uygun değerlerde bulunması sonucunda büyükbaş hayvanlara besin/silaj olarak yedirilip elde edilen gübrenin biyogaz değerleri belirlenebilir.



## KAYNAKLAR

- Abbott, I.A. (1982). Seaweeds and their uses, *Aquatic Botany*, 12, 389–390.
- Ağdağ, O. N., Sponza, D. T. (2005). Anaerobic/aerobic treatment of municipal landfill leachate in sequential two-stage up-flow anaerobic sludge blanket reactor (UASB)/completely stirred tank reactor (CSTR) systems. *Process Biochemistry*, 40(2), 895-902.
- Ahn, H. K., Smith, M.C. (2008). Biogas production potential from switch grass-animal manure mixture using dry anaerobic digestion. *ASABE Paper Number: 085157*.
- Akova, D. 2008. Yenilenebilir Enerji Kaynakları, *Nobel Yayınları* No:1229, Ankara
- Aksay, M. V. (2018). *Farklı türden atıkların anaerobik fermantasyon yöntemi ile biyogaz üretimi için optimum işletme şartlarının belirlenmesi*, Karabük Üniversitesi, Fen bilimleri enstitüsü, Doktora tezi ss:94
- Akunna, J. C., Hierholtzer, A. (2016). Co-digestion of terrestrial plant biomass with marine macro-algae for biogas production. *Biomass and Bioenergy*, 93, 137-143.
- Al-Azzam, S.M. (2003). Biogas a Source of Energy, <http://www.jes.org.jo/projects/BioGas/pdfs/s/english.pdf>.
- Amon, B., Kryvoruchko, V., Amon, T., Zechmeister-Boltenstern, S. (2006). Methane, nitrous oxide and ammonia emissions during storage and after application of dairy cattle slurry and influence of slurry treatment. *Agriculture, ecosystems & environment*, 112(2-3), 153-162.
- Amon, T., Amon, B., Kryvoruchko, V., Zollitsch, W., Mayer, K., Gruber, L. (2007). Biogas production from maize and dairy cattle manure influence of biomass composition on the methane yield. *Agriculture, Ecosystems Environment*, 118(1), 173-182.
- Anacak, S. (2012). *Hayvan çiftliklerinden kaynaklanan atıkların anaerobik arıtımı*. Yüksek Lisans Tezi, UÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.
- Anonim, (2010). Samsun İl Tarım Müdürlüğü, *Samsun İl Tarım Müdürlüğü Çiftçi Eğitimi ve Yayım Şubesi*, ss: 24.
- Anon, N. (1999). Biogas Digest Volume I- Biogas Basics, *information and advisory service on appropriate technology*, ss: 211.
- Anon, N. (2000). Selecting a Gas Use Option-Chapter 3. 2000: Retrieved from <http://epa.gov/agstar/pdf/handbook/chapter3.pdf>
- AOAC.,1990. Official Methods of Analysis. 15th ed. association of official analytical chemists, Washington, DC. US.

- Arıcı, Ş. (2009). *Biyogaz üretiminde farklı tarımsal atıkların birlikte fermentasyonunun biyokimyasal parametreler açısından incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Güneş Enerjisi Anabilim Dalı, İzmir.
- Aybek, A., Üçok, S., İspir, M.A., Bilgili M.E. (2015a). Türkiye’de kullanılabilir hayvansal gübre ve tahıl sap atıklarının biyogaz ve enerji potansiyelinin belirlenerek sayısal haritalarının oluşturulması. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 12(3), 109-120.
- Aybek, A., S, Üçok., Bilgili, M. E., İspir, M. A. (2015b). Kahramanmaraş İlinde Bazı Tarımsal Atıkların Biyogaz Enerji Potansiyelinin Belirlenerek Sayısal Haritalarının Oluşturulması. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 29(2).
- Ayhan, A. (2013). Farklı karışım oranlarındaki sığır gübresi ve mısır silajından mezofilik fermentasyonla üretilebilecek biyogaz miktarlarının belirlenmesi üzerine bir araştırma. *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 74s.
- Avcıoğlu O, A., Türker, U., D. Atasoy, Z., Koçtürk, D. (2011). Tarımsal kökenli yenilenebilir enerjiler-biyoyakıtlar. Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti. Yayın, (72).
- Badawi, M.A., Blanc, F.C., Wise, D.L., El-Shinnawi, M.M., Abo-Elnaga, S.A., El-Shimi, S.A., (1992), Anaerobic Treatment with Methane Recovery of Agricultural and Village Wastes, Resources, *Conservation and Recycling*, 7, pp. 305-323.
- Bayrakçeken, H. (1997). *Biyogaz Üretim Sistemi Tasarımı ve Uygulaması*, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon, 21-29
- Beily, M. E., Morici, G., Crespo, D., Schapiro, J. (2019). Biochemical methane potential of sheep manure: Focus in pathogen removal. *International Organization of Scientific Research*.
- Boe, K., Angelidaki, I. (2009a). Serial CSTR digester configuration for improving biogas production from manure. *Water research*, 43(1), 166-172.
- Boe, K., Karakashev, D., Trably, E., Angelidaki, I. (2009b). Effect of post-digestion temperature on serial CSTR biogas reactor performance. *Water research*, 43(3), 669-676.
- Bukvic, Z., Kralik, D., Tolisic, Z., 2002. Biomass Methane. Energy Efficiency and Agricultural Engineering. Conference Proceedings, Volume 1, p 264-270. Rouse, Bulgaria.
- Brown, D., & Li, Y. (2013). Solid state anaerobic co-digestion of yard waste and food waste for biogas production. *Bioresource technology*, 127, 275-280.
- Callaghan, F.J., Wase, D.A.J., Thayanithy, K. and Forster, C.F., (2002). Continuous co-digestion of cattle slurry with fruit and vegetable wastes and chicken manure, *Biomass and Bioenergy*, 27, 71–77pp.

- Castrillón, L., Fernández-Nava, Y., Ormaechea, P., Marañón, E. (2013). Methane production from cattle manure supplemented with crude glycerin from the biodiesel industry in CSTR and IBR. *Bioresource technology*, 127, 312-317.
- Chakravarthi, J. (1997). Biogas and energy production from cattle wastell, *Energy Conversion Engineering Conference, 1997. IECEC-97*. Proceedings of the 32nd Intersociety, USA, 648-651
- Chen, X., Romano, R. T., Zhang, R., Kim, H., (2008). Anaerobik co-digestion of dairy manure and glycerin. *Asabe Annual International Meeting Rhode Island*.
- Chen, H., Zhou, D., Luo, G., Zhang, S. ve Chen, J. (2015). “Macroalgae for Biofuels Production: Progress and Perspectives”, *Renew. Sust. Energ. Rev.*, 47: 427-437.
- Chynoweth, D.P. and Isaacson, R., (1987). Anaerobic Digestion of Biomass, *Springer; 1 edition*, 282 p.
- Comino, E., Riggio, V. A., Rosso, M. (2012). Biogas production by anaerobic co-digestion of cattle slurry and cheese whey. *Bioresource Technology*, 114, 46-53.
- Coşkun, T., Manav, N., Debik, E., Binici, M. S., Tosun, C., Mehmetli, E., & Baban, A. (2011). Anaerobic Digestion Of Cattle Manure. *Sigma*, 3, 1-9.
- Çağlar, A., Uçar, T., (1981). Türkiye'de Biyogaz Potansiyeli ve Üretim Kinetiği, *Uluslararası Biyogaz Semineri, 23-26 Kasım 1981*, Ankara, ss. 290-303
- Dede, Ö. H., Dede, G., Dede, C., Özdemir, S. (2018). Hayvansal atıklardan biyogaz üretimi için küçük ölçekli reaktör modeli geliştirilmesi. *Karaelmas Science and Engineering Journal*, 8(1), 138-146.
- Delborne, J. A., Hasala, D., Wigner, A., & Kinchy, A. (2020). Dueling metaphors, fueling futures:“Bridge fuel” visions of coal and natural gas in the United States. *Energy Research & Social Science*, 61, 101350.
- Demir, N., Yavuz, H., Perendeci, A., Çakıroğlu, C., & Celebı, S. S, 2003. Pınarbaşı Göleti'nde (Afşin-Elbistan, Kahramanmaraş) Su Bitkileri Biyokütlesinin İncelenmesi ve Yönetim Metotlarının Değerlendirilmesi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, (9)2 153-161.
- Demirci, G., Demirer, G. N., (2004). Effect of initial COD concentration, nutrient addition, temperature and microbial acclimation on anaerobic treatability of broiler and cattle manure, *BioresourceTechnology*, 93:109-117
- Dennis, A., Burke, P.E., (2001). Dairy Waste Anaerobic Digestion Handbook, Options for Recovering Beneficial Products From Dairy Manure, Environmental Energy Company, [www.makingenergy.com](http://www.makingenergy.com)

- Dhamodharan, K., Kumar, V., Kalamdhad, A.S. (2015). Effect of different livestock dungs as inoculum on food waste anaerobic digestion and its kinetics, *Bioresource Technology*, 180, 237 - 241.
- Eldem, N.Ö., Öztürk, I., Soyer, E., Çallı, B., Akgiray, Ö., (2004). Ammonia and pH Inhibition in Anaerobic Treatment of Wastewaters, Part I: Experimental, *Journal of Environmental Science and Health, Part A-Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering*, Vol. A39, 9, pp. 2405–2420
- El-Mashad, H.M., VanLoon, W.K.P., Zeeman, G., Bot, G.P.A, Lettinga, G. (2003). Reuse potential of agricultural wastes in semi-arid regions: Egypt as a case study. *Reviews in Environmental Science Bio/Technology*, 2, 53-66.
- El-Mashad, M. H., Zhang, R., (2010). Biogas Production From Co -Digestion of Dairy Manure And Food Waste. *BioresourceTechnology*, 101:4021-4028
- Ekinci, K., Üçok, S., Kumbul, B. S., Tunce, H., Güzel, H. (2018a). Biomethane Potential Of Safflower Harvest Residues. *Scientific Papers*, 41.
- Ekinci, K., Erdal, I., Uysal, Ö., Uysal, F. Ö., Tunce, H., Doğan, A. (2019). Anaerobic Digestion of Three Microalgae Biomasses and Assessment of Digestates as Biofertilizer for Plant Growth. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 38(3), e13024.
- Ekinci, K., Erdal, I., Uysal, Ö., Uysal, F. Ö., Tunce, H., Doğan, A. (2019). Anaerobic Digestion of Three Microalgae Biomasses and Assessment of Digestates as Biofertilizer for Plant Growth. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 38(3), e13024.
- Ekinci K., Tunçe H., Üçok S., (2019). The Effect On Methane Yield Of Biogas Sludge Feedback. *International Symposium on Advanced Engineering Technologies (İSADET2019)*, 2-4 Mayıs 2019, Kahramanmaraş, ss: 1409-1415.
- Eraslan, A., (1981). Biyogaz oluşumunun biyokimyasal glikelleri ve metan bakterilerinin beslenme ihtiyaçları, *Uluslararası Biyogaz Semineri*, 23-26 Kasım 1981, Ankara, ss. 173-190
- Erdal, N., (2001). *Auswirkungen und reichweite der belastung der uferbiozö nose des Halic und seiner nachargebiete im Bosporus und Marmara Meer dur städtische und Industrielle abwasser*. Graduation thesis, Bremen University.
- Ertem, F. C., Neubauer, P., Junne, S. (2017). Environmental life cycle assessment of biogas production from marine macroalgal feedstock for the substitution of energy crops. *Journal of cleaner production*, 140, 977-985.

- Fang, C., Kanokwan B., Irini A., (2011). "Anaerobic co-digestion of desugared molasses with cow manure; focusing on sodium and potassium inhibition." *Bioresource technology* 102.2: 1005-1011.
- Fantozzi, F. and Buratti, C., (2009). Biogas production from different substrates in an experimental Continuously Stirred Tank Reactor anaerobic digester, *Bioresour Technol.*, 100 (23), 5783-5789 pp.
- Fernandez, A.V., Vargas, G., Alarcon, N., Velasco, A. (2008). Evaluation of marine algae as a source of biogas in a two-stage anaerobic reactor system. *Biomass and Bioenergy* 32:338–344.
- Ferrentino, R., Merzari, F., Fiori, L., & Andreottola, G. (2019). Biochemical methane potential tests to evaluate anaerobic digestion enhancement by thermal hydrolysis pretreatment. *BioEnergy Research*, 12(3), 722-732.
- Fry, L. J., (1973). Methane digesters for fuel gas and fertilizer-with complete instructions for two working models, *The New Alchemy Institute*, Massachusetts.
- Galván-Arzola, U., Moreno-Medina, C. U., Lucho-Chigo, R., Rodríguez-Rosales, M. D. J., Valencia-Vázquez, R. (2019). Biochemical methane potential of residual biomass for energy generation. *Environmental technology*, 1-14.
- Gelegenis, J., Georgakakis, D., Angelidaki, I., Mavris, V. (2007). Optimization of biogas production by co-digesting whey with diluted poultry manure. *Renewable Energy* 32: 2147–2160 doi:10.1016/j.renene.2006.11.015
- Gilroyed, B. H., Reuter, T., Chu, A., Hao, X., Xu, W., McAllister, T. A. (2010). Anaerobic digestion of specified risk materials with cattle manure for biogas production. *Bioresource technology*, 101(15), 5780-5785.
- Güneş, M. (1999). *Fotovoltaik sistemin sağladığı elektrik enerjisi ile çalışan bir uygulama sisteminin tasarımı*, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ.
- Güngör, G. (2002). *Anaerobic treatability and biogas generation potential of broiler and cattle manure*. A Master of Science Thesis, METU, Ankara.
- Gürbüz, A. (2009). Enerji piyasası içinde yenilenebilir (temiz) enerji kaynaklarının yeri ve önemi, *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, 1-7, 13-15 Mayıs 2009, Karabük.
- Halalsheh, M., Koppes, J., Elzen, J., Zeeman, G., Fayyad, M., Lettinga, G. (2005). Effect of SRT and temperature on biological conversions and the related scum-forming potential. *Water Research*, 39, 2475–2482.

- Hartmann, H., Birgitte K. A., (2005). Anaerobic digestion of the organic fraction of municipal solid waste: influence of co-digestion with manure." *Water research* 39.8 1543-1552.
- Hammad, M., Badarneh, D., Tahboub, K. (1999). Evaluating variable organic waste to produce methane. *Energy Conversion and Management*. 40:1463-1475.
- Höök, M. (2020). Coal and Peat: Global resources and future supply. *Fossil Energy*, 309-331.
- IEA, (2013). *International energy agency world energy outlook 2013*, International Energy Agency Paris.
- ISO 6060. (1986). Determination of the chemical oxygen demand, international standards organization, Geneva, İsviçre. Optimising methane yield from anaerobic digestion of manure: Effects of dairy systems and of glycerine supplementation. *International Congress Series*. 1293:217–220.
- Itodo, I. N., Awulu, J. O., Philip, T. (2001). A comparative analysis of biogas yield from poultry, cattle and piggery wastes. In *Livestock Environment VI, Proceedings of the 6th International Symposium* (p. 402). American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- Iqbal, S. A., Rahaman, S., Rahman, M., & Yousuf, A. (2014). Anaerobic digestion of kitchen waste to produce biogas. *Procedia Engineering*, 90, 657-662.
- İlker, A. (2009). *İnek gübresinden biyogaz üretim verimine termal kimyasal ve termokimyasal önışlemlerin etkilerinin araştırılması*, Doktora Tezi, Mersin üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin, 4-48.
- İnternet, 2019. <https://biotransformers.shinyapps.io/oba1/> Erişim tarihi: 10.02.2019
- Kafle, G. K., Chen, L. (2016). Comparison on batch anaerobic digestion of five different livestock manures and prediction of biochemical methane potential (BMP) using different statistical models. *Waste management*, 48, 492-502.
- Karim, K., Klasson, K.T, Hoffmann, R., Drescher, S.R., DePaoli, D.W., Al-Dahhan, M.H. (2005). Anaerobic Digestion of Animal Waste: Effect of Mixing, *Bioresource Technology*, 96, pp. 1607–1612
- Karayılmazlar S., Saraçoğlu N., Çabuk Y., Kurt R. (2011). Biyokütlenin Türkiye’de enerji üretiminde değerlendirilmesi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, p. 63-75. Bartın.
- Kaparaju, P., (2002). "Co-digestion of energy crops and industrial confectionery by-products with cow manure: batch-scale and farm-scale evaluation." *Water Science and Technology* 45.10 (2002): 275-280.

- Kaparaju, P., Ellegaard, L., Angelidaki, I. (2009). Optimisation of biogas production from manure through serial digestion: Lab-scale and pilot-scale studies. *Bioresource Technology*, 100(2), 701-709.
- Kapluhan, E. (2014). Enerji Coğrafyası Açısından Bir İnceleme: Biyokütle Enerjisinin Dünyadaki ve Türkiye'deki Kullanımı. *Marmara Coğrafya Dergisi*, Sayı: 30, Temmuz - 2014, S.97-125.
- Keshtkar, A., Meyssami, B., Abolhamd, G., Ghaforian, H., Asadi M.K. (2003). Mathematical modeling of nonideal mixing continuous flow reactors for anaerobic digestion of cattle manure, *Bioresource Technology*, 87, pp. 113–124
- Klein, J., (2002). Anaerobic Wastewater Treatment – the Anaerobic digestion of lipids, tampere university of technology, department of environmental engineering. <http://studweb.studserv.uni-stuttgart.de>
- Kishore, V.V.N., Raman, P., Rao, V.V.R. (1987). Fixed Dome biogas plants-a design, construction and operation manual, *Tata Energy Research Institute*, New Delhi.
- Koçer A., T., (2017). *Alglerden biyogaz üretim potansiyelinin araştırılması*. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, yüksek lisans tezi, ss:91.
- Korkmaz E., (2017). *Marmara denizinden toplanan atık makroalglerin organik atıklarla birlikte biyogaz üretim potansiyelinin değerlendirilmesi*, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İstanbul, Yüksek lisans tezi ss: 71.
- Lateef, S. A., Beneragama, N., Yamashiro, T., Iwasaki, M., Ying, C., Umetsu, K. (2012). Biohydrogen production from co-digestion of cow manure and waste milk under thermophilic temperature. *Bioresource technology*, 110, 251-257.
- Lavrič, L., Cerar, A., Fanedl, L., Lazar, B., Žitnik, M., Logar, R. M. (2017). Thermal pretreatment and bioaugmentation improve methane yield of microalgal mix produced in thermophilic anaerobic digestate. *Anaerobe*, 46, 162-169.
- Lee, K., Chantrasakdakul, P., Kim, D., Kong, M., Park, K. Y. (2014). Ultrasound pretreatment of filamentous algal biomass for enhanced biogas production. *Waste management*, 34(6), 1035-1040.
- Lehtomäki, A., S. Huttunen, and J. A. Rintala (2007). "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.
- Li, Y., Feng, L., Zhang, R., He, Y., Liu, X., Xiao, X., Liu, G. (2013). Influence of inoculum source and pre-incubation on bio-methane potential of chicken manure and corn stover. *Applied biochemistry and biotechnology*, 171(1), 117-127.

- Lomborg, C. J., Holm-Nielsen, J. B., Oleskowicz-Popiel, P., Esbense, K. H. (2009). Near infrared and acoustic chemometrics monitoring of volatile fatty acids and dry matter during co-digestion of manure and maize silage. *BioresourceTechnology* 100:1711-1719.
- Marañón, E., Castrillón, L., Quiroga, G., Fernández-Nava, Y., Gómez, L., García, M. M. (2012). Co-digestion of cattle manure with food waste and sludge to increase biogas production. *Waste management*, 32(10), 1821-1825
- Mitzlaff, K., (1988). *Engines for Biogas*, A Publication of the Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien, GATE, A Division of the Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH.
- Miao, H., Wang, S., Zhao, M., Huang, Z., Ren, H., Yan, Q., Ruan, W. (2014). Codigestion of Taihu blue algae with swine manure for biogas production. *Energy Conversion and Management*, 77, 643-649.
- Montingelli, M. E., Benyounis, K. Y., Stokes, J., Olabi, A. G. (2016). Pretreatment of macroalgal biomass for biogas production. *Energy conversion and management*, 108, 202-209.
- Mosey, F. E., Foulkes, M. (1984). *Sewage Sludge Stabilisation and Disinfection*. Ellis Horwood, Chichester, England, 174-175.
- Mutlu, S. F. (2003). Biyogazın kırsal kesimde kullanımı ve tasarım temelleri, *Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi*, 27: 39-41
- Nacar, Koçer, N., Ünlü, A. (2007). *Doğu anadolu bölgesinin biyokütle potansiyeli ve enerji üretimi," anadolu bölgesi araştırmaları üniversitesi*. Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Vol. 21, No:4, p. 339-346. Elazığ.
- Nagamani, B., Ramasamy, K., (2010). Biogas production technology: An Indian perspective. <http://www.ias.ac.in/currsci/jul10/articles13.htm>.
- Neves, L., Rosário O., Alves M. M. (2009). Co-digestion of cow manure, food waste and intermittent input of fat." *Bioresource Technology* 100.6: 1957-1962.
- Nielsen, H. B., & Heiske, S. (2011). Anaerobic digestion of macroalgae: methane potentials, pre-treatment, inhibition and co-digestion. *Water science and technology*, 64(8), 1723-1729.
- Onursal E., (2016). *Gül işleme atıklarından biyogaz üretiminde etkili faktörlerin optimizasyonu ve ekonomik analizi*. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora tezi.
- Oktit, Ş., (2000). Fotovoltaik güneş pilleri ve güç sistemleri dünü, bugünü, yarını", *Türkiye 'de 8. Enerji Kongresi*, Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Gelişimi, Cilt II, Ankara, 47-62.



- Oliveira, J. V., Alves, M. M., Costa, J. C. (2014). Design of experiments to assess pre-treatment and co-digestion strategies that optimize biogas production from macroalgae *Gracilaria vermiculophylla*. *Bioresource technology*, 162, 323-330.
- Öğüt, H., (2007). Biyoyakıtlar, *Ekonomik Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 1:130-133
- Öztürk, İ. (1999). Anaerobik Biyoteknoloji ve Atık Arıtımındaki Uygulamaları. *İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Fakültesi dergisi*, 150-280.
- Öztürk. M., (2005). Hayvan Gübresinden Biyogaz Üretimi. *Çevre ve Orman Bakanlığı Ankara*.
- Öztürk, H. H. (2008). Yenilenebilir enerji kaynakları ve kullanımı. *Teknik Yayınevi*, pp: 367 Ankara.
- Pekin, B. (1983). Biyokimya Mühendisliği (Biyoteknoloji), *Ege Üniversitesi Kimya Fakültesi Yayınları*, No:3, İzmir, ss. 368-385.
- Pedendeci, A., Çığgım, A., Karışlı, H., (2014). Çukurova bölgesinde oluşan tarımsal ve hayvansal atıklardan biyogaz yoluyla enerji üretimi. *Endüstriyel Simbiyoz Konferansı*, 19-20 Şubat, Ankara.
- Polat, S., Özoğul, Y. ve Boğa, E.K. (2012). İskenderun körfezi (kuzeydoğu akdeniz) kıyısında dağılım gösteren bazı kahverengi ve kırmızı makroalg türlerinin protein, lipit ve yağ asiti içerikleri”, *Journal of Fisheries Sciences*, 6(2): 107-113.
- Pound, B., Done, F., Preston, T.R. (1981). Biogas production from mixtures of cattle slurry and pressed sugar cane stalk, with and without urea, *Trop. Anim. Prod.*, 6, pp. 11-21
- Ram, M.S., Singh, L., Suryanarayana, M.V.S., Alam, S.I. (2000). Effect of iron, nickel and cobalt on bacterial activity and dynamics during anaerobic oxidation of organic matter. *water, air, and soil pollution*, 117, pp. 305–312
- Raju, C. S., Sutaryo, S., Ward, A.J., Møller, H.B., (2012). Effects of high-temperature isochoric pre-treatment on the methane yields of cattle, pig and chicken manure. *Environmental Technology*, p1-6.
- Risberg, K., Sun, L., Levén, L., Horn, S. J., Schnürer, A. (2013). Biogas production from wheat straw and manure—impact of pretreatment and process operating parameters. *Bioresource Technology*, 149, 232-237.
- Rico, C., Rico, L., Tejero, I., Muñoz, N., Gómez, B. (2011). Anaerobic digestion of the liquid fraction of dairy manure in pilot plant for biogas production residual methane yield of digestate. *Waste Management*, 31, 2167-2173.
- Rittmann, B.E. ve McCarty, P.L., (2001), *Environmental Biotechnology: Principles and applications*, pp. 570-596, *McGraw-Hill, Inc.*, New York.

- Roesijadi, G., Jones, S. B., Snowden-Swan, L. J., Zhu, Y. (2010). Macroalgae as a biomass feedstock: a preliminary analysis (No. PNNL-19944). *Pacific Northwest National Lab.*(PNNL), Richland, WA (United States).
- Ross, A.B., Jones, J.M., Kubacki, M.L., Bridgeman, T. (2008). classification of macroalgae as fuel and its thermochemical behaviour”, *Bioresource Technol.*, 99: 6494-6504.
- Samsunlu, A., (1999). Çevre Mühendisliği kimyasal İstanbul teknik üniversitesi çevre mühendisliği bölümü, *Sam-Çevre Teknolojileri Merkezi yayınları*, İstanbul,
- Samsunlu A. (2005). Çevre mühendisliği kimyası, *Birsen Yayınevi*, İstanbul.
- Sánchez, M. J., Fernández, J. A., Niell, F. X. (1993). Biochemical and physiological responses of *Gracilaria tenuistipitata* uuder two different nitrogen treatments. *Physiologia plantarum*, 88(4), 631-637.
- Sánchez, E., Weiland, R. (2013). The Effect of biogas sparging on cow manure characteristics. *Biodeterioration & Biodegradation*, 10-16.
- Sarapatka, B., (1993). A Study of Biogas Production during anaerobic fermentation of farmyard manure, *Biomass and Bioenergy*, Vol.5, 5, pp. 387-393
- Sasse, L., (1988). Biogas Plants, A Publication of the deutsches zentrum für entwicklungstechnologien, GATE, A Division of the Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH.
- Satyanarayan, S., Murkute, P., Ramakant. (2008). Biogas production enhancement by brassica compestris amendment in cattle dung digesters. *Biomass and Bioenergy* 32: 210 – 215.
- Schlicht, A.C., 1999, Digester mixing systems can you properly Mix with too Little Power?, Walker Process Equipment, [www.walkerprocess.com/papers/DIGMIX.pdf](http://www.walkerprocess.com/papers/DIGMIX.pdf)
- Şenol, H., Açikel Ü., (2019). *Evsel organik atıklardan biyogaz üretiminin incelenmesi*. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 8(1), 132-142.
- Sezen, Y. (1984). Gübreler ve gübreleme. *Atatürk Üniv. Zir. Fak. Topr. Böl.* Erzurum.
- Shi, L.,Li, J., Zhang, W., Liu, H., (2013). Effect of temperature on dry an aerobic fermentation of animal manure and straw. *Advanced Materials Research*, 608-609, pp. 236-241.
- Sun, O., Uğurlu,S., Özer, E., (1980). Kızılçam türüne ait biyolojik kütleinin saptanması. *O.A.E Yayınları*. Teknik Bülten Serisi. No :107. Sa : 37- 50. Ankara.
- Sun, M. T., Fan, X. L., Zhao, X. X., Fu, S. F., He, S., Manasa, M. R. K., & Guo, R. B. (2017). Effects of organic loading rate on biogas production from macroalgae: performance and microbial community structure. *Bioresource technology*, 235, 292-300.
- Singh, R., R.K., Malik, P., Tauro, (1985). Anaerobic digestion of cattle waste at various retention times: A Pilot Plant Study, *Agricultural Wastes*, 12, pp. 313-316

- Sözer, S., Yıldız, O. (2006). *Sığır gübresi ve peynir altı suyu karışımlarından biyogaz üretimi üzerine bir araştırma*. Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 19(2), 179-183.
- Sözer, S., Yıldız, O., (2011). Muz serası atıkları ve sığır gübresi karışımlarından mezofilik fermantasyon sonucu üretilebilecek biyogaz miktarının belirlenmesi üzerine bir araştırma. *Mediterranean Agricultural Sciences* 24(2): 75-78.
- Sözer, S., Yıldız, O. (2016). Methane production from tomatoes wastes via co-fermentation. In CIGR-AgEng Conference, 26-29 June 2016, Aarhus, Denmark. Abstracts and Full papers (pp. 1-5). Organising Committee, CIGR 2016.
- Syaichurrozi, I. (2013). Biogas production from co-digestion *Salvinia molesta* and rice straw and kinetics, *Renewable Energy*, 115,76 - 86.
- Sze, P. (1998). A Biology of algae. Third Edition, *Georgetown University*, 278.
- Tafdrup, S. (1994). Centralized biogas plants combine agricultural and environmental benefits with energy production. *Water Science and Technology*, 30:133-140
- Taşçı, A. (1988). Çöpten hammaddeyel, bilim ve teknik dergisi (BTD), sayı 253, *TÜBİTAK Yayınları*, Ankara.
- Tedesco, S., Benyounis, K. Y., Olabi, A. G. (2013). Mechanical pretreatment effects on macroalgae-derived biogas production in co-digestion with sludge in Ireland. *Energy*, 61, 27-33.
- Tyagi, V. K., Fdez-Güelfo, L. A., Zhou, Y., Álvarez-Gallego, C. J., Garcia, L. R., Ng, W. J. (2018). Anaerobic co-digestion of organic fraction of municipal solid waste (OFMSW): Progress and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 93, 380-399.
- TÜİK, (2016). Türkiye İstatistik Kurumu. Konularına Göre İstatistikler, Tarım. [http://www.tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=kategori st](http://www.tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=kategori%20st) (Erişim: 07.01 2017).
- Tushar, J., Ghos, D.N. (1990), Studies on Residence Time Distribution in Cylindrical and Rectangular Biogas Digesters, *Energy*, Vol. 15, 11, pp. 987-991
- Uçgul, D., Akgul G. (2010). Biyokütle Teknolojisi, *YEKARUM Dergi*, 1(1): 3-11
- Üçok, S., 2016. Sebze ve Meyve Pazar Atıklarının Biyogaz Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 52 s.
- Van Die, P. (1987). An Assesment of agriculture canada's anaerobic digestion program, agriculture canada research branch, Engineering and Statistical Research Centre, *Report* 1-933.

- Vansoset P. J., Robertson, J. B., Lewis, B. A. (1991). Method for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nostarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.*,74:3583-3597.
- Vergara-Fernández, A., Vargas, G., Alarcón, N., Velasco, A. 2008. Evaluation of marine algae as a source of biogas in a two-stage anaerobic reactor system. *Biomass and Bioenergy*, 32(4), 338-344.
- Yahmed, N. B., Jmel, M. A., Alaya, M. B., Bouallagui, H., Marzouki, M. N., Smaali, I. (2016). A biorefinery concept using the green macroalgae *Chaetomorpha linum* for the coproduction of bioethanol and biogas. *Energy conversion and management*, 119, 257-265.
- Yaldız, O. (2004). *Biyogaz teknolojisi*, Akdeniz Üniversitesi, Yayın No:78 Antalya, 2004.
- Yangin G, C., Ozturk, I. (2013). Effect of maize silage addition on biomethane recovery from mesophilic co-digestion of chicken and cattle manure to suppress ammonia inhibition. *Energy Conversion and Management*,71, 92-100.
- Yorgun, S., Şensöz., S., Şölener, M. (1998). Biyokütle enerjisi potansiyeli ve değerlendirme çalışmaları. *Uzman Enerji*. Sayı: 8. s.44-48.
- Yen, H. W., Brune, D. E., (2007). Anaerobic co-digestion of algal sludge and waste paper to produce methane. *Bioresource Technology*, 98 (1): 130-134
- Yuan, X., Shi, X., Zhang, D., Qiu, Y., Guo, R., & Wang, L. (2011). Biogas production and microcystin biodegradation in anaerobic digestion of blue algae. *Energy & Environmental Science*, 4(4), 1511-1515.
- Zhang C., Xiao G., Peng L., Su H. (2013). The anaerobic co-digestion of food waste and cattle manure. *Bioresource Technology*, 129: 170-176.
- Zhang, C., Su, H., Baeyens, J., Tan, T. (2014). Reviewing the anaerobic digestion of food waste for biogas production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 38, 383-392.
- Wang, L., Li, Y., Chen, P., Min, M., Chen, Y., Zhu, J., Ruan, R. R. (2010). Anaerobic digested dairy manure as a nutrient supplement for cultivation of oil-rich green microalgae *Chlorella sp.* *Bioresource technology*, 101(8), 2623-2628.
- Wang, X., Yang, G., Feng, Y., Ren, G., Han, X., (2012). Optimizing feeding composition and carbon–nitrogen ratios for improved methane yield during anaerobic co-digestion of dairy, chicken manure and wheat straw. *Bioresource Technology* 120 78–83
- Werner, U., Stöhr, U., Hees, N., (1989). Biogas plants in animal husbandry, a publication of the deutsches zentrum für entwicklungstechnologien, GATE, A Division of the Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH.

- Westerholm, M., Hansson, M., Schnürer, A. (2012). Improved biogas production from whole stillage by co-digestion with cattle manure. *Bioresource technology* 114: 314-319.
- Wilkie, C., A. (2015). Erişim tarihi: 12/2018 , <http://biogas.ifas.ufl.edu/biogasdefs.asp>
- Wu, Y. N., Mattsson, M., Ding, M. W., Wu, M. T., Mei, J., Shen, Y. L. (2019). Effects of different pretreatments on improving biogas production of macroalgae fucus vesiculosus and fucus serratus in baltic sea. *Energy & fuels*, 33(3), 2278-2284.
- Qiao, W., Yan, X., Ye, J., Sun, Y., Wang, W., Zhang, Z. (2011). Evaluation of biogas production from different biomass wastes with/without hydrothermal pretreatment. *Renewable Energy*, 36(12), 3313-3318.



## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

**Adı Soyadı** : Serdar ÜÇOK  
**Uyruğu** : T.C.  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Çorum 21.06.1989  
**Medeni Hali** : Evli  
**e-posta** : sucok@ksu.edu.tr

### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Yılı
Doktora	KSU/ Fen Bil. Ens. Biyosistem Mühendisliği ABD	2020
Yüksek Lisans	KSU/ Fen Bil. Ens. Biyosistem Mühendisliği ABD	2016
Lisans	Çukurova Üniversitesi / Matematik Bölümü	2012
Lise	Çorum Atatürk Lisesi	2007

### Yabancı Dil

İngilizce (YDS, 88.75)

### YAYINLAR VE PROJELER

#### Makaleler

#### SCI Kapsamında Taranan Dergilerde

- Dağtekin M., Aybek, A., Üçok, S & Beyaz A (2018). The Effect of Adding Corn Silage at Different Ratios to Orange and Tangerine Wastes on Biogas Production Efficiency. Tarım Bilimleri dergisi 2018, 24(4).
- Aybek, A., Arslan, S, Üçgül, M & Üçok, S. (2017). Spline regression modelling of PTO performance of tractor fuelled with different biodiesels. Int J Agric & Biol Eng, 10(3), 115-120.
- Aybek, A., & Üçok, S. (2017). Determination and evaluation of biogas and methane productions of vegetable and fruit wastes with Hohenheim Batch Test method. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 10(4), 207-215.

## **Ulusal ve Uluslararası Hakemli Dergilerde**

- Ekinci, K., Üçok, S., Kumbul, B., Tuncel, H., Güzel, H., (2018). Biomethane Potential Of Safflower Harvest Residues. Agrolife Scientific Journal 2(1).
- Atalay, O., Ekinci, K., Kaçar, H., Üçok, S., Kumbul, B., (2018). Thermal Properties Of Pellets Made Of Peach Pit And Lignite Coal Dust. Agrolife Scientific Journal 2(1).
- Üçok, S., & Aybek, A. (2016). Determination Of Biogas Values For Tomato Wastes Using Hohenheim Batch Test Method. Middle East Journal of Science, 2(2), 90-100
- Aybek, A., Serdar, Üçok., Bilgili, M. E., & İspir, M. A. (2015). Kahramanmaraş İlinde Bazı Tarımsal Atıkların Biyogaz Enerji Potansiyelinin Belirlenerek Sayısal Haritalarının Oluşturulması. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 29(2).
- Aybek, A., Üçok, S., İspir, M. A., & Bilgili, M. E. (2015). Digital mapping and determination of biogas energy potential of usable animal manure and cereal straw wastes in Turkey. Journal of Tekirdag Agricultural Faculty, 12(3), 109-120.
- .

## **Ulusal Hakemli Dergilerde**

- Aybek, A., Serdar, Üçok., Bilgili, M. E., & İspir, M. A. (2015). Kahramanmaraş İlinde Bazı Tarımsal Atıkların Biyogaz Enerji Potansiyelinin Belirlenerek Sayısal Haritalarının Oluşturulması. Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi, 29(2), 25-37
- Aybek, A., Albayram, L. G., & Üçok, S. (2019). Co-Fermentation of Processed Orange Wastes With Cattle Manure. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 22, 109-117.

## **Uluslararası Bildiriler**

- Başbüyük F.Ü., Aybek A., Üçok S., 2019. Physico-Mechanical Properties of Biofuel Pellets Made from Cottonseed Meal and Red Pepper Processing Wastes. 3st International Mediterranean Forest And Environment Symposium 3-5 October 2019, Kahramanmaraş.
- Develi H.C., Aybek A., Üçok S., 2019. Physico-Mechanical Properties of Biofuel Pellets Made from Pistachio Shell and Olive Cake. 3st International Mediterranean Forest And Environment Symposium 3-5 October 2019, Kahramanmaraş.

- Ekinci K., Tunçe H., Üçok S., (2019). The Effect On Methane Yield Of Biogas Sludge Feedback. International Symposium on Advanced Engineering Technologies (İSADET 2019), 2-4 Mayıs 2019, Kahramanmaraş, ss: 1409-1415.
- Aybek, A., Yıldız K., Üçok, S. (2019). Design Of Farm Type Biogas Plant And Simulation Test Of Reactor Pressure Strength. International Symposium on Advanced Engineering Technologies (İSADET 2019), 2-4 Mayıs 2019, Kahramanmaraş, ss: 281-291.
- Aybek, A., Üçok, S., Yıldız, K., Arı Z., (2017). Orta Ölçekli Büyükbaş Hayvan Çiftlikleri İçin Biyogaz Ünitesi Tasarımı. International Conference on Technology, Engineering and Science (IConTES) October 26-29, 2017 in Antalya, Turkey.
- Aybek, A., Üçok, S., Gizlenci İ., Albayram, L. G., (2017). Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Kaynakları. International Conference on Technology, Engineering and Science (IConTES) October 26-29, in Antalya, Turkey.
- Aybek, A., Üçok, S., Dağtekin M., Solak M., (2017). Experimental Determination of Biomethane Potentials in Some Agricultural Wastes. 2st International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC2017), October 26-28, 2016. Adana
- Üçok, S., & Aybek, A (2016). Determination of Biogas Values For Tomato Wastes. In International Engineering, Science and Education Conference (INESEC) Science Proceeding Book (p. 706).
- Üçok, S., Aybek, A., Yıldız, K., (2016). Elma ve Şeftali Atıklarının Biyogaz Değerlerinin Deneysel Olarak Belirlenmesi 1st International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC2016), October 26-28, 2016. Adana, Turkey, p 437-444.
- Üçok, S., Aybek, A., Güzel, M., Yılmaz, S. E., (2016). A Study on The Determination of Biogas Production Value of Wastes Composed at Stage Processing of Red Pepper. International Conference on Natural Science and Engineering (ICNASE'16), March 19-20 Kilis 7 Aralık University, pp. 1438-1445.

### **Projeler**

- Karadöl H., Akyüz A., Çaylı A., Üçok S., 2019. Kümeslerde Ortam Koşullarının Denetlenmesi için Bir Uzak Kontrol Sisteminin Geliştirilmesi. KSÜ BAP Münferit Proje, Araştırmacı.



- Dağtekin M., Aybek, A., Üçok, S & Beyaz A (2018). Portakal ve Mandalina Atıklarının ve Bu Atıkların Belli Oranlarda Mısır Silajına Eklenmesi ile Biyogaz Verimlerinin Belirlenmesi, Çukurova Üniversitesi, BAP, Münferit Proje, Araştırmacı.
- Aybek, A., Değirmenci H., Üçok, S., 2017. Çeşitli Tarımsal Atıklardan Biyogaz Elde Edilmesine İlişkin Altyapı Projesi ” KSÜ BAP, Araştırmacı.
- Aybek, A., Üçok, S., 2016. Sebze ve Meyve Atıklarının Biyogaz Üretim Potansiyellerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma, KSÜ BAP YL Tez Projesi, Araştırmacı.

### **Bilimsel Kongre ve Sempozyum Katılımları**

- The International Symposium on Advanced Engineering Technologies (ISADET) May 02-04, 2019 Kahramanmaraş.
- The International Conference on Technology, Engineering and Science (IConTES) October 26-29, 2019 Antalya.
- International Mediterranean Forest and Environment Symposium (IMFES 2019) 3-5 October, 2019 Kahramanmaraş.
- 1st International Congress on Agricultural Structures and Irrigation September 26-28, 2018 Antalya.
- III. International Engineering, Science and Education Conference (INESEC 2018) 14-17 Nov. 2018, Diyarbakır.
- International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2017) 25-27 October Adana.
- International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2016) 26-28 October Adana.
- International Conference on Natural Science and Engineering(ICNASE'16) 19-20 March, 2016 Kilis.
- Enerji Tarımı ve Biyoyakıtlar 5. Ulusal Çalıştayı 21-22 Mayıs 2015 Bursa.
- Tübitak Editör ve Yazar 5. Eğitim Semineri 4 Mayıs 2015 Diyarbakır.

### **Hakemlik**

- Journal of Renewable and Sustainable Energy, USA.
- Journal of the Air & Waste Management Association, USA.

### **Yurt Dışı Deneyim**

- CİHEAM, (İtalya Erasmus Personel hareketliliği ders alma, 2019)
- Hohenheim Üniversitesi Biyoenerji Enstitüsü (2015-2016, Yüksek lisans tez araştırması Almanya )

### **Yurt İçi Deneyim**

- Süleyman Demirel Üniversitesi Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği (2017-2018, Doktora tez araştırması, Isparta)

### **Akademik teşvik**

- 2017, 2018 yılları

### **Yayın Teşvik ödülü**

- 2016 yılı

### **Hobiler**

- Futbol, fitness, tenis