T.C.
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ENERJİ KAYNAKLARI VE YÖNETİMİ
ANABİLİM DALI

MİKROALGLERİN HAYVAN GÜBRESİNDEN BİYOGAZ ÜRETİMİNE ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SELİN CESUR

TEZ DANIŞMANI
PROF. DR. NİLGÜN AYMAN ÖZ

ÇANAKKALE – 2024

T.C.
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ENERJİ KAYNAKLARI VE YÖNETİMİ ANABİLİM DALI

MİKROALGLERİN HAYVAN GÜBRESİNDEN BİYOGAZ ÜRETİMİNE ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SELİN CESUR

TEZ DANIŞMANI
PROF. DR. NİLGÜN AYMAN ÖZ

ÇANAKKALE – 2024

T.C.

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ

Selin CESUR tarafından Prof. Dr. Nilgün AYMAN ÖZ yönetiminde hazırlanan ve 30/01/2024 tarihinde aşağıdaki jüri karşısında sunulan "**Mikroalglerin Hayvan Gübresinden Biyogaz Üretimine Etkisi**" başlıklı çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü **Enerji Kaynakları ve Yönetimi Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	**İmza**
Prof. Dr. Nilgün AYMAN ÖZ	……
Doç. Dr. Aliye Suna ERSES YAY	……
Dr. Öğr. Üyesi Akın ALTEN	…….

Tez No : 10631021

Tez Savunma Tarihi : 30/01/2024

Dr. Öğr. Üyesi İsmail Onur TUNÇ

Enstitü Müdürü V.

…/…/2024

ETİK BEYAN

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kuralları'na uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi taahhüt ve beyan ederim.

Selin CESUR
29/03/2024

TEŞEKKÜR

Mikroalglerin Hayvan Gübresinden Biyogaz Üretimine Etkisi konulu tezimin hazırlanmasında bana her türlü desteği sağlayan başta değerli danışman hocam Prof.Dr. Nilgün AYMAN ÖZ'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin konusu olan Mikroalglerin Hayvan Gübresinden Biyogaz Üretimine Etkisi, günümüzün en önemli çevresel sorunlarından biri olan iklim değişikliği ile mücadelede önemli bir potansiyele sahiptir. Bu potansiyeli ortaya çıkarmak ve sığır gübresi ve mikroalg atıklarının çevre dostu bir şekilde değerlendirilmesini sağlamak amacıyla yaptığım çalışmada, değerli hocam her zaman yanımda oldular.

Laboratuvar çalışmalarımda bana yardımcı olan ve değerli görüşlerini paylaşan İremsu KAYAN'a da ayrıca teşekkür ederim.

Sevgili ailem, hayatımın her aşamasında yanımda olduğunuz, bana her zaman destek olduğunuz, güvendiğiniz için sizlere minnettarım. Tezimin yazımında motivasyonumu arttıran, yardım eli uzatan yol arkadaşım İlke KASABOĞLU'na ve tüm hocalarıma tekrar teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Saygılarımla,

Selin CESUR

Çanakkale, Mart 2024

ÖZET

MİKROALGLLERİN HAYVAN GÜBRESİNDEN BİYOGAZ ÜRETİMİNE ETKİSİ

Selin CESUR
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Enerji Kaynakları ve Yönetimi Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi
Danışman: Prof. Dr. Nilgün AYMAN ÖZ
30/01/2024, 59

Son yıllarda birçok alanda kullanılmaya başlanan alglerin biyogaz üretimine etkisinin incelendiği çalışmalar yürütülmeye başlanmıştır. Literatür incelendiğinde, son dönemlerde farklı alg ve atık türleriyle biyogaz elde edilmesi üzerine çalışmalar yoğunlaşmıştır. Bu durum göz önüne alındığında alglerle üretilen biyogazın öneminin artmakta olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla bu çalışma kapsamında bir mikroalg türü olan Nannocloropsisin hayvan gübresinden biyogaz üretimine etkisi incelenmiştir. Bu algin seçilmesinin nedeni, diğer alglerle karşılaştırıldığında çok yüksek lipit içeriğe (%30,5) sahip olmasıdır (Rehman vd., 2022). Yüksek lipit içeriğinden dolayı *Nannokloropsis*, enerji, gıda sektörü ve alternatif ürünlerin elde edilmesinde kullanılmaktadır. Ancak literatürde bu konuda oldukça sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır.

Bu çalışma kapsamında bir mikroalg türü olan *Nannokloropsis*in hayvan gübresinden biyogaz üretimine etkisi çeşitli mikroalg oranlarında incelenmiştir. En yüksek biyogaz verimi %12 mikroalg içerikli reaktörde elde edilmiştir. *Nannokloropsis*in yüksek lipit içeriği ile biyogaz üretimine pozitif etkisi olmuştur. Bu tez kapsamında, biyogaz üretiminde hammadde olarak kullanılan büyükbaş hayvan gübresi ve bir mikroalg türü olan Nanokloropsisin birlikte fermantasyonu ile biyogaz verimine etkisi incelenmiştir. Ayrıca bu tez çalışmasında bibliyometrik ve sistematik analiz yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Biyogaz, Mikroalg, Enerji, Nannocloropsis, Gübre

ABSTRACT

THE EFFECT OF MICROALGAE ON BIOGAS PRODUCTION FROM ANIMAL MANURE

Selin CESUR

Çanakkale Onsekiz Mart University

School of Graduate Studies

Master of Science Thesis in Department of Energy Resources and Management

Advisor: Prof. Dr. Nilgün AYMAN ÖZ

01/30/2024, 59

In recent years, studies have been started to investigate the effect of algae, which have been used in many fields, on biogas production. When the literature is examined, studies on the production of biogas with different types of algae and waste have recently been concentrated. Given this situation, it shows that the importance of biogas produced by algae is increasing. Therefore, within the scope of this study, the effect of Nannocloropsis, a microalgae species, on biogas production from animal manure was examined. The reason for choosing this algae is that it has a very high lipid content (30.5%) compared to other algae (Rehman vd., 2022). Due to its high lipid content, Nannocloropsis is used in the production of energy, food industry and alternative products.However, there are very limited studies on this subject in the literature.

In this study, the effect of a microalgae species, Nannocloropsis, on biogas production from animal manure was investigated under various microalgae ratios. The highest biogas efficiency was obtained in the reactor with 12% microalgae content. Nannocloropsis's high lipid content had a positive effect on biogas production. In this study, the effect of co-fermentation of Nannocloropsis, a microalgae species, and cattle manure, which is used as a raw material in biogas production, on biogas yield was investigated. In addition, bibliometric and systematic analysis were performed in this thesis study.

Keywords: Biogas, Microalgae, Energy, Nannocloropsis, Manure

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

JÜRİ ONAY SAYFASI……..……... i
ETİK BEYAN…… ii
TEŞEKKÜR…….. iii
ÖZET ……..…….…….. iv
ABSTRACT …….. v
İÇİNDEKİLER ……..…… vi
SİMGELER ve KISALTMALAR…….....……. viii
TABLOLAR DİZİNİ…….…. ix
ŞEKİLLER DİZİNİ……..……...…….. x

BİRİNCİ BÖLÜM
GİRİŞ

1.1. Mikroalgler...……...……...…….……...……... 2
1.1.1. Mikroalglerin Temel Özellikleri ……..…….…..…… 4
1.1.2. Mikroalglerin Kullanım Alanları 5
Mikroalglerin Atık Su Arıtımında Kullanılması....…….. 6
Mikroalglerin Biyoyakıt Üretiminde Kullanılması ....…….. 8
1.1.3. Mikroalg Üretim Sistemleri ....……. 10
1.1.4. Mikroalg Üretimini Etkileyen Faktörler....…….. 13
1.1.5. Türkiye'de Mikroalg Üretimi…… 14
1.1.6. Dünya'da Mikroalg Üretimi…….. 16
1.2 Sürdürülebilir Enerji Kaynakları…….. 16
1.3 Biyoyakıtlar…….. 17
1.3.1. Biyogaz Üretimi ve Faydaları…….. 18
1.3.2. Biyogaz Üretim Aşamaları……... 19
1.3.3. Hayvan Gübresi ile Biyogaz Üretimi……... 20
1.4 Anaerobik Reaktörlerin Avantajları……. 21
1.5 Nannokloropsis……. 22
1.5.1. Nannokloropsisin Biyogaz Üretimine Etkisi…… 23

İKİNCİ BÖLÜM
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 24

2.1 Bibliyometrik Analiz 24

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM
ARAŞTIRMA YÖNTEMİ/MATERYAL YÖNTEM 28

3.1. Gübre ve Anaerobik Aşı Çamurunun Özellikleri 28
3.2 Mikroalg Temini..... 28
3.2.1 Nannokloropsis'in Özellikleri ve Büyüme Koşulları..... 29
3.3. Biyogaz Reaktör Düzeneği 30
3.3.1. Biyogaz Reaktör İçerikleri..... 31
3.3.2. Anaerobik Reaktörlerin Çalışma Koşulları..... 31
3.4. Veri Toplama Teknikleri..... 32
3.4.1. Analitik Metodlar 32

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM
ARAŞTIRMA BULGULARI 33

4.1. Reaktörlere Ait Biyogaz Değerleri 33
4.2. Sistematik Analiz 39

BEŞİNCİ BÖLÜM
SONUÇ ve ÖNERİLER 47

KAYNAKÇA 48

SİMGELER VE KISALTMALAR

COD	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
H_2S	Hidrojen Sülfür
CO_2	Karbondioksit
TKM	Toplam Katı Madde
TUKM	Toplam Uçucu Katı Madde
TOC	Toplam Organik Karbon
$CaCO_3$	Kalsiyum Karbonat
TN	Toplam Nitrojen
MGC	Miligaz Ölçer
PBR	Kapalı Fotobiyoreaktörler
CNG	Sıkıştırılmış Doğalgaz

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo No	Tablo Adı	Sayfa No
Tablo 1	Açık Sistemlerin Avantajları ve Dezavantajları	12
Tablo 2	Kapalı Sistemlerin Avantajları ve Dezavantajları	12
Tablo 3	Anaerobik Reaktörlerin Çalışma Koşulları	31
Tablo 4	Analitik Metodlar	32
Tablo 5	Reaktörlere Ait Biyogaz Değerleri	33
Tablo 6	Sistematik Analiz	40

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Şekil Adı	Sayfa No
Şekil 1	Ortak Anahtar Kelime Analizi Diyagramı	24
Şekil 2	Yıllara Göre Anahtar Kelime İlişkisi Diyagramı	25
Şekil 3	Ülkelere Göre Araştırmalar Diyagramı	26
Şekil 4	Gübre Anahtar Kelimesi ve Ortak Yazar Analizi Diyagramı	27
Şekil 5	Mikroalg Havuzu ve Mikroalg Türünün Mikroskop İmajı (40x)	29
Şekil 6	Lab Ölçekli Reaktör Düzeneği ve MGC (Gaz Ölçüm Cihazları)	30
Şekil 7	Reaktör 1'in Günlere Göre Biyogaz Artış Grafiği	35
Şekil 8	Reaktör 2'nin Günlere Göre Biyogaz Artış Grafiği	36
Şekil 9	Reaktör 3'ün Günlere Göre Biyogaz Artış Grafiği	37
Şekil 10	Reaktör 4'ün Günlere Göre Biyogaz Artış Grafiği	37
Şekil 11	Reaktör 5'in Günlere Göre Biyogaz Artış Grafiği	38
Şekil 12	Reaktör 6'nın Günlere Göre Biyogaz Artış Grafiği	39

BİRİNCİ BÖLÜM
GİRİŞ

Günümüzde, fosil yakıtlarla enerji üretimi, ülkelerin gerek dışa bağımlı olmalarıyla gerekse küresel ısınma gibi çevresel olumsuz etkilerinden dolayı önemini kaybetmekte olup, yenilenebilir enerji kaynakları alternatif olarak önem kazanmaya başlamıştır. Fosil yakıtların tükenmesi ve iklim değişikliği gibi küresel sorunlar nedeniyle, sürdürülebilir enerji kaynaklarının üretimi konusundaki araştırmalar tüm dünyada önem kazanmıştır. Bu durum, ülkemizde de fosil yakıt rezervlerinin yetersizliği ve dışa bağımlılığın artması nedeniyle biyogaz gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini artırmıştır.

Biyogaz hayvansal, bitkisel, evsel ve endüstriyel organik atıkların oksijensiz bir ortamda parçalanması sonucu elde edilen bir gazdır. Biyogaz yapısında yaklaşık %40-70 metan ve %30-40 karbondioksit gazı bulunan parlak mavi bir alevle yanan enerji değeri olan bir gazdır. Biyogaz tesisleri, gerek enerji üretiminde gerekse atık yönetiminde kullanılmaktadır. Biyogaz üretiminin işletme maliyetinin ekonomik oluşu, kaynakların tükenmez oluşu ve yerli kaynaklara dayalı olması nedeniyle biyogaz avantajlı bir seçenek haline gelmektedir.

Ülkemizde yapılan çalışmalar incelendiğinde biyogaz üretiminde genel olarak hayvan gübresi ve sanayi atıklarının kullanıldığı görülmektedir. Son yıllarda birçok alanda kullanılmaya başlanan alglerin biyogaz üretimine etkisinin incelendiği çalışmalar yürütülmeye başlanmıştır. Literatür incelendiğinde, son dönemlerde farklı alg ve atık türleriyle biyogaz elde edilmesi üzerine çalışmalar yoğunlaşmıştır. Bu durum göz önüne alındığında alglerle üretilen biyogazın öneminin artmakta olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla bu çalışma kapsamında bir mikroalg türü olan Nannocloropsisin hayvan gübresinden biyogaz üretimine etkisi incelenecektir. Bu algin seçilmesinin nedeni, diğer alglerle karşılaştırıldığında çok yüksek lipit içeriğe (%30,5) sahip olmasıdır. Yüksek lipit içeriğinden dolayı Nannocloropsis, enerji, gıda sektörü ve alternatif ürünlerin elde edilmesinde kullanılmaktadır. Ancak literatürde bu konuda oldukça sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır.

Biyogaz yenilenebilir, sürdürülebilir ve temiz bir enerji çeşididir. Aynı zamanda atık yönetiminde ve bertarafında önemli bir yeri vardır. Büyükbaş hayvan gübresi uygun şekilde bertaraf edilmediğinde çeşitli kirleticiler atmosfere salınır, koku problemine neden

olur, yeraltı ve yer üstü suları ile kirleticiler çevreye yayılır. Bu atıklardan biyogaz eldesi ile kirleticilerin çevreye yayılması önlenirken aynı zamanda enerji eldesi de mümkün olmaktadır. Biyogaz, ısı ve elektrik üretiminde kullanılabilecek, fosil yakıtlara alternatif, temiz ve yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Ülkemizde her sene 590-880 milyon ton metan gazı organik atıkların kontrolsüz koşullarda çürümeye bırakılmasından dolayı atmosfere salınmaktadır (H. Şenol vd., 2017). Ayrıca karbondioksit gazı da salınmaktadır. Organik atıklardan kaynaklanan metan emisyonları, atmosferdeki toplam metan emisyonlarının yaklaşık %90' ını oluşturmaktadır. Metan gazı karbondioksite göre 21 kat daha fazla küresel ısınmaya sebep olmaktadır. Sera gazına katkısı yaklaşık %15 oranındadır (Kossmann vd., 1999). Hayvansal ve bitkisel atıklar biyogaz üretiminde kullanıldıklarında gerek ısı ve elektrik enerjisi gerekse toprak için oldukça yararlı bir gübre eldesi mümkün olmaktadır. Ülkemizde biyogaz tesisleri yoğun olarak enerji üretiminde kullanılmaktadır. Hammadde temini bazı tesislerde sorun oluşturmakta ve enerji üretiminde dalgalanmalar yaşanabilmektedir. Mikroalgler birçok atıksu ile üretilebilmektedir ve organik içeriği nedeniyle biyogaz tesislerinde kullanılabilme potansiyeline sahiptir. Dolayısıyla bu tez kapsamında mikroalglerin hayvan gübresinden biyogaz üretimine etkisi irdelenerek, enerji üretimindeki rolü incelenmiştir.

1.1.Mikroalgler

Mikroalgler, algler olarak bilinen çeşitli mikroorganizma gruplarına ait mikroskobik, tek hücreli organizmalardır. Okyanuslar ve göllerden nehirlere ve hatta nemli toprağa kadar değişen tatlı su ve deniz ortamlarında yaygın olarak bulunurlar. Mikroalgler, güneş ışığını, karbondioksiti ve besin maddelerini fotosentez yoluyla organik maddeye dönüştüren birincil üreticiler olarak dünyanın ekosisteminde çok önemli bir rol oynar. Türlerine bağlı olarak boyutları birkaç mikrometreden birkaç yüz mikrometreye kadar değişebilir. Mikroalglerin biyolojik çeşitliliği muazzamdır ve neredeyse kullanılmayan bir kaynağı temsil ederler. Karotenoidler, antioksidanlar, yağ asitleri, enzimler, polimerler, peptitler, toksinler ve steroller dahil olmak üzere alg biyokütlesinden kaynaklanan 15.000'den fazla yeni bileşik kimyasal olarak belirlenmiştir. Mikroalgler, su ortamlarında büyüyebilen ve biyokütle oluşturmak için ışık ve karbondioksit kullanan organizmalardır (Nurko vd., 2023; Sasa vd., 2020).

Yeşil algler, diatomlar ve dinoflagellatlar dahil olmak üzere 50.000'den fazla sınıflandırılmış mikroalg türü vardır ve birçok farklı cinste yaklaşık 200.000 - 800.000 tür vardır ve bunların yaklaşık 50.000 'i tanımlanmıştır (Uzuner vd., 2020).

Bazı mikroalg türleri:

- *Ankistrodesmus sp.*
- *Chlorella Emersonii*
- *Chlorella pyrenoidosa*
- *Euglena gracilis*
- *Çeşitli Klorella türleri*
- *Prymnesium parvum*
- *Spirogyra sp.*
- *Spirulina maxima*
- *Synechoccus sp.*
- *Tetraselmis maculate*
- *Botryococcus braunii*
- *Nostoc komünü*
- *Haematococcus pluvialis*
- *Schizochytrium*
- *Feodaktil*
- *Monodus*
- *Nannokloropsis*
- *Porfiridyum*

Mikroalglerin özellikleri türlere göre değişir. Bazı mikroalg türleri lipitler ve yağ asitleri içerirler, bu da onları biyoyakıtlar ve biyofarmasötikler için umut verici bir kaynak yapar (Elcik vd., 2017 ; Singh vd., 2015).

Mikroalgler yenilenebilir, sürdürülebilir ve ekonomik biyoyakıt kaynakları, biyoaktif tıbbi ürünler ve gıda bileşenleridir. Güneş enerjisini verimli bir şekilde biyokütleye dönüştürebilirler ve karbon emisyonlarını azaltmaya yardımcı olmak için atmosferden karbondioksiti yakalamada harikadırlar. Bazı mikroalg türleri yenilebilir ve ticari amaçlarla çeşitli şekillerde kullanılmaktadır. Mikroalgler ayrıca kozmetik, ilaç ve biyolojik gübrelerde de kullanılır.

Genel olarak, mikroalgler, sera gazı emisyonlarını azaltmak, mahsul büyümesini ve sağlığını iyileştirmek, atık suyu arıtmak, toprak sağlığını iyileştirmek ve plastiklere daha yeşil alternatifler sağlamak dahil olmak üzere çeşitli zorluklara çevresel olarak sürdürülebilir çözümler sağlama potansiyeline sahiptir (Saatcı vd., 2022).

1.1.1. Mikroalglerin Temel Özellikleri

- Çeşitlilik: Mikroalgler, şekil, boyut ve renk bakımından farklılık gösteren binlerce türü kapsayan dikkate değer bir çeşitlilik sergiler. Tek hücreli olabilirler veya koloniler oluşturabilirler ve boyutları birkaç mikrometreden birkaç milimetreye kadar değişebilir (Rosa vd., 2017).
- Fotosentez: Bitkiler gibi mikroalgler de güneş ışığını kimyasal enerjiye dönüştürmek için fotosentez kullanır. Işık enerjisini emmelerine ve onu şekerlere ve diğer organik bileşiklere dönüştürmelerine izin veren klorofil ve çeşitli karotenoidler gibi pigmentler içerirler (Richmond, 1986).
- Besin değeri: Mikroalgler, proteinler, karbonhidratlar, lipitler (yağlar), vitaminler ve mineraller dahil olmak üzere temel besinler açısından zengindir. Bazı mikroalg türleri yüksek protein içeriğine sahiptir ve insan ve hayvan tüketimi için potansiyel alternatif protein kaynakları olarak araştırılmaktadır (Benemann vd.,1987).
- Çevresel etki: Mikroalgler, ekolojik dengenin korunmasında önemlidir ve suda yaşayan besin zincirinin hayati bir parçasıdır. Zooplankton, küçük balıklar ve omurgasızlar dahil olmak üzere çeşitli organizmalar için besin kaynağı olarak hizmet ederler. Ek olarak, oksijen üretimine katkıda bulunurlar ve su kütlelerindeki karbondioksit seviyelerini düzenlemeye yardımcı olurlar (Pulz vd., 2004).

1.1.2. Mikroalglerin Kullanım Alanları

Mikroalgler kendilerine has özellikleri ve kabiliyetleri nedeniyle geniş bir kullanım alanına sahiptir. Mikroalglerin başlıca kullanım alanları aşağıdaki gibidir:

- Su Ürünleri Yetiştiriciliği ve Hayvan Yemi: Mikroalgler, su ürünleri yetiştiriciliğinde balık, karides ve diğer su organizmaları için doğal bir yem kaynağı olarak kullanılır. Temel besinleri sağlarlar ve hayvanların büyümesine ve sağlığına katkıda bulunurlar. *Nannokloropsis*, Tetraselmis ve Isochrysis gibi mikroalgler, su ürünleri yetiştiriciliğinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Rodolfi vd., 2003).
- Karbon Yakalama ve Biyolojik Ayrıştırma: Mikroalgler, fotosentez sırasında karbondioksiti (CO2) yakalayabilir ve kullanabilir, bu da sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yardımcı olur. Karasal bitkilere kıyasla daha yüksek bir CO2 sabitleme oranına sahiptirler, bu da onları atmosferden CO2'yi uzaklaştırmada verimli kılar. Fotobiyoreaktörler veya açık havuzlar gibi büyük ölçekli sistemlerde mikroalg yetiştirmek, önemli miktarda karbonu tutabilir ve karbon nötr olma çabalarına katkıda bulunabilir (Kiesenhofer vd., 2018 ; Onyeaka vd., 2021).
- Atık Su Arıtımı ve Besin Giderimi: Mikroalgler, atık su arıtma sistemlerinde nitrojen ve fosfor gibi besin maddelerini gidermek için kullanılabilir. Bu besinler alg büyümesi için gereklidir ve mikroalgler bunları kullanarak su kirliliğini azaltmaya yardımcı olur. Ek olarak, atık su arıtımı sırasında üretilen biyokütle toplanabilir ve biyoyakıt kaynağı olarak kullanılabilir, bu da sürdürülebilir enerji üretimine daha fazla katkıda bulunur (Christenson vd., 2011).
- Biyoyakıt Üretimi: Mikroalgler, yüksek lipid içerikleri nedeniyle umut verici bir biyoyakıt kaynağı olarak kabul edilir. Bu lipitler, çeşitli ekstraksiyon ve rafinasyon işlemleri yoluyla biyodizele dönüştürülebilir. Geleneksel biyoyakıt mahsullerinin aksine, mikroalgler ekilebilir olmayan arazilerde yetiştirilebilir ve gıda üretimi ile rekabet etmez. Ayrıca, biyoyakıt üretimi için mikroalg ekimi potansiyel olarak CO_2 emisyonlarında net bir azalma ile sonuçlanabilir (Christenson vd., 2011 ; Elcik vd., 2017).
- Biyoremediasyon: Mikroalgler, ağır metaller, böcek ilaçları ve organik kirleticiler dahil olmak üzere kirleticileri kullanma yeteneğine sahiptir. Biyoremediasyon olarak bilinen bu özellik, onları kirli su kütlelerinin, endüstriyel atık suyun ve kirlenmiş

toprağın temizlenmesinde faydalı kılar. Mikroalgler, bu kirleticileri biyokütlelerinde biriktirerek tehlikeli maddelerin uzaklaştırılmasına ve detoksifikasyonuna yardımcı olur (Smaoui, S. vd. , 2021).

- Gıda ve Yem Üretimi: Spirulina ve Chlorella gibi belirli mikroalg türleri proteinler, esansiyel amino asitler, vitaminler ve mineraller açısından zengindir ve bu da onları gıda ve yem üretimi için uygun hale getirir. Bu özellik, özellikle vejetaryen ve vegan beslenme tarzını benimseyenler için önemlidir, çünkü bu mikroalgler hayvansal kaynaklardan elde edilen proteinlere bir alternatif sunabilir. Bu amaçlar için mikroalg yetiştiriciliği, geleneksel protein kaynaklarına sürdürülebilir bir alternatif sunarak kara ve tatlı su canlıları üzerindeki baskıyı azaltır (İrkin, 2020 ; Ünver vd., 2017).
- Farmasötik ve Nutrasötik Uygulamalar: Mikroalgler, potansiyel farmasötik ve nutrasötik uygulamaları olan değerli bir biyoaktif bileşik kaynağıdır. Fonksiyonel gıdaların, diyet takviyelerinin ve farmasötik ürünlerin geliştirilmesinde kullanılabilen antioksidanlar, pigmentler ve omega-3 yağ asitleri gibi çok çeşitli bileşikler üretirler (Ferrazzano vd., 2020).
- Çevresel İzleme ve Araştırma: Mikroalgler, su kalitesi ve çevre sağlığının önemli göstergeleridir. Varlıkları ve bollukları, sucul ekosistemlerin ekolojik durumunu izlemek ve değerlendirmek için kullanılabilir. Mikroalgler, ekoloji, limnoloji, deniz biyolojisi ve çevre bilimi gibi araştırma alanlarında kapsamlı bir şekilde incelenmektedir (Aydın-Şişman, 2019).

Mikroalglerin incelenmesi ve kullanılması, sürdürülebilir gıda üretimi, yenilenebilir enerji ve çevre yönetimindeki potansiyel uygulamaları nedeniyle büyük ilgi görmüştür. Devam eden araştırmalar, yeni türleri ortaya çıkarmaya, biyolojilerini anlamaya ve faydalarından yararlanmanın yenilikçi yollarını keşfetmeye halen devam etmektedir (Halkos vd., 2020)

Mikroalglerin Atık Su Arıtımında Kullanılması

Mikroalglerin atık su arıtımında kullanılması, karbondioksiti (CO_2) verimli bir şekilde biyoyakıta dönüştürebildiği için atık su arıtmanın yanı sıra biyoyakıtlar gibi yararlı kimyasal bileşiklerin mikroalg üretimi açısından 50 yılı aşkın süredir geniş çapta incelenen sürdürülebilir bir seçenektir. Geleneksel yöntemlere göre çeşitli avantajlar sunarlar ve aynı

anda değerli biyokütle ve biyoenerji üretirken kirleticilerin uzaklaştırılmasına katkıda bulunabilirler. Atık su arıtımında kullanılan mikroalgler, yüksek besin konsantrasyonları ve düşük ışık dahil olmak üzere çok çeşitli koşullarda büyüyebilir. Atıksu arıtımında mikroalglerin büyümesi, atık suyun fizikokimyasal ön arıtımı ile arttırılabilir. Atık su arıtımında mikroalg büyümesinin amacı, atık sudan kirleticileri uzaklaştırmak ve biyokütle üretmektir (Abdel-Raouf vd., 2012, ; Christenson vd., 2011).

Atık su arıtımında mikroalglerin kullanıldığı bazı yollar şunlardır:

- Besin Giderimi: Mikroalgler, nitrojen ve fosfor gibi besin maddelerinin atık sudan uzaklaştırılmasında etkilidir. Büyüdükçe bu besinleri asimile ederek sudaki nitrojen ve fosfor seviyelerini düşürürler. Besin alımı olarak bilinen bu süreç, ötrofikasyonun ve buna bağlı olarak sucul ekosistemler üzerindeki olumsuz etkilerin önlenmesine yardımcı olur.
- Karbondioksit Yakalama: Mikroalgler, karbondioksite (CO_2) yüksek bir afiniteye sahiptir ve onu baca gazlarından veya atık sudan verimli bir şekilde yakalayabilir. Mikroalg yetiştiriciliğini atık su arıtma tesisleri veya endüstriyel süreçlerle entegre ederek, aynı anda atık suyu arıtırken CO_2 emisyonları azaltılabilir (Li vd., 2019 ; Su , 2021).
- Biyokütle Üretimi: Mikroalgler hızla büyüyebilir ve çeşitli amaçlar için hasat edilebilen ve kullanılabilen biyokütle biriktirebilir. Biyokütle, biyoyakıt, hayvan yemi, gübre veya yüksek değerli kimyasallar üretmek için işlenebilir. Biyokütle için mikroalg hasadı, atık su arıtma maliyetlerinin dengelenmesine yardımcı olabilir ve ek gelir akışları yaratabilir.
- Ağır Metal ve Organik Kirletici Giderimi: Bazı mikroalg türleri, atık suda bulunan ağır metalleri ve organik kirleticileri alma ve biriktirme yeteneğine sahiptir. Bu kirleticileri hücresel yapılarında tutabilirler ve sudaki derişimlerini azaltabilirler. Mikroalg bazlı sistemler, ağır metallerle kirlenmiş endüstriyel atık suların arıtılmasında özellikle etkili olabilir (Su, 2021 ; Hammouda vd.,1995).
- Oksijenasyon ve pH Stabilizasyonu: Mikroalgler fotosentez yaparak oksijen üretir ve karbondioksit tüketir. Atık su arıtımında, bu fotosentetik aktivite suyun oksijenlenmesine yardımcı olabilir, kalitesini iyileştirir ve aerobik mikrobiyal aktiviteyi destekler. Mikroalgler, büyümeleri sırasında organik asitlerin salınımını düzenleyerek sudaki pH seviyelerini stabilize etmeye de yardımcı olabilir.

❖ Üçüncül Arıtma: Mikroalgler, atık su arıtma tesislerinde atık suyu boşaltmadan önce daha fazla cilalamak için üçüncül arıtma adımı olarak kullanılabilir. Mikroalg havuzları veya biyoreaktörler dahil edilerek, artık besinler ve organik madde daha da azaltılarak daha temiz su elde edilebilir (Su, 2021 ; Li vd., 2019).

Atık su arıtımı için mikroalg bazlı sistemlerin başarılı bir şekilde uygulanmasının tür seçimi, yetiştirme koşulları ve sistem tasarımı gibi faktörlere bağlı olduğuna dikkat etmek önemlidir. Bu süreçleri optimize etmek ve ölçek büyütme, maliyet etkinliği ve operasyonel kararlılık gibi zorlukları ele almak için daha fazla araştırma ve geliştirme yapılmaktadır.

Dünya'da mikroalg bazlı atıksu arıtımı hala araştırma ve geliştirme aşamasında olsa da, dünyada başarılı uygulamanın bazı dikkate değer örnekleri vardır:

- 2019 yılında Kaliforniya'daki bir mandıra çiftliğine pilot ölçekli mikroalg bazlı bir atık su arıtma sistemi kurulmuştur. Sistem, atık sudaki nitrojen ve fosforun %90'a kadarını giderirken aynı zamanda hayvan yemi veya biyoyakıt üretimi için kullanılabilecek biyokütle üretebilmeyi başarmıştır (Chai vd., 2021).
- 2020 yılında, İspanya'da bir belediye atık su arıtma tesisinde mikroalg bazlı bir atık su arıtma sistemi hayata geçirilmiştir. Sistem, atık sudaki nitrojen ve fosforun %95'e kadarını giderirken aynı zamanda gübre veya biyoyakıt üretimi için kullanılabilecek biyokütle üretebilmiştir (Hussain vd., 2021).

Bu örnekler, geleneksel atık su arıtma yöntemlerine göre sürdürülebilir ve uygun maliyetli bir alternatif olarak mikroalg bazlı atık su arıtımının potansiyelini göstermektedir (Abinandan vd., 2015; Maryjoseph vd., 2020).

Mikroalglerin Biyoyakıt Üretiminde Kullanılması

Mikroalglerden biyoyakıt üretimi, sürdürülebilir enerji üretimi için büyük umut vaat eden bir araştırma ve geliştirme alanıdır. Biyoyakıt üretiminde kullanılan mikroalgler, yüksek ışık yoğunluğu, düşük besin konsantrasyonları ve kontrollü sıcaklık gibi özel büyüme koşulları gerektirir. Biyoyakıt üretiminde mikroalglerin büyümesi, fotobiyoreaktörler veya kapalı sistemler kullanılarak artırılabilir. Biyoyakıt üretiminde

mikroalg büyümesinin amacı, biyoyakıtlar için yüksek kaliteli biyokütle üretmektir (Lam vd., 2012 ; Hossain vd., 2019).

Mikroalglerden biyoyakıt üretme süreci tipik olarak birkaç adımı içerir:

- Suş seçimi: Biyoyakıt üretimini optimize etmek için yüksek lipid içeriğine ve hızlı büyüme oranlarına sahip belirli mikroalg suşları tanımlanır ve geliştirilir.
- Yetiştirme: Mikroalgler, istenen üretim ölçeğine bağlı olarak büyük ölçekli açık havuzlarda, kapalı fotobiyoreaktörlerde veya kapalı fermentörlerde yetiştirilir. Sıcaklık, ışık yoğunluğu, pH ve besin mevcudiyeti gibi yetiştirme koşulları, büyümede ve lipid birikiminde en iyi sonucu eldeetmek için dikkatli bir şekilde kontrol edilir.
- Hasat: Mikroalgler istenilen büyüme aşamasına ulaştıktan sonra hasat edilmeleri gerekir. Yaygın hasat yöntemleri arasında santrifüjleme, filtrasyon, flokülasyon ve flotasyon yer alır. Bu teknikler, mikroalgi büyüme ortamından ayırarak konsantre bir biyokütle sağlar (Zhu vd., 2021 ; Elcik vd., 2017).
- Lipit ekstraksiyonu: Hasat edilen biyokütle, biyoyakıtlara dönüştürülebilen lipitleri çıkarmak için işlenir. Mekanik presleme, solvent ekstraksiyonu, süperkritik sıvı ekstraksiyonu ve enzimatik hidroliz gibi çeşitli ekstraksiyon yöntemleri kullanılır. Ekstrakte edilen lipitler tipik olarak trigliseritler formundadır.
- Transesterifikasyon: Ekstrakte edilen lipitler, transesterifikasyon adı verilen bir işlemle kimyasal olarak biyodizele dönüştürülür. Biyodizel üretiminde, lipitler bir alkol, genellikle metanol veya etanol ile bir katalizör (sodyum veya potasyum hidroksit gibi) varlığında reaksiyona girer. Bu reaksiyon, lipitlerin yağ asidi metil veya etil esterleri olarak bilinen biyodizelin ana bileşenlerine dönüştürülmesini sağlar.
- Yan ürün kullanımı: Lipid ekstraksiyonundan sonra kalan mikroalg biyokütlesi, ek katma değerli ürünler üretmek için daha fazla işlenebilir. Örneğin, artık biyokütle, hayvan yemi, gübre ve hatta anaerobik çürütme yoluyla biyogaz üretimi için bir hammadde olarak kullanılabilir (Nagappan vd., 2019).

Mikroalg bazlı biyoyakıt üretiminin avantajları arasında yüksek lipid içeriği, hızlı büyüme oranları, çeşitli su kaynaklarında (atık su dahil) büyüme yeteneği ve yetiştirme sırasında karbondioksiti tutma potansiyeli yer alır. Bununla birlikte, yetiştirme, hasat ve lipit ekstraksiyonu ile ilgili yüksek maliyetler ve ekonomik olarak uygun hale getirmek için büyük ölçekli uygulamaya duyulan ihtiyaç gibi üstesinden gelinmesi gereken zorluklar var.

Mikroalg bazlı biyoyakıtların fosil yakıtlara ticari olarak uygulanabilir ve çevresel olarak sürdürülebilir bir alternatif haline getirilmesi amacıyla üretim süreçlerini optimize etmek, lipit verimlerini iyileştirmek ve maliyetleri düşürmek için araştırma ve geliştirme çalışmaları devam etmektedir (Ghasemi vd., 2012 ; Medipally vd., 2015).

1.1.3. Mikroalg Üretim Sistemleri

Mikroalg üretim sistemleri, ticari ölçekte mikroalg yetiştirmek ve hasat etmek için tasarlanmış kontrollü ortamları veya yetiştirme yöntemlerini ifade eder (Goswami vd., 2021; Chew vd., 2021).

İdeal bir mikroalg kültür sistemi aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır:

- Yüksek verimlilik
- Düşük maliyetli
- Yüksek verim
- Yüksek biyokütle konsantrasyonu
- Yüksek ürün verimi
- Yüksek ürün kalitesi

Her biri kendi özelliklerine ve uygulamalarına sahip birkaç mikroalg üretim sistemi türü vardır. Yaygın olarak kullanılan bazı sistemler şunlardır:

- Açık Kanal Havuzlar: Bunlar, mikroalglerin yetiştirildiği büyük, sığ, açık havuzlar veya kanallardır. Doğal güneş ışığına güvenirler ve geniş alanları kaplayabilirler. Açık havuzlar nispeten düşük maliyetlidir ancak kirlenmeye, buharlaşmaya ve sıcaklık dalgalanmalarına karşı hassastır (Oostlander vd., 2020)
- Kapalı Fotobiyoreaktörler (PBR'ler): Fotobiyoreaktörler, mikroalg büyümesi için kontrollü bir ortam sağlayan kapalı sistemlerdir. Tasarım olarak silindirik, boru şeklinde veya düz panel olabilirler ve tutarlı aydınlatma sağlamak için yapay ışık kaynakları (örn. LED'ler) kullanırlar. PBR'ler, sıcaklık, ışık yoğunluğu ve karbondioksit

konsantrasyonu gibi çevresel faktörler üzerinde daha iyi kontrol sunarak kontaminasyon risklerini azaltır ve üretkenliği artırır.

- Hibrit Sistemler: Bu sistemler, açık havuzların ve kapalı fotobiyoreaktörlerin unsurlarını birleştirir. Doğal güneş ışığı ve yapay aydınlatmanın bir kombinasyonunun yanı sıra sirkülasyonu ve üretkenliği artırırken kirlenme risklerini azaltmak için çarklar veya karıştırma cihazları gibi özellikler içerebilirler.
- Dikey Yosun Çiftlikleri: Bu sistemler, alan verimliliğini en üst düzeye çıkarmak için yetiştirme birimlerinin dikey olarak istiflenmesini kullanır. Mikroalgleri istiflenmiş veya katmanlı bir konfigürasyonda yetiştirmek için genellikle PBR'ler veya diğer kapalı sistem tasarımları kullanırlar ve daha küçük bir alanda daha yüksek üretkenlik sağlarlar.
- Yosun Torbaları veya Kanallar: Açık havuzlara benzer şekilde, bunlar plastik veya diğer malzemelerden yapılmış uzun, dar ve sığ kanallardır. Büyük ölçekli mikroalg yetiştiriciliği için kullanılırlar ve yüksek yoğunluklu ekimi tolere edebilen belirli türler için uygundurlar (Fernández vd., 2020 ; Schade vd., 2019).
- Bikarbonat Bazlı Mikroalg Üretim Sistemi: CO2 yerine karbon kaynağı olarak bikarbonat kullanarak mikroalg yetiştirmek için yeni bir yaklaşımdır (Zhu vd., 2021).

Mikroalg üretim sisteminin seçimi, amaçlanan uygulama, üretim ölçeği, hedef mikroalg türleri, iklim koşulları, mevcut kaynaklar ve ekonomik fizibilite gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Her sistemin avantajları ve sınırlamaları vardır ve devam eden araştırma ve geliştirmeler, mikroalg yetiştiriciliğinde üretkenliği, sürdürülebilirliği ve maliyet etkinliğini optimize etmeyi amaçlar (Chen vd., 2022 ; Norsker vd., 2011).

Açık mikroalg üretim sistemlerinin avantaj ve dezavantajları Tablo 1’de verilmiştir (Jerney vd., 2018 ; Arutselvan vd., 2022 ; Rahman vd., 2022 ; Wang vd., 2021).

Tablo 1. Açık Sistemlerin Avantajları ve Dezavantajları

Avantajları	**Dezavantajları**
Güneş ışığından yararlanırlar ve çevreye geniş ölçüde maruz kalırlar, bu da yapay ışık ve sıcaklık kontrolünün maliyetini azaltır.	İstenmeyen türler, yağmur suyu ve diğer çevresel faktörlerin neden olduğu kirlenmeye karşı hassastır.
Kurulumu ve çalıştırması kolay, bu da ilk yatırım maliyetini azaltır.	Kapalı sistemlere kıyasla daha düşük üretkenliğe sahiptir.
Endüstriyel proseslerden kaynaklanan atık CO_2'yi kullanabilir.	Büyüme koşullarını kontrol etmek zordur.
Büyük ölçekli üretim mümkündür	

Kapalı mikroalg üretim sistemlerinin avantaj ve dezavantajları Tablo 2'de verilmiştir (Aghaalipour vd., 2020 ; Peter vd., 2022 ; Christian Barbosa vd., 2020 ; Abomohra vd., 2020)

Tablo 2. Kapalı Sistemlerin Avantajları ve Dezavantajları

Avantajları	**Dezavantajları**
Sıcaklık, ışık ve CO_2 derişimi gibi yetiştirme değişkenlerinin daha iyi kontrolü, daha yüksek üretkenliğe yol açar.	Açık sistemlere kıyasla daha küçük ölçekli üretim yapılabilir.
İstenmeyen türler ve diğer çevresel faktörler tarafından kontaminasyona karşı daha az savunmasızdır.	Çalıştırması ve bakımı daha karmaşık.
Daha yüksek ürün kalitesi.	Daha yüksek ilk yatırım maliyeti.

1.1.4. Mikroalg Üretimini Etkileyen Faktörler

Çeşitli faktörler mikroalg üretimini etkileyebilir. Temel faktörlerden bazıları şunlardır:

- Işık yoğunluğu: Mikroalgler, fotosentez için yeterli ışığa ihtiyaç duyar. Işık yoğunluğu, mikroalglerin büyüme hızını ve biyokütle üretimini etkiler. Çok düşük ışık yoğunluğu büyümeyi sınırlayabilirken, aşırı ışık yoğunluğu mikroalglerde fotoinhibisyona veya hasara neden olabilir.
- Işık kalitesi: Mevcut dalga boyları da dahil olmak üzere ışığın spektral bileşimi mikroalg büyümesini ve üretkenliğini etkileyebilir. Farklı alg türleri, değişen ışık emme tercihlerine sahiptir ve ışık kalitesinin optimize edilmesi büyüme oranlarını artırabilir (Musa vd., 2019 ; Chowdury vd., 2020).
- Besinler: Mikroalgler, büyümelerini desteklemek için karbondioksit (CO_2), nitrojen (N), fosfor (P) ve demir (Fe) gibi eser elementler dahil olmak üzere temel besinlere ihtiyaç duyar. Büyüme ortamındaki bu besinlerin mevcudiyeti ve dengesi, mikroalg üretkenliğini önemli ölçüde etkileyebilir.
- Karbondioksit derişimi: CO_2, fotosentez sırasında kullandıkları için mikroalgler için kritik bir besindir. Yüksek CO_2 derişimleri, mikroalg büyüme oranlarını artırabilir ve genellikle bir gaz kaynağı olarak veya endüstriyel süreçlerin baca gazlarından sağlanır (Cheng vd., 2021).
- Sıcaklık: Mikroalgler büyümek için en uygun sıcaklık aralıklarına sahiptir ve bu aralığın dışındaki değişimler üretkenliklerini etkileyebilir. Her türün kendine özgü sıcaklık gereksinimleri vardır, ancak genellikle 20-30°C arasındaki sıcaklıklar birçok mikroalg için uygundur.
- pH seviyesi: Büyüme ortamının pH'ı, mikroalglerin büyümesini ve metabolik aktivitesini etkiler. Farklı türler değişen pH toleranslarına sahiptir, ancak genellikle hafif alkali bir pH aralığı (pH 7-9) tercih edilir (Yousuf, 2020 ; Chowdury vd., 2020).
- Tuzluluk: Mikroalgler, türlerine bağlı olarak tatlı su, acı su veya deniz suyunda yetiştirilebilir. Yetiştirme ortamındaki tuzluluk seviyeleri, yetiştirilmekte olan belirli mikroalg türleri için uygun olmalıdır (Zahedi vd., 2022).

- Karıştırma ve havalandırma: Yeterli karıştırma ve havalandırma, gaz değişimini destekler, tortulaşmayı önler ve besin maddelerini eşit şekilde dağıtarak mikroalg gelişimini artırır.
- Kontaminasyon kontrolü: Diğer mikroorganizmalar (örn. bakteri, mantar) veya istenmeyen alg türleri tarafından kontaminasyon, mikroalg üretimini engelleyebilir. Uygun kültür koşullarının sürdürülmesi ve iyi hijyen ve sterilizasyon tekniklerinin uygulanması kontaminasyonu en aza indirmek için çok önemlidir.
- Suş seçimi: Mikroalg suşunun seçimi çok önemlidir, çünkü farklı suşlar farklı büyüme hızlarına, lipit içeriğine ve çevresel koşullara toleransa sahiptir. Yüksek verimli ve sağlam türlerin seçilmesi, mikroalg üretimini önemli ölçüde etkileyebilir (Avinash vd., 2020 ; Chowdury vd., 2020).

Bu faktörler birbirleriyle etkileşime girer ve yetiştirilmekte olan belirli mikroalg türlerine dayalı olarak parametrelerinin optimize edilmesi, yüksek üretkenlik elde etmek için çok önemlidir.

1.1.5. Türkiye'de Mikroalg Üretimi

Türkiye'de mikroalg üretimi, ülkenin elverişli iklim koşulları, bol su kaynakları ve sürdürülebilir çözümlere artan ilgi nedeniyle son yıllarda dikkat çekmektedir. Türkiye'de mikroalg üretimi henüz başlangıç aşamasındayken, potansiyelini keşfetmek için çeşitli girişimler ve araştırma projeleri devam etmektedir.

Türkiye'de mikroalg üretiminin araştırıldığı ana alanlardan biri de biyoyakıt üretimidir. Mikroalgler, fosil yakıtlara sürdürülebilir bir alternatif olabilecek biyodizel gibi biyoyakıtları üretmek için kullanılabilir. Türkiye'deki bazı araştırma kurumları ve üniversiteler, farklı mikroalg türlerinin yetiştirilmesi ve lipit içeriklerinin biyoyakıt üretimi için optimize edilmesi üzerine çalışmaktadır (Tüccar vd., 2015).

Ek olarak, mikroalgler proteinler, vitaminler ve diğer değerli bileşikler açısından zengindir ve bu da onları gıda ve ilaç endüstrilerindeki çeşitli uygulamalar için uygun hale getirir. Türkiye'de mikroalglerin besin kaynağı olarak kullanılmasına ve fonksiyonel gıda ürünlerinin geliştirilmesine ilgi artmaktadır. Besin değeri yüksek mikroalg suşlarını tespit etmek, yetiştirmek ve yetiştirme yöntemlerini optimize etmek için araştırmalar yapılmaktadır.

Fitoremediasyon adı verilen bir süreçle atık sudan kirleticilerin uzaklaştırılmasına yardımcı olabilirler ve fotosentetik aktiviteleri atmosferdeki karbondioksiti emerek iklim değişikliğinin hafifletilmesine katkıda bulunabilir. Bu uygulamalar, çevresel sorunların ele alınması ve sürdürülebilir çözümler geliştirilmesi çabalarının bir parçası olarak Türkiye'de araştırılmaktadır (Perendeci vd., 2019).

Türkiye'de mikroalg üretiminde ilerleme olmakla birlikte, endüstrinin henüz başlangıç aşamasında olduğunu ve büyük ölçekli ticari üretimin henüz yerleşmediğini belirtmek önemlidir. Bununla birlikte, ülkenin elverişli koşulları ve devam eden araştırma çabaları, Türkiye'de mikroalg üretiminin gelecekteki gelişimi için umut verici bir potansiyele işaret etmektedir (Birinci Ağlamaz vd., 2023).

Türkiye'de mikroalg üretimi, öncelikle üniversiteler ve araştırma merkezleri tarafından yürütülüyor. Ege Üniversitesi, Marmara Üniversitesi, Yıldız Teknik Üniversitesi ve Karadeniz Teknik Üniversitesi gibi üniversitelerde mikroalg üretimi konusunda önemli çalışmalar yapılıyor. Bu çalışmalar sonucunda, Türkiye'ye özgü mikroalg türleri geliştiriliyor ve bunların farklı alanlarda kullanıma uygun hale getirilmesi için araştırmalar yapılıyor.

Özel sektör de mikroalg üretimine ilgi göstermektedir. Akçansa Çimento, Türkiye'de mikroalg üretimi yapan ilk özel sektör şirketi oldu. Şirket, Çanakkale'de kuracağı tesiste, mikroalgden biyoyakıt çalışmalarına başlamıştır (Okcu, 2019).

• İstanbul'da karbon-negatif biyo-rafineri: Türkiye'de Boğaziçi Üniversitesi, araştırmacıların jet yakıtından başlayarak çeşitli biyoyakıtlar üretmek için mikroalgleri dönüştürdüğü dünyanın ilk karbon-negatif biyo-rafinerisini İstanbul'da açılmıştır. Tesis, sıfır atık hedefli olarak tasarlanmıştır ve atık sular ve tarımsal atıklardan elde edilen karbondioksit ve azot gibi kaynakları kullanarak çalışmaktadır. Tesis, yosunlar, oksijen üreterek atmosferdeki karbondioksit miktarını azalttığı için karbon negatif olarak kabul edilir. Tesis, yıllık yaklaşık 1200 tonluk ıslak alg kütlesi işleyebilmektedir. Bu miktardan elde edilen biyoyakıt, uçaklarda, otomotivde ve endüstriyel uygulamalarda kullanılabilir. Gıda takviyeleri, hayvan yemi ve organik gübre ise insan ve hayvan beslenmesinde, tarım ve çevre alanlarında kullanılabilmektedir (Boğaziçi Üniversitesi'nde Avrupa'nın İlk Karbon Negatif Biyorafinerisi Açıldı, 2022).

1.1.6. Dünya'da Mikroalg Üretimi

Asya-Pasifik bölgesi, özellikle Çin, Japonya ve Güney Kore, mikroalg üretiminde ön sıralarda yer almaktadır. Büyük nüfusu ve sürdürülebilir gıda ve enerji kaynaklarına yönelik artan talebi ile Çin, mikroalg yetiştiriciliğine büyük yatırım yapmaktadır. Verimli üretim sistemleri geliştirmeye adanmış çok sayıda mikroalg çiftliği ve araştırma enstitüsü vardır.

Japonya, mikroalg üretiminde bir diğer önemli oyuncudur. Ülke, gıda ve nutrasötikler de dahil olmak üzere çeşitli amaçlar için mikroalg kullanmaya odaklanmıştır. Ayrıca üretkenliği ve ticari uygulanabilirliği artırmak için yenilikçi teknolojileri aktif olarak araştırmakta ve uygulamaktadır.

Avrupa ayrıca mikroalg üretiminde önemli ilerlemeler kaydetmiştir. Almanya, Fransa, İspanya ve Hollanda gibi ülkeler araştırma merkezleri, pilot projeler ve ticari ölçekli mikroalg çiftlikleri kurmuştur. Avrupa araştırma çabaları genellikle mikroalglerin sürdürülebilir biyoyakıt üretimi için kullanılmasına odaklanmaktadır. Avrupa'da makroalg üreten şirket sayısında Fransa, İrlanda ve İspanya ilk 3'te yer alırken, mikroalgde Almanya, İspanya ve İtalya ilk 3'te yer almaktadır (Araújo vd., 2021).

Amerika Birleşik Devletleri, çeşitli uygulamalar üzerinde çalışan birkaç şirket ve araştırma kurumu ile büyüyen bir mikroalg endüstrisine sahiptir. Kaliforniya, Hawaii ve Florida, esas olarak yenilenebilir enerji ihtiyacı ve mikroalglerin sürdürülebilir bir ham madde olma potansiyeli nedeniyle aktif mikroalg yetiştirme projelerine sahip bazı eyaletlerdir.

Güney Amerika ve Avustralya dahil olmak üzere diğer bölgeler de mikroalg üretimine ilgi göstermiştir. Örneğin Şili, atık su arıtımı ve su ürünleri yetiştiriciliği için mikroalglerin kullanımını araştırmaktadır.

Ulusal ölçekte mikroalg biyoyakıt üretimi üzerine yapılan bir araştırma, toplam potansiyel mikroalg üretim alanlarının %70'inin ABD, Çin, Rusya, Almanya, Kanada, Japonya, Birleşik Krallık ve Hindistan'da yer alacağını ortaya koymuştur (Kargın, 2020).

1.2. Sürdürülebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji kaynakları olarak da bilinen sürdürülebilir enerji kaynakları, sürekli yenilenen ve zamanla tükenmeyen doğal kaynaklardan elde edilebilen kaynaklardır.

Bu kapsamda; güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, hidroelektrik güç, jeotermal enerji, biyokütle enerjisi, gelgit enerjisi, dalga enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları olarak kullanılmaktadır. Bu kaynaklar, çevre üzerinde minimum etkiye sahip oldukları ve gelecek nesillerin ihtiyaçlarından ödün vermeden süresiz olarak kullanılabildikleri için sürdürülebilir kabul edilmektedir (Sinsel vd., 2020; Qazi vd., 2019).

1.3. Biyoyakıtlar

Biyoyakıtlar, bitkiler, ekinler veya organik atık maddeler gibi sürdürülebilir biyolojik kaynaklardan elde edilen yakıtlardır. Sürdürülebilir ve karbon nötr kaynaklardan üretildikleri için geleneksel fosil yakıtlara bir alternatif olarak kabul edilirler (Jeswani vd., 2020).

Üç ana biyoyakıt türü vardır:

- Etanol: Etanol, öncelikle fermente edilmiş şekerlerden veya nişastalardan yapılan bir tür alkollü yakıttır. Genellikle mısır, şeker kamışı ve buğday gibi mahsullerden üretilir. Etanol, benzinle karıştırılabilir ve tipik olarak E10 (%10 etanol ve %90 benzin) veya E85 (%85 etanol ve %15 benzin) gibi karışımlarda araçlarda ulaşım yakıtı olarak kullanılabilir. (Jeswani vd., 2020 ; Marcelo vd., 2005).

- Biyodizel: Biyodizel, bitkisel yağlardan, hayvansal yağlardan veya geri dönüştürülmüş yemeklik yağlardan yapılan yenilenebilir bir yakıttır. Yağ asidi metil esterleri (FAME) üretmek için katı veya sıvı yağların bir alkolle (genellikle metanol) kimyasal olarak reaksiyona girdiği transesterifikasyon adı verilen bir işlemle üretilir. Biyodizel motorin ile karıştırılarak dizel motorlarda herhangi bir modifikasyona gerek kalmadan kullanılabilir (Kamaraj vd., 2021 ; Hallenbeck, 2021; Saravanan vd., 2022).
- Biyogaz: Biyogaz, oksijen yokluğunda organik maddenin anaerobik çürütme adı verilen bir süreçle parçalanmasıyla üretilen, başta metan olmak üzere gazların bir karışımıdır. Genellikle tarımsal atıklardan, gübreden, kanalizasyondan veya çöplük gazından üretilir. Biyogaz, ısınma, elektrik üretimi için yakıt olarak veya arıtıldıktan sonra ulaşım yakıtı olarak kullanılabilir (Liu vd., 2021 ; Osman vd., 2021).

Biyoyakıtlar yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak kabul edilir, çünkü onları üretmek için kullanılan bitkiler büyümeleri sırasında atmosferden karbondioksiti (CO_2) emer ve biyoyakıtlar yandığında salınan emisyonları dengeler. Bu, sera gazı emisyonlarını ve yenilenemeyen kaynaklara bağımlılığı azaltmaya yardımcı olabileceğinden, onları fosil yakıtlara potansiyel olarak daha sürdürülebilir ve çevre dostu bir alternatif haline getirir (Marcelo vd., 2005).

1.3.1. Biyogaz Üretimi ve Faydaları

Biyogaz üretimi, oksijen yokluğunda (anaerobik koşullar) tarımsal atık, gıda atığı veya hayvan gübresi gibi organik maddelerin ayrışmasını içeren bir süreçtir. Bu işlemin son ürünü, eser miktarda diğer gazlarla birlikte başlıca metan (CH_4) ve karbondioksitin (CO_2) karışımı olan biyogazdır (Mishra vd., 2021).

Biyogaz Üretiminin Faydaları:

- Yenilenebilir Enerji: Biyogaz, fosil yakıtlara bağımlılığı azaltan, organik atıklardan elde edilen yenilenebilir bir enerji kaynağıdır.
- Atık Yönetimi: Biyogaz üretimi, çeşitli organik atık türlerinin yönetimi, sera gazı emisyonlarının ve ayrışmayla ilişkili kokuların azaltılması için çevre dostu bir çözüm sunar.
- Tarımsal Faydalar: Digestate adı verilen çürütmeden sonra kalan malzeme, toprak kalitesini iyileştirmek ve mahsul verimini artırmak için kullanılabilen, besin açısından zengin bir gübredir.
- İklim Değişikliğini Azaltma: Biyogaz üretimi, güçlü bir sera gazı olan metanı yakalayarak ve onu kullanılabilir bir yakıta dönüştürerek iklim değişikliğinin hafifletilmesine yardımcı olur (Abanades vd., 2021; Kasinath vd., 2021; Kabeyi vd., 2022; Pavičić vd., 2022).

Biyogaz üretiminin verimliliği ve performansının hammadde bileşimi, proses tasarımı, sıcaklık, bekletme süresi ve çürütücü yönetimi gibi faktörlere bağlı olarak değişebileceğini not etmek önemlidir. Bu nedenle, optimum biyogaz üretimini elde etmek için bu parametreleri optimize etmek çok önemlidir (Özbaşer vd., 2013).

1.3.2. Biyogaz Üretim Aşamaları

- Hammadde Seçimi: Biyogaz, mahsul artıkları, hayvan gübresi, kanalizasyon çamuru, gıda atıkları ve mısır veya çim gibi enerji mahsulleri dahil olmak üzere çeşitli organik malzemelerden üretilebilir. Hammadde seçimi, mevcudiyetine, bileşimine ve anaerobik çürütme için uygunluğuna bağlıdır (Rasapoor, 2020).
- Anaerobik Çürütme: Anaerobik çürütme işlemi, sindirici veya anaerobik reaktör adı verilen büyük, kapalı bir kapta gerçekleşir. Besleme stoğu sindiriciye yüklenir ve oksijensiz ortam anaerobik bakterilerin gelişmesine izin verir (Shamurad vd., 2020).
- Hidroliz: Başlangıçta, karmaşık organik bileşikler hidroliz yoluyla daha basit maddelere ayrılır. Bakteriler tarafından salgılanan enzimler, büyük molekülleri basit şekerler, amino asitler ve yağ asitleri gibi çözünür bileşiklere dönüştürür (Rasapoor, 2020).
- Asidojenez: Bu aşamada, asidojenik bakteriler hidrolizde üretilen çözünür bileşikleri daha da parçalar. Basit şekerleri, amino asitleri ve yağ asitlerini organik asitlere, alkollere ve uçucu yağ asitlerine dönüştürürler (Nazaitulshila vd., 2015; Kim vd., 2003)
- Asetogenez: Bu adımda, asetojenik bakteriler önceki aşamadaki organik asitleri ve alkolleri asetik asit, hidrojen (H_2) ve karbondioksite (CO_2) dönüştürür. Asetojenez çok önemlidir çünkü asetik asit metan üretimi için ana öncüdür.
- Metan üretimi: Anaerobik çürütme sırasında bakteri ve diğer mikroorganizmalar, hammaddedeki organik maddeyi parçalayarak biyogaz olarak bilinen bir gaz karışımı üretir. Biyogazın birincil bileşeni, ana enerji kaynağı olan metandır (CH_4) (Rasapoor M., 2020). Metan içeriği, besleme stoğuna ve proses koşullarına bağlı olarak %50 ila %70 arasında değişebilir (Shamurad vd., 2020; Clark vd., 2022).
- Biyogaz Toplama: Çürütücüde üretilen biyogaz toplanır ve bir gaz tutucuda veya depolama tankında depolanır. Depolama sistemi tipik olarak biyogaz üretimindeki dalgalanmaları karşılamak ve sürekli bir gaz tedariki sağlamak için tasarlanır. (Piechota , 2021).
- Gaz Arıtma: Toplanan biyogaz, safsızlıkları ve kirleticileri gidermek için arıtmaya tabi tutulabilir. Bu, nem giderme, hidrojen sülfit (H_2S) giderme ve karbondioksit (CO_2) temizleme gibi işlemleri içerebilir. Arıtılmış biyogaz daha sonra kullanıma hazırdır (Clark vd., 2022).
- Biyogaz Kullanımı: Son aşama, biyogazın çeşitli uygulamalar için kullanılmasını içerir. Biyogaz, ısınma, elektrik üretimi veya araç yakıtı için yenilenebilir

bir yakıt olarak kullanılabilir. Elektrik ve ısı üretmek için doğrudan bir gaz motorunda veya bir gaz türbininde yakılabilir. Biyogaz ayrıca karbondioksit ve nem gibi safsızlıkları gidermek için yükseltilebilir, bu da yüksek saflıkta bir metan formu olan biyometan ile sonuçlanır. Biyometan, doğal gaz boru hatlarına enjekte edilebilir, ulaşım yakıtı olarak kullanılabilir veya hidrojen veya sıkıştırılmış doğalgaz (CNG) gibi diğer değerli ürünlere dönüştürülebilir (Ahman, 2010).

1.3.3. Hayvan Gübresi ile Biyogaz Üretimi

Hayvan gübresi ile biyogaz üretimi, enerji üretmenin sürdürülebilir ve çevre dostu bir yoludur. Süreç, yan ürün olarak biyogaz üreten anaerobik çürütme yoluyla gübredeki organik maddenin ayrışmasını içerir (Khalil vd., 2019).

Hayvan gübresinden biyogaz üretim süreci, yenilenebilir enerji üretimi, sera gazı emisyonlarının azaltılması (metan yakalanıp kullanıldıkça), atık yönetimi ve besin geri dönüşümü dahil olmak üzere çeşitli faydalar sağlar (Caliskan vd., 2020). Mevcut kaynaklara ve enerji taleplerine bağlı olarak küçük ölçekli çiftliklerde veya büyük ölçekli tarımsal veya endüstriyel tesislerde uygulanabilir (Kozlowski vd., 2023).

Mikroalgler, hayvan gübresinden biyogaz üretimi üzerinde olumlu bir etkiye sahip olabilir. Mikroalglerin hayvan gübresinden biyogaz üretimi üzerindeki spesifik etkisinin, mikroalg türleri, yetiştirme koşulları, birlikte çürütme oranları ve anaerobik çürütme konfigürasyonu gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak değişmektedir. İstenilen sonuçlara ulaşmak için bu parametrelerin optimizasyonu çok önemlidir.

Hayvan gübresinden biyogaz üretiminde mikroalglerin etkileri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Artan organik madde girişi: Mikroalgler, anaerobik çürütücülerde ayrı ayrı veya hayvan gübresi ile birlikte yetiştirilebilir ve hasat edilebilir. Sisteme mikroalg eklenmesi, biyogaz üretimini artırabilen genel organik madde girdisini artırır. (Solé-Bundó vd., 2019).
- Besin takviyesi: Mikroalgler, nitrojen, fosfor ve mikro besinler gibi besinler açısından zengindir. Mikroalgler, hayvan gübresi ile birlikte sindirildiğinde, gübrede eksik olabilecek ek besin maddeleri sağlayabilirler. Bu besin takviyesi, anaerobik çürütme

sürecinde mikrobiyal aktiviteyi ve biyogaz üretimini iyileştirebilir (Zabed vd., 2020 ; Solé-Bundó vd., 2019).

- İyileştirilmiş substrat bileşimi: Hayvan gübresi genellikle düşük bir C/N oranına yol açan yüksek düzeyde karbon ve nitrojen ile karakterize edilir. Bu, amonyak inhibisyonu nedeniyle yetersiz biyogaz üretimine neden olabilir. Mikroalgler, hayvan gübresine kıyasla daha yüksek karbon içeriğine ve daha düşük nitrojen içeriğine sahiptir, bu da çürütücüdeki C/N oranını dengelemeye yardımcı olabilir. Optimum bir C/N oranına ulaşmak, biyogaz üretiminin genel verimliliğini artırabilir (Torres vd., 2023; Zabed vd., 2020).
- Geliştirilmiş metan üretimi: Mikroalgler, anaerobik çürütme sırasında metana dönüştürülebilen lipitler içerir. Lipitler, biyogaz bileşimine katkıda bulunan enerji açısından zengin bileşiklerdir. Mikroalglerin hayvan gübresi ile birlikte çürütülmesi, substrattaki lipid içeriğini artırarak daha yüksek metan verimine yol açabilir (Solé-Bundó vd., 2019).
- Azaltılmış proses inhibisyonu: Mikroalgler, biyogaz üretimini engelleyebilecek proses inhibisyon faktörlerinin hafifletilmesine de yardımcı olabilir. Örneğin mikroalgler, sistemde birikebilecek amonyak gibi fazla besinleri tüketebilir. Amonyak seviyelerini düşürerek, mikroalgler metanojenik arkeler üzerindeki inhibitör etkileri azaltabilir ve böylece biyogaz üretimini iyileştirebilir (Solé-Bundó vd., 2019).

1.4. Anaerobik Reaktörlerin Avantajları

Anaerobik reaktörler, aerobik arıtma yöntemlerine göre çeşitli avantajlar sunar. Temel faydalar şunları içerir:

- Enerji Üretimi: Anaerobik çürütme, yakalanıp yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak kullanılabilen başta metan olmak üzere biyogaz üretir. Üretilen biyogaz elektrik üretimi için veya ısıtma ve pişirme için yakıt olarak kullanılabilir (Chan vd., 2009).
- Organik Atık Arıtımı: Anaerobik çürütme, atığın organik içeriğini etkili bir şekilde azaltarak çevresel etkisini en aza indirir. İşlenmemiş atık bertarafı ile ilişkili kokuların, patojenlerin ve sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yardımcı olur (Chan vd., 2009).

- Besin Geri Kazanımı: Digestate adı verilen anaerobik çürütmenin katı yan ürünü, tarımsal amaçlar için gübre olarak kullanılabilen, besin açısından zengin bir malzemedir (Chan vd., 2009).
- Daha Düşük İşletme Maliyetleri: Anaerobik reaktörler tipik olarak daha az enerji girişi gerektirir ve havalandırma olmaması nedeniyle aerobik arıtma sistemlerine kıyasla daha düşük işletme maliyetlerine sahiptir (Chan vd., 2009).

Genel olarak, anaerobik reaktörler, organik atıkları işleyerek, yenilenebilir enerji üreterek ve çevresel etkiyi en aza indirerek sürdürülebilir atık yönetiminde hayati bir rol oynamaktadır.

1.5. Nannokloropsis

Nannokloropsis, Eustigmatophyceae sınıfına ait bir mikroalg cinsidir. Bu tek hücreli fotosentetik organizmalar genellikle deniz ve tatlı, tuzlu su ortamlarında bulunur. *Nannokloropsis*, yüksek lipid içeriği ile bilinir ve bu da onu özellikle biyoyakıtlar ve su ürünleri yetiştiriciliği alanında çeşitli uygulamalar için değerli bir aday yapar. Mikroalglerin yağ içeriği ve etkinliği, genetikleri, yetiştirildikleri koşullar ve besin kaynakları gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak değişebilir (Ma vd., 2016) .

Nannokloropsis, biyodizel üretimi potansiyeli olan ve üzerinde yaygın olarak çalışılan bir mikroalg türüdür. Tipik olarak kuru ağırlığının %20 ila %35'i arasında değişen yağ içeriği içerir. *Nannokloropsis*, yüksek büyüme hızı ve çok çeşitli çevresel koşullara uyum sağlama yeteneği ile tanınmaktadır (Sukenik, 1991; Mahdieh vd., 2018).

Nannokloropsisin yetiştirilmesi tipik olarak fotobiyoreaktörler veya açık havuzlar gibi alglere ışık, sıcaklık, besinler ve karbondioksit gibi uygun büyüme koşullarının sağlandığı kontrollü ortamlarda yapılır. Hasat edilen biyokütle, biyoyakıt üretimi gibi çeşitli uygulamalar için veya su kültürü yemlerinde bir bileşen olarak daha fazla işlenebilir (Zanella vd., 2020 ; Paterson vd., 2023).

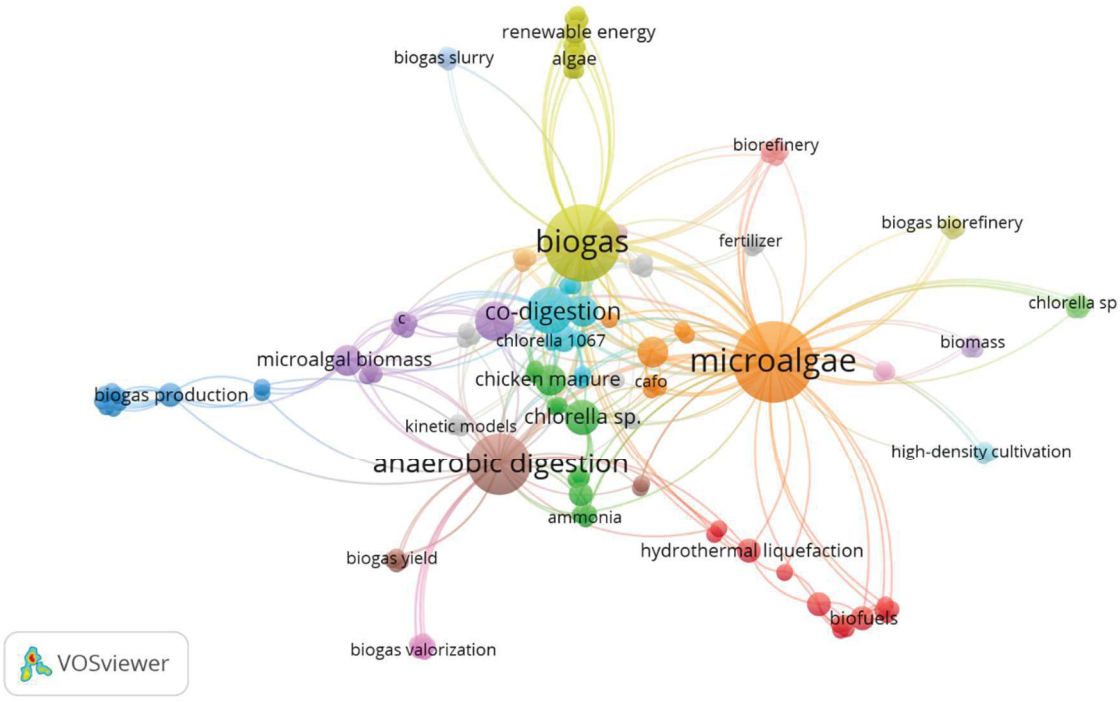
1.5.1. Nannokloropsisin Biyogaz Üretimine Etkisi

Nannokloropsis, biyoenerji üretimi de dahil olmak üzere çeşitli alanlardaki potansiyel uygulamaları için kapsamlı bir şekilde incelenen bir mikroalg cinsidir. Hayvan gübresinden biyogaz üretimi söz konusu olduğunda, *Nannokloropsis* süreci iyileştirmede rol oynayabilir. *Nannokloropsis*'in biyogaz üretimini arttırmadaki etkinliğinin, kullanılan mikroalg türü, sisteme eklenen konsantrasyon, hayvan gübresinin özellikleri ve genel anaerobik çürütme koşulları dahil olmak üzere çeşitli faktörlere bağlı olabileceğini belirtmek gerekir. Bu nedenle, istenen sonuçlara ulaşmak için en uygun koşulları belirlemek ve daha fazla araştırma ve optimizasyon gerekebilir.

İKİNCİ BÖLÜM
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

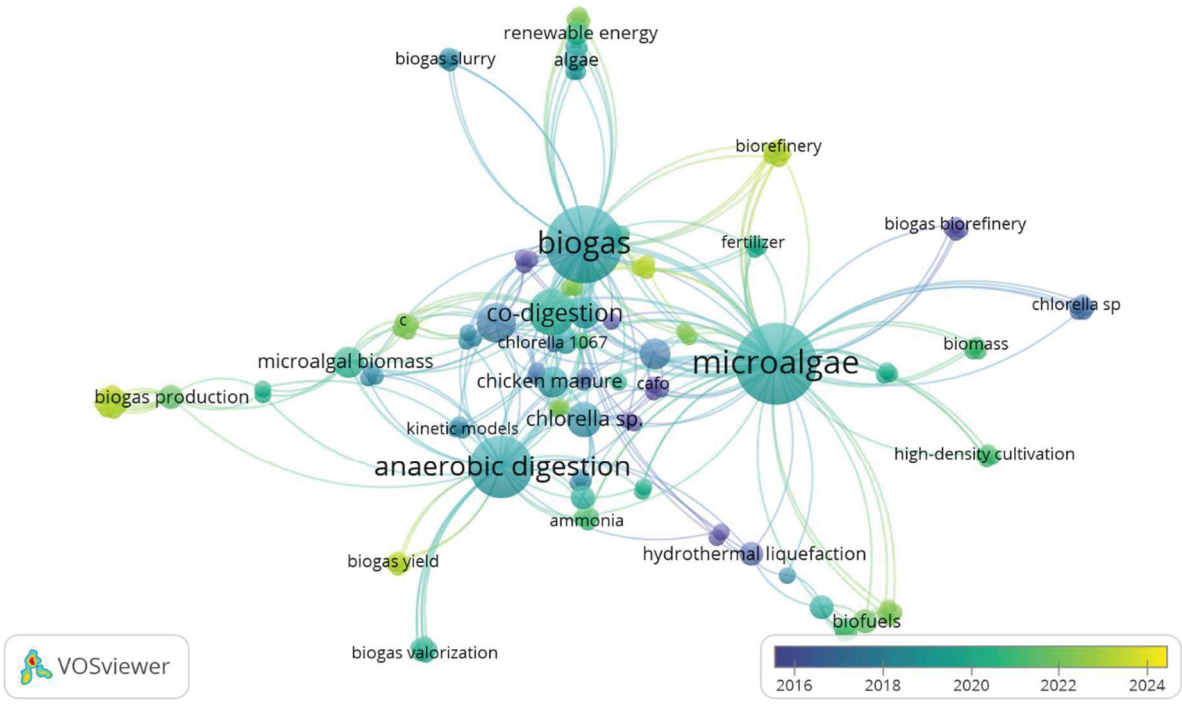
2.1. Bibliyometrik Analiz

Web of Science sitesi aracılığıyla "Biyogaz, Mikroalg, Gübre ve Enerji" anahtar kelimeleri tüm alanlar seçilerek yapılan araştırmada en eski 2019 en yeni 2023 olmak üzere 57 makaleye ulaşılmıştır (WOS, 2023). Şekil 1'de ortak anahtar kelime analizi diyagramı oluşturulmuştur, biyogaz üretimi ve değerlendirilmesi ile ilgili araştırma alanlarındaki çalışmaları göstermektedir. Diyagramdaki her nokta bir anahtar kelimeyi temsil etmektedir. Diyagram, biyogaz üretiminde Chlorella sp. ve anaerobik çürütme gibi konularda yoğunlaşan bir araştırma alanı olduğunu göstermektedir. Mikroalglerden biyokütle üretimi ve biyogazın değerlendirilmesi de ilgi çeken diğer araştırma alanlarıdır. Diyagram, biyoyakıt ve biyogaz üretimi alanındaki araştırmalar ve araştırmacılar arasındaki ortak çalışmalar hakkında bilgiler sunmaktadır.



Şekil 1. Ortak Anahtar Kelime Analizi Diyagramı

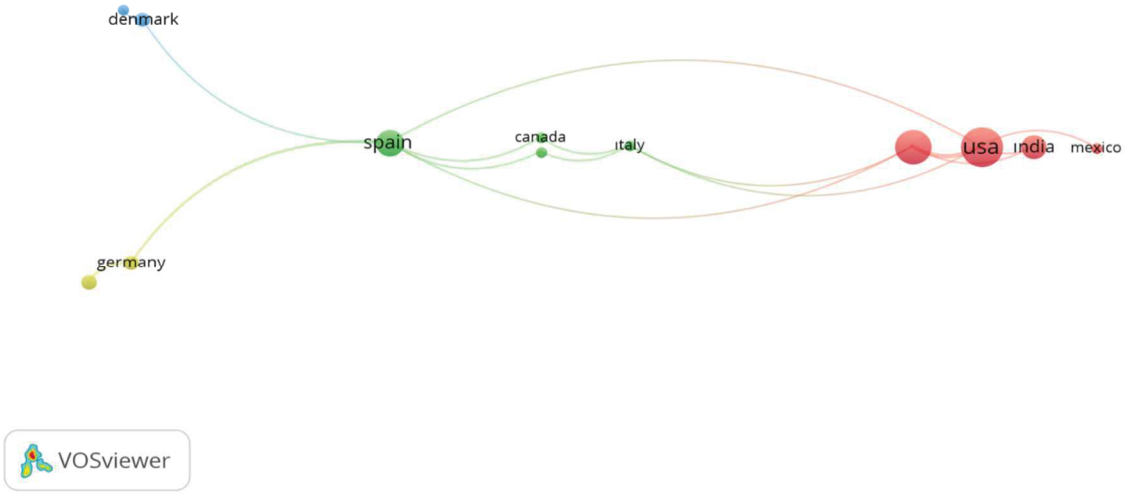
Şekil 2'de biyogaz konusuyla ilgili makalelerde en sık birlikte yer alan anahtar kelimeleri göstermektedir. Diyagram, anahtar kelimeler arasındaki bağlantıları da göstermektedir. Bu bağlantılar, yazarların hangi anahtar kelimeler üzerinde çalıştığını ve hangi anahtar kelimelerin birbiriyle ilişkili olduğunu göstermektedir. Diyagram 2016 ve 2020 yılları arasında ilgili konular ile ilgili araştırmaların daha yoğun olduğunu göstermektedir. Diyagram, 2016 ile 2024 yılları arasında yayınlanan makaleleri kapsamaktadır. Bir anahtar kelimenin boyutu, o anahtar kelimenin ne kadar sık birlikte yer aldığını göstermektedir.Diyagram, biyogaz araştırmalarının hangi alanlarda yoğunlaştığını ve hangi alanlarda daha fazla araştırmaya ihtiyaç olduğunu da gösteriyor.



Şekil 2. Yıllara Göre Anahtar Kelime İlişkisi Diyagramı

Şekil 3 ülkelere göre anahtar kelimeler üzerinden yapılan araştırmaları göstermektedir. Her bir daire bir ülkeyi temsil etmektedir ve dairelerin boyutları, o ülkenin araştırmaya katkısını göstermektedir. Daireler arasındaki çizgiler, ülkeler arasındaki işbirliğini göstermekte ve çizgilerin kalınlığı işbirliğinin sıklığını göstermektedir. Diyagram, araştırmaya en çok katkıda bulunan ülkelerin ABD, İtalya ve İspanya olduğunu

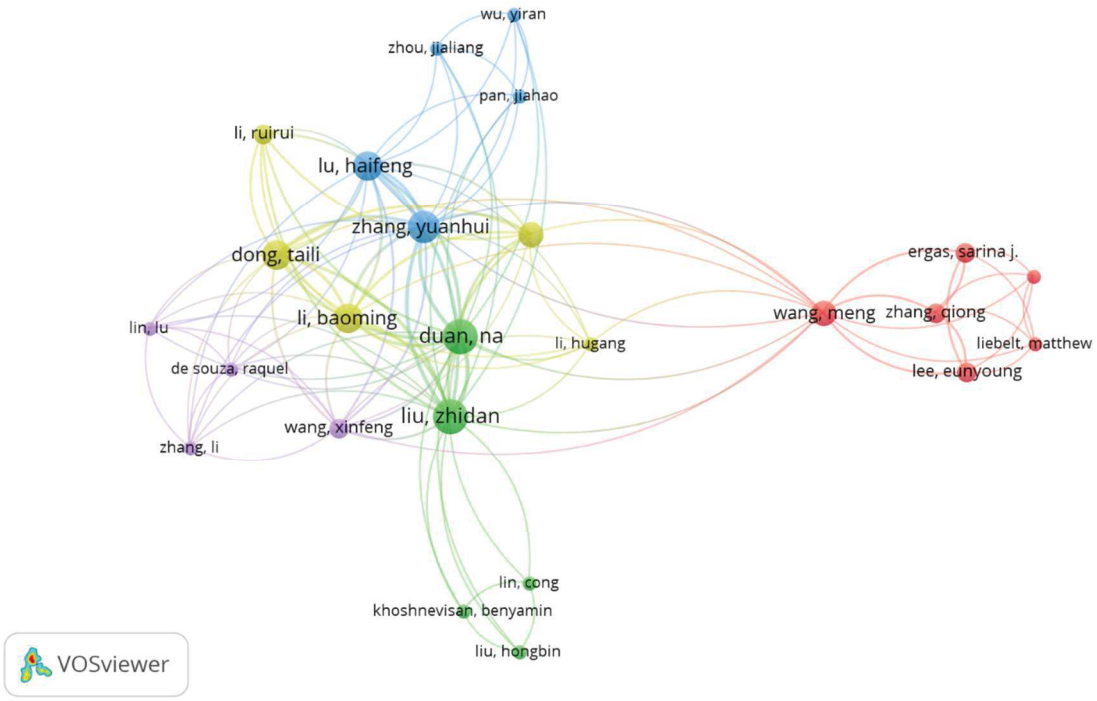
göstermektedir. Diyagram ayrıca, ABD'nin İtalya ve İspanya ile yakın etkileşim içinde olduğunu, ancak Almanya ve Kanada ile daha az etkileşim içinde olduğunu göstermektedir.Diyagram, Hindistan ve Meksika'nın araştırmalara diğer ülkelere göre daha az katkıda bulunduğunu göstermektedir.



Şekil 3. Ülkelere Göre Araştırmalar Diyagramı

Şekil 4 gübre alanında araştırmalar yapmış farklı yazarların birbiriyle olan ortak çalışmalarını göstermektedir. Diyagramda her bir nokta, belirli bir yazarı temsil etmekte ve çizgiler bu yazarların ortak çalışma ilişkilerini göstermektedir. Renkler, farklı ortak çalışma kümelerini veya gruplarını ayırt etmeye yardımcı olur. Zhang Yuanhui, Duan Na ve Wang Meng gibi yazarlar diyagramda önemli bir ortak çalışma ilişkisi içinde görünmektedir.

Bu tür diyagramlar, bilimsel araştırmalarda yazarların ortak çalışmalarını anlamak için kullanılmaktadır. Bu örnekte, belirli yazarların hangi konularda birlikte çalıştığını ve hangi alanlarda uzman olduklarını anlamak mümkün olabilir.



Şekil 4. Gübre Anahtar Kelimesi ve Ortak Yazar Analizi Diyagramı

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM
ARAŞTIRMA YÖNTEMİ/MATERYAL VE YÖNTEM

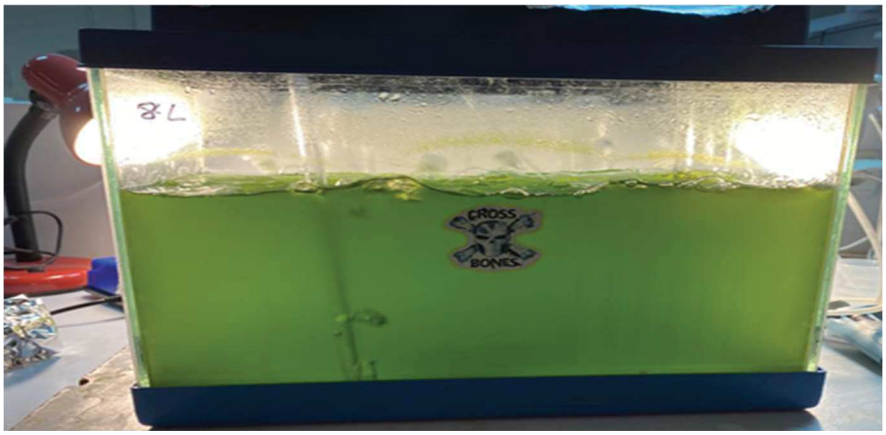
Büyüme hızını izlemek için mikroalg kültürünün 680 nm'deki optik yoğunluğu (OD) her gün ölçülmüştür. Hach DR 5000 Spektrofotometre Kılavuzunu takibe n kimyasal oksijen ihtiyacı (COD), nitrat, nitrit, organik fosfor ve orto-fosfor analizleri için ilk ve son günlerde sıvı numuneler toplandı. Toplam katılar (TS), uçucu askıda katılar (VS) ve pH, APHA standart yöntemlerine göre analiz edildi.

3.1. Gübre ve Anaerobik Aşı Çamurunun Özellikleri

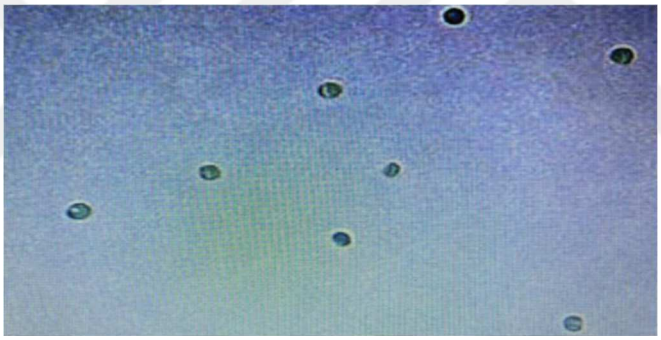
Anaeorobik reaktörlerin işletilmesi için gübre ve aşı çamuru alınmış ve laboratuarda pH, TKM (Toplam Katı Madde), TUKM (Toplam Uçucu Katı Madde), azot, fosfor ve organik madde açısından incelenmiştir. Öncelikle laboratuvar ortamında krozeler sabit tartımdan alınmış, daralarına bakılmıştır. Reaktörlerde kullanılan aşı çamurunun TKM değeri ortalama 60942 mg/L, TUKM değeri ise ortalama 42397 mg/l'dir. Gübre yaklaşık %16,8 TKM ve %13,8 TUKM içeriğine sahiptir.

3.2. Mikroalg Temini

Mikroalg türü olan Nannochloropsis Çevre Mühendisliği Su ve Atıksu Laboratuvarlarında yetiştirilmektedir (Şekil 5). Mikroalg havuzunu ve mikroalg türünün mikroskop imajını göstermektedir. Anaerobik reaktörlerde kullanılacak mikroalg, bu havuzdan temin edilmiştir.



Mikroalg havuzu



Nannochloropsis microkroskop imajı (40X)

Şekil 5. Mikroalg havuzu ve mikroalg türünün mikroskop imajı (40X)

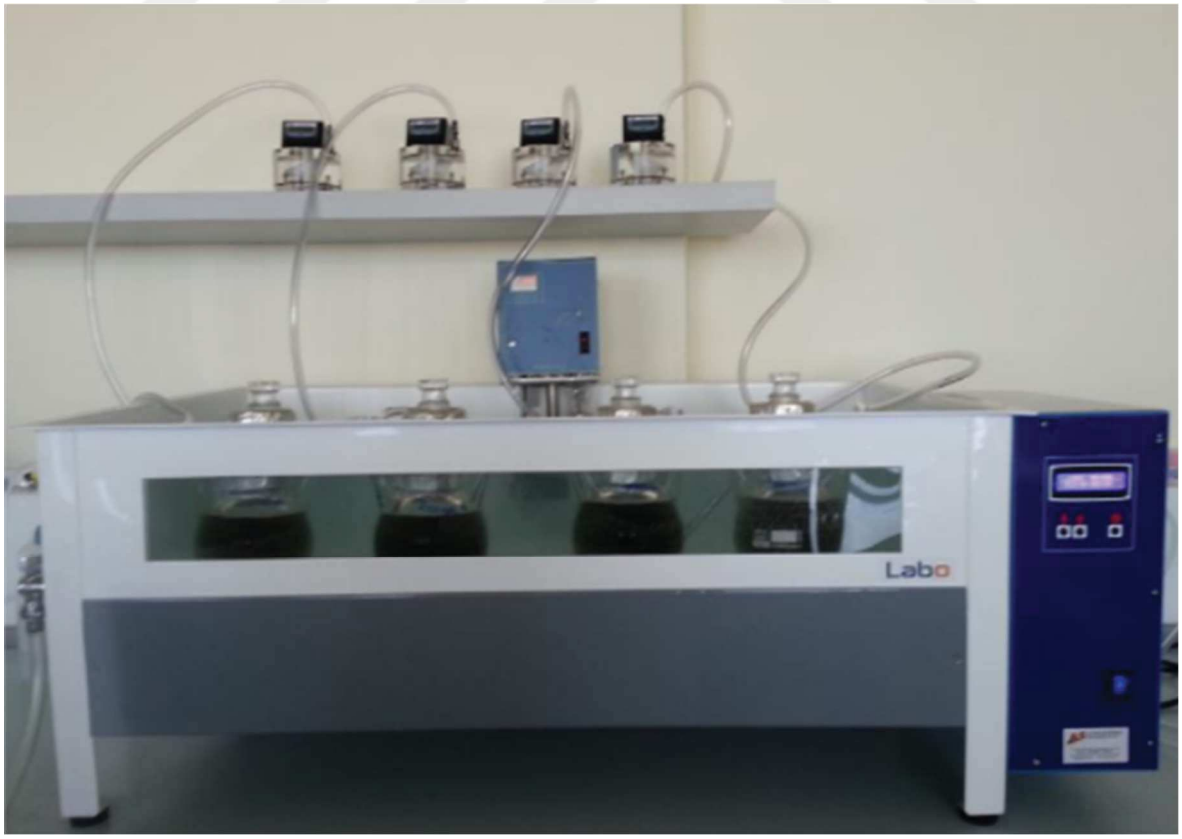
3.2.1. Nannokloropsis'in Özellikleri ve Büyüme Koşulları

Mikroalg, stok çözeltisi (100 g / L $MgSO_4$, 100 g / L $MgCl_2$, 150 g / L $CaCl_2$, 100 g / L KNO_3, 4 g / L $NaHCO_3$ ve 7 g / L KH_2PO4 dahil) kullanılarak ışık varlığında yetiştirildi (ototrofi – ışık yoğunluğu 60W). Deney düzeneği, toplam çalışma hacmi 2 L olan, atmosfere açık bir biyoreaktörden oluşuyordu. Mikroalg inkübasyonu 20 °C'de pH 8-

8,2'de yaklaşık 15 gün süreyle gerçekleştirildi. Tuzluluk %35-37 aralığında sabit tutuldu. Mikroalg büyümesi, spektrofotometrede 680 nm'de ölçülerek belirlendi.

3.3. Biyogaz Reaktör Düzeneği

Reaktör düzeneği; karıştırıcılı ve ısıtıcılı su banyosunun içine koyulan 250'şer mililitrelik özel yapım cam reaktörleri içermektedir (Şekil 6). Çıkan biyogaz şeffaf bir boru ile bağlı MGC ler yardımı ile takip edilmiştir. Büyük baş hayvan gübresi ve mikroalg karışımları kullanılarak çeşitli koşullar altında anaerobik ayrışma prosesi uygulanmıştır ve belirlenen optimum koşullar altında çalışılmıştır. Anaerobik reaktörler, pH 6.8-7.2 aralığında, sıcaklık 35±2 ºC ve karıştırma hızı 90 rpm olarak çalıştırılmıştır. Başlangıçta reaktörlerde anaerobik şartlar azot gazı verilerek sağlanmıştır. Anaerobik reaktörlerde alkalinite 1500-2500 mg $CaCO_3$/L olacak şekilde sodyum bikarbanot ilavesi ile sağlanmıştır. Proses öncesi ve sonrası reaktörlerden alınan numunelerde; pH, TKM (Toplam Katı Madde) ve TUKM (Toplam Uçucu Katı Madde) parametreleri takip edilmiştir. Eş zamanlı olarak reaktörlerde oluşan biyogaz miktarı izlenmiştir.



Şekil 6. Lab ölçekli reaktör düzeneği ve MGC (gaz ölçüm cihazları)

➢ **Aletler-Araçlar-Gereçler-Cihazlar**

Deneysel çalışmalarda kullanılan cihazlar aşağıdaki gibidir.

- Çoklu ölçüm cihazı,
- 250'şer mililitrelik cam reaktörler,
- Karıştırıcılı su banyosu,
- Miligas Counter (MGC)
- Silikon tıpa,
- Manyetik karıştırıcı,
- Kül fırını,
- Etüv

3.3.1. Biyogaz Reaktör İçerikleri

Çalışma kapsamında 6 adet farklı oranda alg içeren reaktör kurulmuştur. Her reaktöre 50 ml aşı çamuru konulmuştur. Reaktör içerikleri %12 katı madde olacak şekilde ayarlanmıştır. 250 ml'lik reaktörlerde 1. Reaktör alg içeriği %40, 2.Reaktör alg içeriği %32, 3.Reaktör alg içeriği %22, 4.Reaktör alg içeriği %12, 5.Reaktör alg içeriği 0, 6.Reaktör alg içeriği 0'dır.

3.3.2. Anaerobik Reaktörlerin Çalışma Koşulları

Tablo 3'te Anaerobik reaktörlerinin çalışma koşulları verilmiştir.

Tablo 3. Anaerobik Reaktörlerin Çalışma Koşulları

Parametreler	**Değer Aralığı**
pH	6.8-7.2
Sıcaklık (ºC)	35±2
Karıştırma Hızı (rpm)	90
Alkalinite	1000 mg $NaHCO_3$/L
Besin Çözeltisi	KH_2PO_4 2,5g/L , $K2HPO_43H_2O$ 1,31 g/L , NH_4Cl 1g/L, $MgCl_26H_2O$ 0,22 g

3.4. Veri Toplama Teknikleri:

3.4.1. Analitik Metotlar

Gübre ve arıtma çamurunda, işletme sonrasında meydana gelen değişimlerin izlenmesi için pH, TKM (Toplam Katı Madde), TUKM (Toplam Uçucu Katı Madde), parametreleri takip edilmiştir. Tablo 4'da çalışmada uygulanan analitik metodlar verilmiştir.

Tablo 4. Analitik Metotlar

PARAMETRE	**METOT**	**ENSTRUMAN**
pH	4500H B Metot Electrometrik (APHA, AWWA-WPCF-1992)	ORION-SA 520 pH metre
UAKM	Standart Metot 2540 D	Filtre set, etüv, fırın
İletkenlik	2510 B Metot (APHA, AWWA-WPCF-1992)	
Biyogaz	Gaz ölçümü	MGC
Toplam Katı Madde	Standart Metot 2540B	Etüv
Uçucu Katı Madde	Standart Metot 2540E	Etüv ve fırın
Mikroskop	Moticam1 1280*720	Motic

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM
ARAŞTIRMA BULGULARI

Araştırmanın bu bölümünde, büyükbaş hayvan gübresi ve *Nannokloropsis*'in ko-fermantasyonu ile biyometan üretilmesi amacıyla elde edilen veriler, hedeflenen amaçlar doğrultusunda analiz edilmiş, değerlendirilmiş ve öneriler geliştirilmesine yönelik bulgular sunulmuştur.

Çalışma, deneysel yöntem kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Biyogaz üretimi amacıyla 6 farklı içerikte reaktör kurulmuş ve günlük değerler ölçülmüştür.

4.1. Reaktörlere Ait Biyogaz Değerleri

Reaktörler %12 katı madde olacak şekilde kurulmuştur. Kurulan reaktörlerin hepsinde biyogaz artışı görülmüştür ancak en yüksek verim %12 Alg içerikli reaktörde gözlemlenmiştir. Tablo 5'de reaktörlere ait biyogaz değerleri verilmiştir.

Tablo 5. Reaktörlere Ait Biyogaz Değerleri

TARİH	REAKTÖR 1 Mikroalg %40 ml	REAKTÖR 2 Mikroalg %32 ml	REAKTÖR3 Mikroalg %22 ml	REAKTÖR 4 Mikroalg %12 ml	REAKTÖR 5 Mikroalg 0 ml	REAKTÖR 6
1.Gün						
2.Gün	19,92	19,92	13,08	22,15	23,03	
3.Gün	63,08	49,8	35,97	29,25	23,03	
4.Gün	63,08	53,12	45,78	35,75	23,03	
5.Gün	63,08	59,16	52,32	42,25	23,03	
6.Gün	73,04	83	81,75	61,75	23,03	
7.Gün	122,84	142,76	150,42	110,5	23,03	
8.Gün	138,8	162,68	166,77	126,15	23,03	

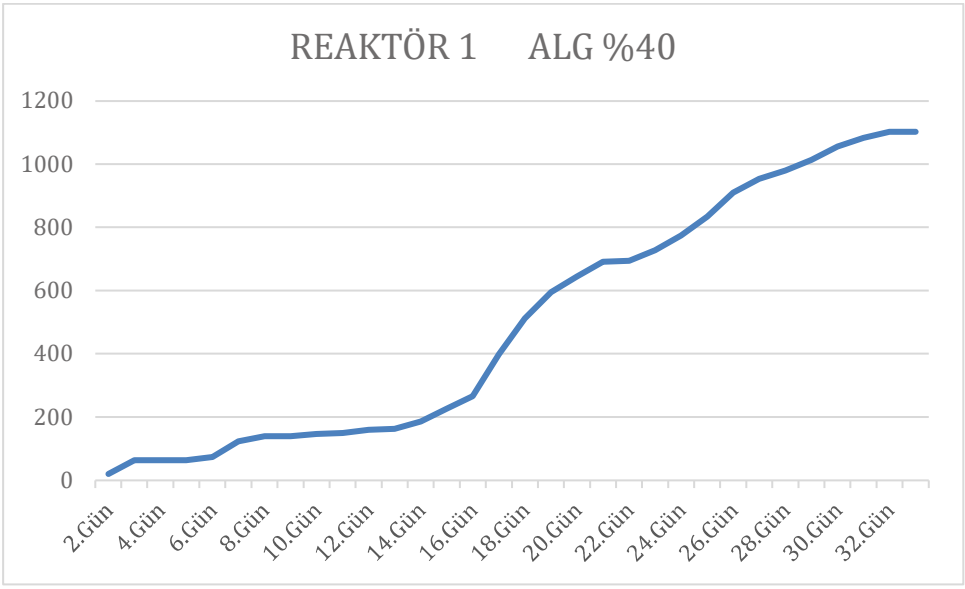
Tablo 5'in devamıdır.

9.Gün	139,44	172,64	176,58	133,25	23,03	
10.Gün	146,08	179,28	183,12	136,5	23,03	
11.Gün	149,4	182,6	186,39	139,75	23,03	
12.Gün	159,36	192,56	196,2	143	23,03	
13.Gün	162,68	192,56	199,47	143	3,34	
14.Gün	185,92	215,8	219,09	156	103,54	85,54
15.Gün	225,76	252,32	258,33	178,75	213,76	154,63
16.Gün	265,6	288,84	300,84	198,25	233,8	171,08
17.Gün	398,4	431,6	497,04	321,75	263,86	197,4
18.Gün	511,28	577,68	683,43	497,25	287,24	207,27
19.Gün	594,28	697,2	814,23	656,5	320,64	213,85
20.Gün	644,08	770,24	889,44	763,75	364,06	220,43
21.Gün	690,56	830	958,11	845	440,88	230,3
22.Gün	693,88	833,32	961,38	851,5	450,9	230,3
23.Gün	727,08	886,44	1016,97	923	504,34	246,75
24.Gün	773,56	949,52	1072,56	1010,75	534,4	273,07
25.Gün	833,32	1022,56	1134,69	1108,25	547,76	315,84
26.Gün	909,68	1122,16	1213,17	1238,25	551,1	384,93
27.Gün	952,84	1198,52	1258,95	1329,25	554,44	480,34
28.Gün	979,4	1261,6	1281,84	1394,25	581,16	611,94
29.Gün	1012,6	1308,08	1308	1443	581,16	769,86
30.Gün	1055,76	1367,84	1350,51	1524,25	651,3	944,23

Tablo 5'in devamıdır.

31.Gün	1082,32	1417,64	1370,13	1576,25	657,98	1056,09
32.Gün	1102,24	1460,8	1383,21	1605,5	734,8	1148,21
33.Gün	1102,24	1460,8	1383,21	1605,5	754,84	1164,66

Şekil 7'te, alg oranı %40 olan bir biyogaz üretim reaktörü için günlük biyogaz üretimi verileri yer almaktadır. Biyogaz üretimi ilk günlerde yavaş bir artış göstermiştir.15 günlük alışma sürecinden sonra ise biyogaz üretiminde hızlı bir artış yaşanmıştır. Anaerobik ayrıştırma işlemi, reaktörün alışma süreci boyunca yavaş yavaş hızlanır. Bu süreç tamamlandıktan sonra, biyogaz üretimi daha istikrarlı bir seviyeye ulaşır. Genel olarak, veriler, alg oranı %40 olan bir biyogaz üretim reaktörü için biyogaz üretiminin başarılı bir şekilde gerçekleştirilebileceğini göstermektedir. Önceki çalışmalara baktığımızda, *Nannokloropsis* ve domuz gübresinden yapılan bir araştırmada %40 oranında mikroalg eklenmesi prosesin temel yönlerini önemli ölçüde iyileştirmiştir. Metan verimi 355 mL/ gVS ölçülmüştür (Tsapekos vd., 2018).

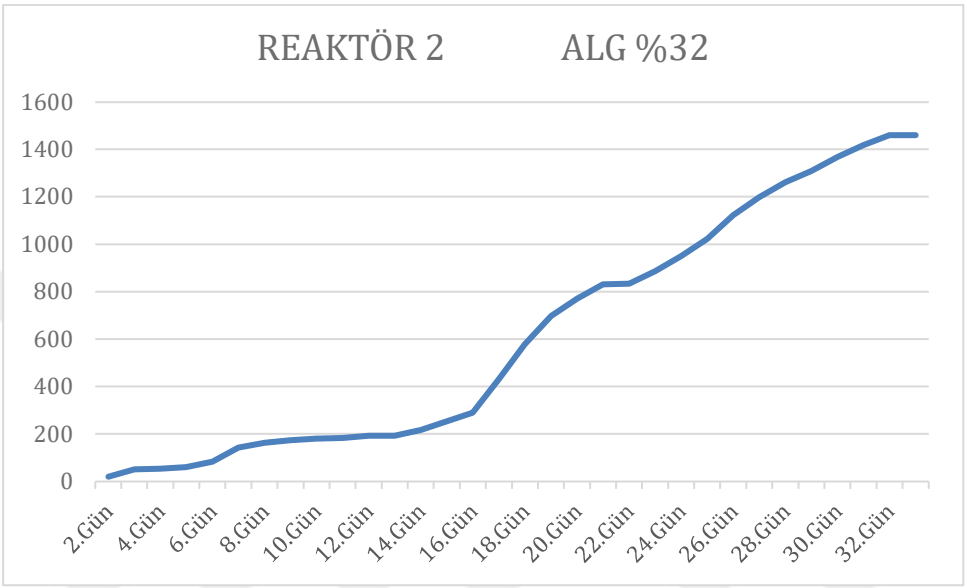


Şekil 7. Reaktör 1'in Günlere Göre Biyogaz Artış Grafiği (gün-ml)

Şekil 8, biyogaz üretiminin başlangıçta nispeten düşük olduğunu, ancak daha sonra artmaya başladığını göstermektedir. Biyogaz üretimi kademeli olarak artmıştır. Genel

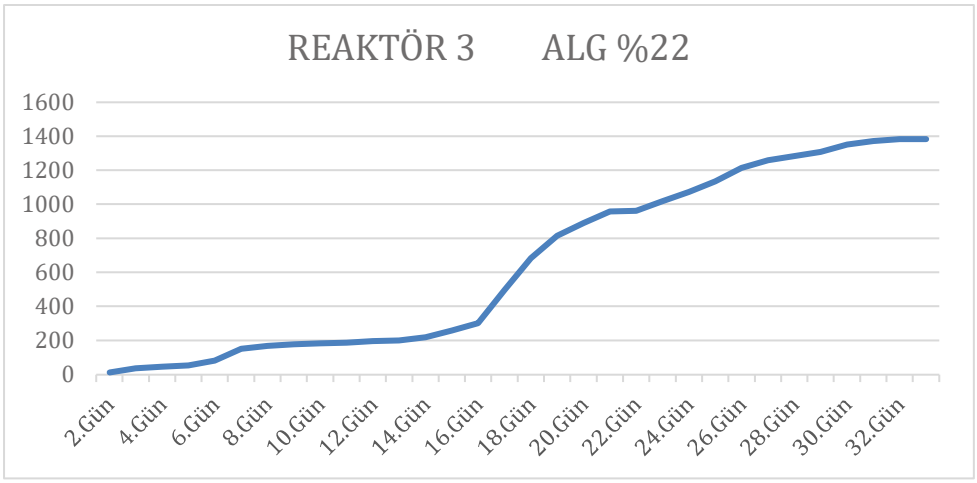
olarak, grafik, Reaktör 2'nin düzenli olarak biyogaz ürettiğini göstermektedir. Biyogaz üretiminin artması, reaktördeki biyolojik aktivitenin artmaya başladığını göstermektedir.

Genel olarak, veriler, alg oranı %32 olan bir biyogaz üretim reaktörü için biyogaz üretiminin başarılı bir şekilde gerçekleştirilebileceğini göstermektedir.



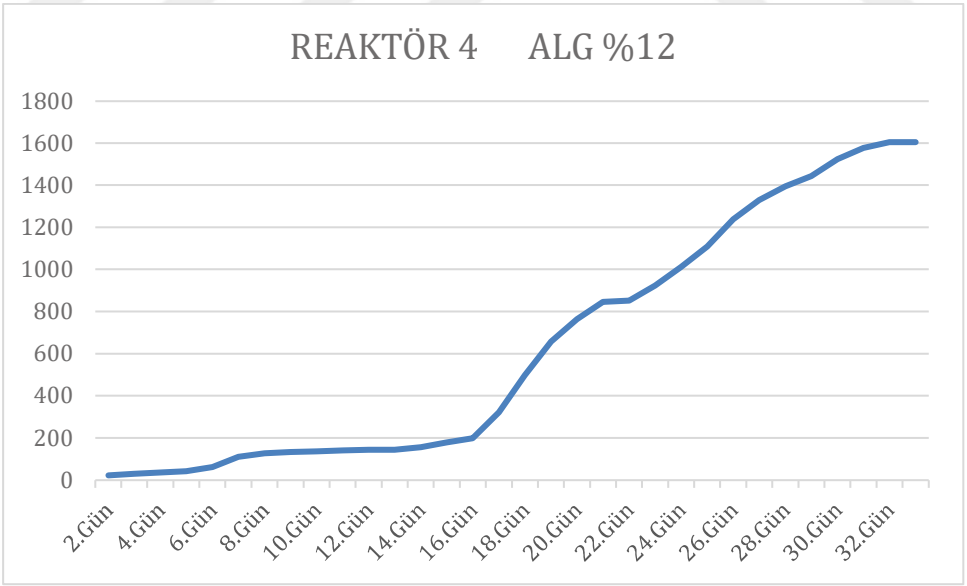
Şekil 8**.** Reaktör 2'nin Günlere Göre Biyogaz Artış Grafiği (gün-ml)

Şekil 9 Reaktör 3'ün biyogaz üretimini göstermektedir. Grafikten görülebileceği gibi, biyogaz üretimi ilk haftalarda yatay bir seyir izlemiştir. Ancak 2 hafta sonra, biyogaz üretiminde önemli bir artış olmuştur. Veriler, alg oranı %22 olan bir biyogaz üretim reaktörü için biyogaz üretiminin başarılı bir şekilde gerçekleştirilebileceğini göstermektedir.



Şekil 9. Reaktör 3'ün Günlere Göre Biyogaz Artış Grafiği (gün-ml)

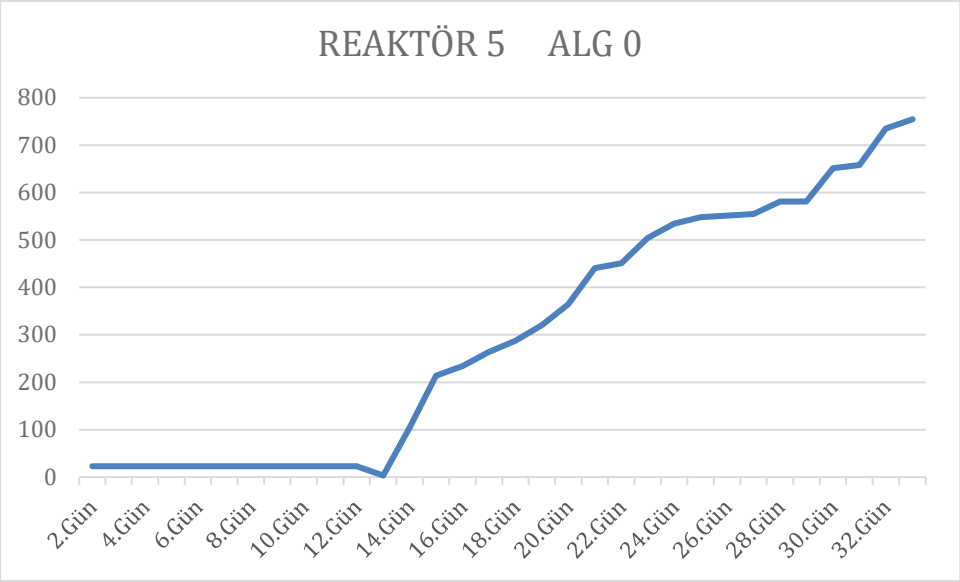
Şekil 10'da, alg oranı %12 olan bir biyogaz üretim reaktörü için günlük biyogaz üretimi verileri yer almaktadır. Biyogaz üretimi ilk günlerde yavaş bir artış göstermiştir.15 günlük olgunlaşma sürecinden sonra ise biyogaz üretiminde hızlı bir artış yaşanmıştır. Biyogaz artışının en fazla görüldüğü reaktör 4. reaktördür. Alg miktarının azalmasıyla biyogaz miktarındaki artışın sebebi mikroalg tuzluluk oranının düşüşü etkili olmuş olabilir.



Şekil 10. Reaktör 4'ün Günlere Göre Biyogaz Artış Grafiği (gün-ml)

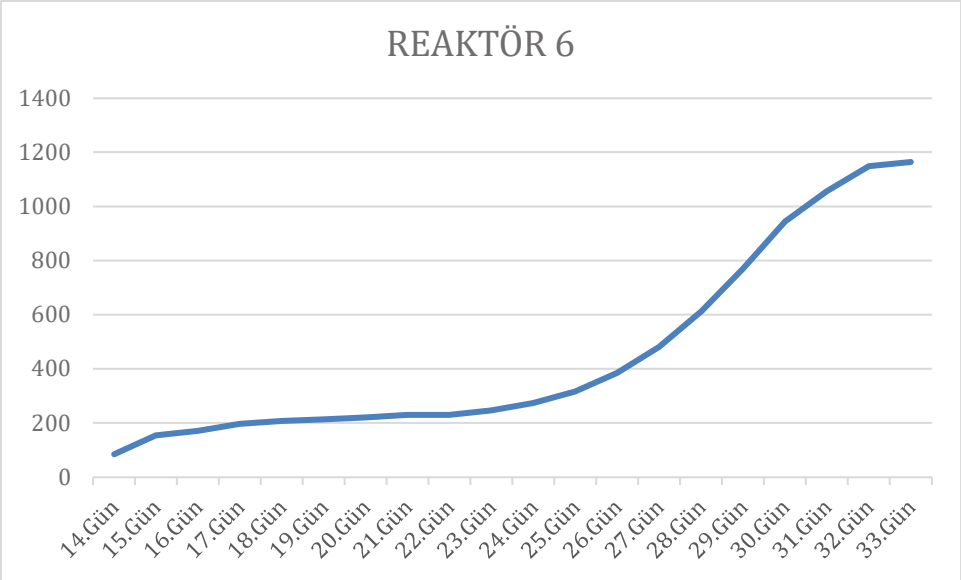
Şekil 11'de, alg oranı %0 olan bir biyogaz üretim reaktörü için günlük biyogaz üretimi verileri yer almaktadır. Biyogaz artışı ilk 10 günlük süreçte sabit bir değerde

kalmış ardından hızlı bir yükseliş ivmesi kazanmıştır. Ancak %0 alg içeriğiyle reaktör 5 en az biyogaz üretimine sahiptir. Bu da bizlere *Nannokloropsis* ve hayvan gübresinin verimli bir biyokütle kaynağı olduğunu ve birlikte kullanılabileceğini göstermektedir.



Şekil 11. Reaktör 5'in Günlere Göre Biyogaz Artış Grafiği (gün-ml)

Şekil 12, Reaktör 6'nın günlere göre biyogaz artış grafiğini göstermektedir. Reaktör anaerobik aşı çamuru ve gübre kullanılarak hazırlanmıştır. Grafik, biyogaz üretiminin ilk birkaç gün içinde hızla arttığını ve ardından istikrarlı bir seviyede kaldığını göstermektedir. Grafiğin ilk birkaç gününde, biyogaz üretiminin hızlı artması, reaktörün başlatılması ve bakteri popülasyonunun gelişmesi ile açıklanabilir. Grafiğin geri kalanında, biyogaz üretiminin istikrarlı bir seviyede kalması, reaktörün artık tam kapasitede çalıştığına işaret etmektedir. Bu sonuçlar, anaerobik aşı çamuru ve gübre kullanıldığında biyogaz üretimi 1200 ml'ye ulaşmıştır. Diğer reaktörlerle karşılaştırıldığında mikroalg ilavesi olan reaktörlere göre daha düşük biyogaz miktarı elde edilmiştir.



Şekil 12. Reaktör 6'nın Günlere Göre Biyogaz Artış Grafiği (gün-ml)

4.2. Sistematik Analiz

Biyogaz, Mikroalg, Gübre ve Enerji anahtar kelimeleri girilerek bulunan makalelere göre oluşturulmuş sistematik analiz tablosu oluşturulmuş ve Tablo 6'da verilmiştir (WOS, 2023)

Tablo, mikroalglerin biyogaz üretiminde kullanımıyla ilgili araştırmaları özetlemektedir. Her satır, farklı bir araştırmayı ve bu araştırmada kullanılan mikroalg türünü, gübre türünü, işletim modunu, ön arıtma işlemini, yardımcı substratı, metan üretimini göstermektedir. Çalışmalar, mikroalglerin eklenmesiyle biyogaz üretiminin artabileceğini göstermektedir. *Chlorella* ve *Nannochloropsis* türleri, biyogaz üretimini artırmada en etkili olan mikroalg türleridir. Sığır gübresi, mikroalglerin yetiştirilmesi için en yaygın kullanılan gübre türüdür ve biyogaz üretimini önemli ölçüde arttırdığı gözlenmiştir. Biyogaz üretimi, kullanılan mikroalg türüne, gübreye, operasyon moduna ve ön arıtma işlemlerine bağlı olarak değişebilmektedir. Ön arıtma ve yardımcı substrat kullanımı biyogaz üretimini daha da artırabileceği gözlenmiştir. Mikroalglerin önceden işlenmesi ve ek besin kaynağıyla beslenmesi, biyogaz üretimini %30'a kadar artırabilmektedir. Bu alandaki araştırmaların artmasıyla birlikte, mikroalglerin biyogaz üretiminde daha yaygın olarak kullanılması beklenmektedir.

Tablo 6. Sistematik Analiz

No	Mikroalg	Gübre türü	Operasyon Modu	Ön Arıtma	Yardımcı substrat	%Mikroalg	Biyogaz Üretimi	Metan Üretimi	Referans
1	*Chlorella Nannochloropsis Scenedesmus*	Tavuk Gübresi							Torres vd., 2023
2	*Chlorella*	Domuz Gübresi	Birlikte piroliz			Domuz gübresine 6–16 % alg	Tek başına domuz gübresiyle benzer biyogaz üretimi		Wang vd., 2016
3			Birlikte piroliz	-	-	43 % ten fazla alg eklenmesi	Domu gübresinin biyogaz üretimini bozmuştur.		
4			Yarı Sürekli Çürütme	-	-	Domuz gübresine TUKM ile birlikte 10 ± 3 % alg	Yalnızca gübre kullanımızla benzer		
5	*Nannochloropsis oculata*	Sığır Gübresi		Ultrasonikasyon	-		Mikroalglerin ön arıtımı biyogaz üretimini %5 ila 30 oranında azalttı		Saleem vd., 2020
6	*Chlorella 1067*	Tavuk Gübresi						(238.71 mL(g VS)1) karışım oranında 8:2	Li vd., 2017
7	*Nannochloropsis limnetica*	Domuz gübresi						Domuz gübresinin atık su mikroalgiyle kısmen değiştirilmesi, etkili hammaddedeki organik madde açısından% 40 oranında biyoenerji üretimini% 23 oranında iyileştirmiştir.	Tsapekos P. vd., 2018

Tablo 6'nın devamıdır.

8	*Chlorella pyrenoidosa (CP) and C. vulgaris (CV)*	Tavuk Gübresi	Birlikte piroliz	30 Gün boyunca 35 ° C'de fermantasyon	-	10, 20 and 30		-	Li vd., 2020
9	*Chlorella vulgaris*	Sığır Gübresi	Karbondioksit azaltma	-	-	-	Alternatif olarak mikroalg *C. vulgaris* TİSTR 8580'in kullanılması, biyogazdan karbondioksit azaltımı ve petrol üretimi için ilgi çekicidir ve biyogaz yükseltmesine yönelik araştırma geliştirme için bir veri tabanı oluşturabilir.	C. vulgaris tarafından yükseltilen biyogazda metan zenginleştirmenin etkinliği artırılmıştır.	Jaikua vd., 2018
10	-	Hayvan gübresi: dana, kuzu ve domuz	Anaerobik birlikte çürütme	Mekanik işlem: -5 ° C'de saklama	Domates posası	-	-	-	Parralejoa vd., 2019
11	*Filamentous (Tribonema sp.)*	Domuz Gübresi	Anaerobik çürütme	-	-	40 ~ 60	-	Mikroalglerin eklenmesi, AD sürecinin temel yönlerini önemli ölçüde iyileştirdi (yani metan verimi, enerji dönüşüm verimliliği, adkinetik ve sindirilebilirlik). Birlikte çürütmenin sinerjik etkileri, yoğun ön işlem yapılmadan metan üretimini artırdı.	Hu vd., 2021

Tablo 6'nın devamıdır.

12	*Acutodesmus sp. and Chlorella sp. Leptolyngbya sp., Chlorella sp., Chlamydomanas sp.*	Tavuk Gübresi	Anaerobik çürütme	Mekanik işlem: Gübrenin 4 ° C'de Saklanması	-	-	-	-	Hu vd., 2020
13	*Tetradesmus obliquus*	Domuz ve sığır gübresi	Hava Kaldırma Reaktörü	-	-	-	-	fotobiyoreaktörden gaz geçişi gerçekten de CO2'yi azalttı ve gazlı karışım çıkışındaki metan içeriğini arttırdı	Miyawaki vd., 2021
14	*Chlorella vulgaris*	Sığır Gübresi	Anaerobik çürütme	Bakteri Kültürü ve Hidroliz	mikroalg ve gübre karışımı	-	3. nesil biyogaz üretildi	Bu yaklaşım, yüksek amonyak konsantrasyonlarında (4,2 g NH4 +-N L-1'e kadar) yüksek metan verimi sağladı	Mahdy vd., 2016
15	*Dunaliella Salina*	-	Biyoreaktör sistemi	-	-	-	Biyogaz hacmi sıcaklığa ve fermantasyon süresine bağlıdır.	21 Günlük fermantasyondan sonra biyogaz %4,57 metan içeriği ile üretim yapmıştır.	Anggunsari vd.,2019
16	*Chlorella cultivation*	Domuz Gübresi	Pilot ölçekli (FBCO) reaktör	Flokülasyon ve biyolojik temas oksidasyonu	-	-	-	-	Zhou vd., 2019
17	*Enteromorpha*	-	Kinetik model, anaerobik çürütme	-	-	-	-	-	Zaidi vd., 2018
18	*Methanotroph coculture*	-	Anaerobik çürütme	3 yöntem: yerleşim, filtre ve otoklav		-	-	-	Roberts vd., 2020
19	*Mikroalg*	Domuz Gübresi	Anaerobik çürütme	Flokülasyon ve biyolojik temas oksidasyonu	-	-	-	-	Duana vd., 2020

Tablo 6'nın devamıdır.

20	*Mikroalg*	-	Anaerobik çürütme	Otohidroliz	WAS ortak substrat olarak kullanılır	-	Mikroalgler ve WAS'ın birlikte çürütmei, en yüksek biyogaz üretimine ulaşmak için gereken süreyi azaltabilir.	Mikroalg üçüncül arıtmanın aktif çamur sistemine entegre edilmesi, %130 oranında düşük metan verimini artırır	Arias vd., 2017
21	*Chlorella sp.*	Tavuk Gübresi	Birlikte piroliz	-	-	-	-	İki ortak substratın (Chlorella ve tavuk gübresi) birlikte çürütme metan verimini arttırdı.	Li vd., 2017
22	*Nannochloropsis salina*	-	Anaerobik Batch çürütme	Termal	-	-	-	-	Schwede vd., 2013
23	*s. Platensis and Chlorella sp.*	Tavuk Gübresi	Birlikte piroliz	Elektrokimyasal arıtma	-	-	-	-	Wang vd., 2020
24	*Scenedesmus sp.*	Hayvan gübresi	Sinerjistik sistem	-	-	-	-	-	Sagues vd., 2019
25	*Chlorella sp.*	-	Yarı kesikli reaktör, anaerobik çürütmenin kinetik modellemesi	Termal	-	-	Termal ön arıtma, alglerden biyogaz üretimini ve biyogazın metan bileşimini iyileştirmiştir.	Ön arıtma, işlenmemiş mikroalglerin çürütmeyle karşılaştırıldığında metan verimini %38 ila %47 artırdı.	Wang vd., 2015
26	*F.Vesiculosus, , U. İntestinalis*	Sığır Gübresi	Deneysel analiz	Depolama ve parçalama	-	-	Mevcut Letonya koşullarında alglerin biyogaz üretimi için kullanılması uygun değildir.	Düşük potansiyel	Pastare vd., 2019
27	*Mikroalg*	-	Lipid ekstraksiyonu	Hücre Bozulması (Blight and dyer / Folch method)	-	-	1. nesilden 4. nesile kadar biyoyakıtlar	-	

Tablo 6'nın devamıdır.

28	*Mikroalg*	-	Birlikte piroliz	-			Biyogaz ve metan miktarının, mikroalglerin substrattaki payı ve hammadde C/N oranı gibi değişkenlerden önemli ölçüde etkilendiği bulunmuştur.	Substrattaki Miscanthus×giganteus silajının oranındaki art arda artışlar metan içeriğini artırdı.	Debowski vd., 2022
29	*Alg*	Gübre	Anaerobik çürütme	-	-	-		-	Chowdhury vd.,2015
30	*Nannochloropsis oculata*	Sığır Gübresi	Birlikte piroliz	-	-	-	Sonuçlar, karışıma hakim mikroalg içeren (ağırlıkça% 50) her biyokütlenin seçilen oranlarının, parti pirolizi sırasında verim, enerji içeriği ve enerji geri kazanım verimliliği gibi seçilen tepkileri önemli ölçüde etkilemediğini gösterdi.	-	Hanif vd., 2016
31	*Mikroalg*	Domuz Gübresi	LCA metodolojisi	-	-	-	Yerleşik biyogaz teknolojisine sahip yenilikçi mikroalg teknolojisi, biyogaz çürütmenin besin yükünü yeterince azaltmak için karmaşık olmayan teknolojik bir yaklaşımdır.	-	Elshamy vd., 2022
32	*Cladophora glomerata*	Sığır Gübresi	Anaerobik çürütme	-	-	Yaklaşık %50	Daha yüksek bir biyogaz verimi elde edilebilir.	Daha yüksek bir metan verimi elde edilebilir.	Zagorskis vd., 2022

Tablo 6'nın devamıdır.

33	*Chlorella vulgaris*	Tavuk Gübresi	Anaerobik çürütme	-	-	-	Yılda yaklaşık 230 t biyosolid üretebilir; gübre olarak toprak arttırıcı olarak kullanılabilir.	Atık arıtma (AND prosesi), herhangi bir çürütücü arızası olmaksızın çalışabilmesinin yanı sıra, ham CM'de yüksek amonyak ve katı içeriğe sahip olmasına rağmen çok yüksek kalitede metan üretmektedir.	Rajagopal vd., 2021
34	*Alg*	Günlük Gübre	Anaerobik çürütme ve Newir sistemi	-	-	-	-	-	Glover vd., 2023
35	*Scenedesmus sp.*	Tavuk Gübresi	Anaerobik çürütme		LPM (oranın %10'u)	%25 and %50	Alg büyümesi maksimum biyokütle üretkenliğini kaydetti.	Yüksek uçucu katı madde giderimi ve 4 ay boyunca toplam VFA konsantrasyonunun çok düşük konsantrasyonuyla kanıtlanan uzun süreli proses stabilitesi.	Karray vd., 2021
36	*Chlorella sp., Neochloris conjuncta and Botryococcus braunii*	Günlük Gübre	Anaerobik çürütme	-	-	-	3 farklı mikroalg türünden en yüksek besin alımı yalnızca *Chlorella* sp. içeren çürütme ürünleri için bulunmuştur.	3 farklı mikroalg türünden en yüksek biyokimyasal metan alımı potansiyeli *Botryococcus braunii'*de bulunmuştur.	Ekinci vd., 2018
37	*Chlorella sp.*	Tavuk Gübresi	Anaerobik çürütme ve hidrotermal sıvılaştırma	-	-	-	-	-	Li vd., 2018
38	*Microalg*	Hayvan Gübresi	Anaerobik çürütme	Hammadde	-	-		Birlikte çürütme birincil faydası, hammaddeyi farklı C ve N bileşimlerine sahip etkili bir şekilde birleştirebilmesidir; Hammaddelerin dengeli C/N oranıyla metan üretiminin artması muhtemeldir.	Chong vd., 2022

Tablo 6'nın devamıdır.

39	-	Sığır Gübresi	Anaerobik çürütme ve hidrotermal sıvılaştırma	-	-	-	Sonuçlar kümülatif biyogaz üretiminin ağırlıkça %20-42 aralığında biyolojik ham ürün verimi olduğunu gösterdi.	-	Eboibi vd., 2015
40	*Chlorella vulgaris*	-	Sıvı çürütme ürünü ve fotobiyoreaktör	Ultrafiltrasyon ve ters ozmoz	-	-	Mikroalglerin kullanılmasıyla biyokütle verimliliği artırılmıştır.	-	Pulgarin vd., 2021
41	*Spirulina plantesis*	-	Birlikte piroliz	-	-	-	Karışımlardaki mikroalg oranındaki artışla aktivasyon enerjisi değerlerinde azalma ve gaz veriminde artış gözlenmiştir.	-	Vuppaladadiyam vd., 2020

Sistematik olarak yapılan bu analize göre, mikroalgler, biyogaz üretiminde kullanılabilecek bir hammaddedir. Araştırmalar, mikroalglerin metan üretimini artırabileceğini göstermektedir. Mikroalglerin biyogaz üretiminde kullanımı, sürdürülebilir bir enerji kaynağı ve CO_2 azaltma gibi çevresel faydalar sağlayabilir.

BEŞİNCİ BÖLÜM
SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, büyükbaş hayvan gübresi ve *Nannokloropsis*'in ko-fermantasyonu ile biyometan üretimi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, 6 farklı içerikte reaktör kurulmuş ve günlük değerler ölçülmüştür.

Araştırma sonucunda, aşağıdaki bulgular elde edilmiştir:

- Mikroalg ilavesi olan tüm reaktörlerde biyogaz artışı görülmüştür.
- En yüksek biyogaz verimi %12 mikroalg içerikli reaktörde elde edilmiştir.

Bu bulgular ışığında, büyükbaş hayvan gübresi ve *Nannokloropsis*'in ko-fermantasyonu ile biyogaz verimini artırmada etkili olduğu söylenebilir. Araştırmanın sonuçları, büyükbaş hayvan gübresi ve *Nannokloropsis*'in ko-fermantasyonunun, biyogaz üretimi için potansiyel bir yöntem olduğu yönündedir. Bu yöntemin, biyogaz üretiminin artırılması için katkıda bulunabileceği düşünülmektedir.

Araştırma bulgularına dayanarak, aşağıdaki öneriler geliştirilmiştir:

- Çalışmanın, daha uzun süreler boyunca sürdürülmesi ve farklı parametrelerin incelenmesi önerilebilir.
- Mikroalg içerikli reaktörlerde, biyogaz verimini ve değerlerini daha da artırmak için farklı mikroalg türleri ve konsantrasyonları test edilebilir.
- Biyogaz üretimi için, büyükbaş hayvan gübresi ve *Nannokloropsis*'in ko-fermantasyonunun ekonomik ve çevresel etkileri incelenebilir.

Sonuç olarak, bu çalışma büyükbaş hayvan gübresi ve *Nannokloropsis*'in ko-fermantasyonunun, biyogaz üretimi için potansiyel bir yöntem olduğunu göstermiştir.

KAYNAKÇA

Abanades, S., Abbaspour, H., Ahmadi, A., Das, B., Ehyaei, M. A., Esmaeilion, F., El Haj Assad, M., Hajilounezhad, T., Jamali, D. H., Hmida, A., Ozgoli, H. A., Safari, S., AlShabi, M., and Bani-Hani, E. H. (2021). A critical review of biogas production and usage with legislations framework across the Globe. *International Journal of Environmental Science and Technology,* 19(4), 3377–3400. https://doi.org/10.1007/s13762-021-03301-6

Abdel-Raouf, N., Al-Homaidan, A. A., and Ibraheem, I. B. M. (2012). Microalgae and wastewater treatment. *Saudi Journal of Biological Sciences,* 19(3), 257–275. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2012.04.005

Abinandan, S., and Shanthakumar, S. (2015). Challenges and opportunities in application of microalgae (Chlorophyta) for wastewater treatment: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*,52,123–132. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.086

Abomohra, A. E.-F., and Almutairi, A. W. (2020). A close-loop integrated approach for microalgae cultivation and efficient utilization of agar-free seaweed residues for enhanced biofuel recovery. *Bioresource Technology*, 317, 124027. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124027

Aghaalipour, E., Akbulut, A., and Güllü, G. (2020). Carbon dioxide capture with microalgae species in continuous gas-supplied closed cultivation systems. *Biochemical Engineering Journal,*163,107741. https://doi.org/10.1016/j.bej.2020.107741

Ahman, M. (2010). Biomethane in the transport sector—An appraisal of the forgotten option. *Energy Policy* 38 (2010) 208–217

Araújo, R. ,Vázquez, C.F, López, J.S ,Azevedo,I.C., Bruhn, A., Fluch, S. , Tasende, M.G., Ghaderiardakani, F. , Ilmjärv, T., Laurans, M., Monagail, M.M. ,Mangini, S., Peteiro,C., Rebours, C., Stefansson, T. and Ullmann, J. (2021). Current Status of the Algae Production Industry in Europe: An Emerging Sector ofb the Blue Bioeconomy. *Frontiers in Marine Science*. doi: 10.3389/fmars.2020.626389

Arutselvan, C., Seenivasan, H. kumar, Lewis Oscar, F., Ramya, G., Thuy Lan Chi, N., Pugazhendhi, A., and Thajuddin, N. (2022). Review on wastewater treatment by microalgae in different cultivation systems and its importance in biodiesel production. *Fuel*, 324, 124623. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.124623

Avinash, A., Sasikumar, P., and Pugazhendhi, A. (2020). Analysis of the limiting factors for large scale microalgal cultivation: A promising future for renewable and Sustainable Biofuel Industry. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 134, 110250. https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110250

Aydın-Sisman G.(2019). Mikroalg Teknolojisi ve Çevresel Kullanımı, *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 4(1): 81- 92

Benemann, J.R., Tillett, D. M., and Weissman, J.C. (1987). Microalgae biotechnology. *Trends in Biotechnology*,5(2),47–53. https://doi.org/10.1016/0167-7799(87)900370

Birinci Ağlamaz, C., Çil Aydemir E. (2023). Use of Microalgae and its Importance in Türkiye and Worldwide Menba. *Kastamonu Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dergisi* 2023; 9(1): 42-53

Boğaziçi Üniversitesi'nde Avrupa'nın İlk Karbon Negatif Biyorafinerisi Açıldı.(2022,7 Ocak). *Boğaziçi Üniversitesi Kurumsal İletişim Ofisi*

Caliskan, M., and Tumen Ozdil, N. F. (2020). Potential of biogas and electricity production from Animal Waste in Turkey. *BioEnergy Research*, 14(3), 860–869. https://doi.org/10.1007/s12155-020-10193-w

Chai, W. S., Tan, W. G., Halimatul Munawaroh, H. S., Gupta, V. K., Ho, S.-H., and Show, P. L. (2021). Multifaceted roles of microalgae in the application of Wastewater Biotreatment: A Review. *Environmental Pollution*, 269, 116236. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116236

Chan, Y.J., Chong, M.F., Law, C.L., Hassell, D.G.(2009). A review on anaerobic–aerobic treatment of industrial and municipal wastewater. *Chemical Engineering Journal* 155 (2009) 1–18

Cheng, Y. W., Lim, J. S., Chong, C. C., Lam, M. K., Lim, J. W., Tan, I. S., Foo, H. C., Show, P. L., and Lim, S. (2021). Unravelling CO2 capture performance of microalgae cultivation and other technologies via Comparative Carbon Balance

Analysis. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(6), 106519. https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106519

Chew, K. W., Chia, S. R., Show, P. L., Yap, Y. J., Ling, T. C., and Chang, J.-S. (2018). Effects of water culture medium, cultivation systems and growth modes for microalgae cultivation: A Review. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 91, 332–344. https://doi.org/10.1016/j.jtice.2018.05.039

Chowdury, K. H., Nahar, N., and Deb, U. K. (2020). The growth factors involved in microalgae cultivation for biofuel production: A Review.*Scientific Research Publishing* 09(04), 185–215. https://doi.org/10.4236/cweee.2020.94012

Christenson, L., and Sims, R. (2011). Production and harvesting of microalgae for wastewater treatment, biofuels, and Bioproducts. *Biotechnology Advances*, 29(6), 686–702. https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2011.05.015

Christian Barbosa, R., Soares, J., and Arêdes Martins, M. (2020). Low-cost and versatile sensor based on multi-wavelengths for real-time estimation of microalgal biomass concentration in open and closed cultivation systems. *Computers and Electronics in Agriculture*, 176, 105641. https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105641

Clark, D., Malerød-Fjeld, H., Budd, M., Yuste-Tirados, I., Beeaff, D., Aamodt, S., Nguyen, K., Ansaloni, L., Peters, T., Vestre, P. K., Pappas, D. K., Valls, M. I., Remiro-Buenamañana, S., Norby, T., Bjørheim, T. S., Serra, J. M., and Kjølseth, C. (2022). Single-step hydrogen production from NH 3, CH 4, and biogas in stacked proton ceramic reactors.*Science*,376(6591),390–393. https://doi.org/10.1126/science.abj3951

Elcik H. ,Çakmakçı M.(2017). Mikroalg Üretimi ve Mikroalglerden Biyoyakıt Eldesi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 32:3 (2017) 795-820

Fernández, F. G., Fernández-Sevilla, J. M., Moya, B. L., and Grima, E. M. (2020). Microalgae Production Systems. *Handbook of Microalgae-Based Processes and Products*, 127–163. https://doi.org/10.1016/b978-0-12-818536-0.00006-3

Ferrazzano, G. F., Papa, C., Pollio, A., Ingenito, A., Sangianantoni, G., and Cantile, T. (2020). Cyanobacteria and microalgae as sources of functional foods to improve human general and Oral Health. *Molecules*, 25(21), 5164. https://doi.org/10.3390/molecules25215164

Ghasemi, Y., Rasoul-Amini, S., Naseri, A. T., Montazeri-Najafabady, N., Mobasher, M. A., and Dabbagh, F. (2012). Microalgae biofuel potentials (review). *Applied Biochemistry and Microbiology*,48(2),126–144. https://doi.org/10.1134/s0003683812020068

Goswami, R. K., Mehariya, S., Obulisamy, P. K., and Verma, P. (2021). Advanced microalgae-based Renewable Biohydrogen Production Systems: A Review. *Bioresource Technology,* 320, 124301. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124301

Halkos, G. E., and Gkampoura, E.-C. (2020). Reviewing usage, potentials, and limitations of Renewable Energy Sources. *Energies,* 13(11), 2906. https://doi.org/10.3390/en13112906

Hallenbeck, P. C. (2011). Microbial production of fatty-acid-based biofuels. *Microbial Technologies in Advanced Biofuels Production,* 213–230. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-1208-3_12

Hanif, U.M., Capareda, S.C., Iqbal, H., Arazo, R.O., Baig, M.A.(2016). Effects of Pyrolysis Temperature on Product Yields and Energy Recovery from Co-feeding of Cotton Gin Trash, Cow Manure, and Microalgae: A Simulation Study. *PLOS ONE* DOI:10.1371/journal.pone.0152230

Hammouda, O., Gaber, A., and Abdelraouf, N. (1995). Microalgae and wastewater treatment. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 31(3), 205–210. https://doi.org/10.1006/eesa.1995.1064

Hossain, N., Mahlia, T. M., and Saidur, R. (2019). Latest development in microalgae-biofuel production with Nano-Additives. *Biotechnology for Biofuels*, 12(1). https://doi.org/10.1186/s13068-019-1465-0

Hussain, F., Shah, S. Z., Ahmad, H., Abubshait, S. A., Abubshait, H. A., Laref, A., Manikandan, A., Kusuma, H. S., and Iqbal, M. (2021). Microalgae an ecofriendly

and sustainable wastewater treatment option: Biomass application in biofuel and bio-fertilizer production. A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* 137, 110603. https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110603

H. Şenol, E. A. Elibol, Ü. Açıkel, ve M. Şenol, "Türkiye'de Biyogaz Üretimi İçin Başlıca Biyokütle Kaynakları", *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, c. 6, sy. 2, ss. 81–92, 2017, doi: 10.17798/bitlisfen.315118.

İrkin C. (2020). "Akuakültürde Alglerin Önemi ve Kullanım Alanları". *İKSAD Publishing House.* Çanakkale

Jerney, J. and Spilling, K. (2018) Large Scale Cultivation of Microalgae: Open and Closed Systems. *Springer Science+Business Media*, New York

Jeswani, H. K., Chilvers, A., and Azapagic, A. (2020). Environmental Sustainability of Biofuels: A Review. Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, *Physical and Engineering Sciences*, 476(2243). https://doi.org/10.1098/rspa.2020.0351

Kabeyi, M. J., and Olanrewaju, O. A. (2022). Biogas production and applications in the Sustainable Energy Transition. *Journal of Energy*,1–43. https://doi.org/10.1155/2022/8750221

Kamaraj, R., Rao, Y., Balakrishna, B. (2021). Biodiesel blends: a comprehensive systematic review on various constraints. *Environmental Science and Pollution Research* https://doi.org/10.1007/s11356-021-13316-8

Kargın, H. (2020). Akuakültürde Kullanılan Mikroalg Üretim Sistemleri Fotobiyoreaktörler Dünyada ve Ülkemizde Kullanımı. *MedFAR* 3(3):112-130

Kasinath, A., Fudala-Ksiazek, S., Szopinska, M., Bylinski, H., Artichowicz, W., Remiszewska-Skwarek, A., and Luczkiewicz, A. (2021). Biomass in Biogas Production: Pretreatment and codigestion. *Renewable and Sustainable Energy* Reviews, 150, 111509. https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111509

Khalil, M., Berawi, M. A., Heryanto, R., and Rizalie, A. (2019). Waste to energy technology: The potential of sustainable biogas production from animal waste in Indonesia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 105, 323–331. https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.02.011

Kiesenhofer, D. P., and Fluch, S. (2017). The promises of microalgae—still a long way to go. *FEMS Microbiology Letters*, 365(1). https://doi.org/10.1093/femsle/fnx257

Kim ,M., Gomec, C. Y.,Ahn, Y. and Speece, R.E. (2003) Hydrolysis and acidogenesis of particulate organic material in mesophilic and thermophilic anaerobic digestion, *Environmental Technology*, 24:9, 1183-1190, DOI: 10.1080/09593330309385659

Kossmann, W., Pönitz, U. (1999). Biogas Digest Volume I Biogas Basics, Information and Advisory Service on Appropriate Technology (ISAT), GATE in DeutscheGesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), GmbH, Eschborn, Federal Republic of Germany.

Kozlowski, K., Dach, J., Lewicki, A., Malińska, K., do Carmo, I. E., and Czekała, W. (2023). Potential of biogas production from animal manure in Poland. *Archives of Environmental Protection.* https://doi.org/10.24425/aep.2019.128646

Lam, M. K., and Lee, K. T. (2012). Microalgae Biofuels: A critical review of issues, problems and the way forward. *Biotechnology Advances*, 30(3), 673–690. https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2011.11.008

Li, K., Liu, Q., Fang, F., Luo, R., Lu, Q., Zhou, W., Huo, S., Cheng, P., Liu, J., Addy, M., Chen, P., Chen, D., and Ruan, R. (2019). Microalgae-based wastewater treatment for nutrients recovery: A Review. *Bioresource Technology*, 291, 121934. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121934

Liu, Y., Cruz-Morales, P., Zargar, A., Belcher, M. S., Pang, B., Englund, E., Dan, Q., Yin, K., and Keasling, J. D. (2021). Biofuels for a sustainable future. *Cell*, 184(6), 1636–1647. https://doi.org/10.1016/j.cell.2021.01.052

Ma, X.-N., Chen, T.-P., Yang, B., Liu, J., and Chen, F. (2016). Lipid production from Nannochloropsis. *Marine Drugs*, 14(4), 61. https://doi.org/10.3390/md14040061

Mahdieh, M., Shabani, S., and Amirjani, M. (2019). Characterization of the growth, total lipid and fatty acid profiles in Microalga, Nannochloropsis Oceanica under different nitrogen sources. *Microbiology and Biotechnology Letters*, 47(1), 11–19. https://doi.org/10.4014/mbl.1801.01004

Marcelo, E. Dias De, O., Burton, E., Vaughan, Edward J. Rykiel. (2005). Ethanol as Fuel: Energy, Carbon Dioxide Balances, and Ecological Footprint. *BioScience*, Volume 55, Issue 7, July 2005, Pages 593–602, https://doi.org/10.1641/0006-3568

Maryjoseph, S., and Ketheesan, B. (2020). Microalgae based wastewater treatment for the removal of emerging contaminants: A review of challenges and opportunities. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering,* 2, 100046. https://doi.org/10.1016/j.cscee.2020.100046

Medipally, S.R., Yusoff, F. Md., Banerjee, S., and Shariff, M. (2015). Microalgae as sustainable renewable energy feedstock for biofuel production. *BioMed Research International*, 2015, 1–13. https://doi.org/10.1155/2015/519513

Mishra, A., Kumar, M., Bolan, N. S., Kapley, A., Kumar, R., and Singh, L. (2021). Multidimensional approaches of biogas production and up-gradation: Opportunities and challenges. *Bioresource Technology,* 338, 125514. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125514

Musa, M., Ayoko, G.A., Ward,A., Rösch,C., Brown,R., Rainey, J.T. (2019). Factors affecting microalgae production for biofuels and the potentials of chemometric methods in assessing and optimizing productivity. *Cells,* 8(8), 851. https://doi.org/10.3390/cells8080851

Nagappan, S., Devendran, S., Tsai, P.C., Dahms, H.U., and Ponnusamy, V.K. (2019). Potential of two-stage cultivation in microalgae biofuel production. *Fuel,* 252, 339–349. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.04.138

Nazaitulshila R., Azni I., Razif H., Wan A.W.,(2015). Effects of lipid inhibition on biogas production of anaerobic digestion from oily effluents and sludges: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 45 (2015) 351–358

Norsker, N.-H., Barbosa, M. J., Vermuë, M. H., and Wijffels, R. H. (2011). Microalgal production — a close look at the Economics. *Biotechnology Advances*, 29(1), 24–27. https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2010.08.005

Nurko, E. , Nakilcioğlu, E. , Ötleş, S. (2023). "Geleceğin Gıdaları için Mikroalgler: Spirulina spp. ve Chlorella spp". *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi,* 11 (2023) 1655-1665

Okcu, G. D. (2019). Microalgae biodiesel production: A solution to increasing energy demands in Turkey. *Biofuels,* 13(1), 77–93. https://doi.org/10.1080/17597269.2019.1637070

Onyeaka, H. , Miri, T. , Obileke, K. , Hart, A. , Anumudu, C. , Al-Sharify, Z. (2021). Minimizing carbon footprint via microalgae as a biological capture. *Carbon Capture Science and Technology.* Volume 1, December 2021, 100007

Oostlander, P. C., van Houcke, J., Wijffels, R. H., and Barbosa, M. J. (2020). Microalgae production cost in aquaculture hatcheries. *Aquaculture,* 525, 735310. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735310

Osman, A. I., Mehta, N., Elgarahy, A. M., Al-Hinai, A., Al-Muhtaseb, A. H., and Rooney, D. W. (2021). Conversion of biomass to biofuels and Life Cycle Assessment: A Review. *Environmental Chemistry Letters,* 19(6), 4075–4118. https://doi.org/10.1007/s10311-021-01273-0

Özbaşer, F. T., and Erdem, E. (2013). Biogas Production And Utilization A review. *Lalahan Hayvancılık Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 53(2), 115-124.

Paterson, S., Gómez-Cortés, P., de la Fuente, M. A., and Hernández-Ledesma, B. (2023). Bioactivity and digestibility of microalgae Tetraselmis sp. and nannochloropsis sp. as basis of their potential as novel Functional Foods. *Nutrients,* 15(2), 477. https://doi.org/10.3390/nu15020477

Pavičić, J., Novak Mavar, K., Brkić, V., and Simon, K. (2022). Biogas and biomethane production and usage: Technology development, advantages and challenges in Europe. *Energies,* 15(8), 2940. https://doi.org/10.3390/en15082940

Perendeci, N. A., Yılmaz, V., Ertit Taştan, B., Gökgöl, S., Fardinpoor, M., Namlı, A., and Steyer, J. P. (2019). Correlations between biochemical composition and biogas production during anaerobic digestion of microalgae and cyanobacteria isolated from different sources of Turkey. *Bioresource Technology,* 281, 209–216. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.02.086

Peter, A. P., Koyande, A. K., Chew, K. W., Ho, S.-H., Chen, W.-H., Chang, J.-S., Krishnamoorthy, R., Banat, F., and Show, P. L. (2022). Continuous cultivation of microalgae in photobioreactors as a source of renewable energy: Current status and

future challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* 154, 111852. https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111852

Piechota, G. (2021). Multi-step biogas quality improving by adsorptive packed column system as application to biomethane upgrading. *Journal of Environmental Chemical Engineering,* 9(5), 105944. https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105944

Pulz, O., and Gross, W. (2004). Valuable products from biotechnology of microalgae. *Applied Microbiology and Biotechnology,* 65(6), 635–648. https://doi.org/10.1007/s00253-004-1647-x

Qazi, A., Hussain, F., Rahim, N. ABD., Hardaker, G., Alghazzawi, D., Shaban, K., and Haruna, K. (2019). Towards sustainable energy: A systematic review of renewable energy sources, technologies, and public opinions. *IEEE Access,* 7, 63837–63851. https://doi.org/10.1109/access.2019.2906402

Rahman, Q. M., Zhang, B., Wang, L., Joseph, G., and Shahbazi, A. (2019). A combined fermentation and ethanol-assisted liquefaction process to produce biofuel from nannochloropsis sp.. *Fuel,* 238, 159–165. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.10.116

Rasapoor, M., Young, B., Brar, R., Sarmah, A., Zhuang, W.-Q., and Baroutian, S. (2020). Recognizing the challenges of anaerobic digestion: Critical steps toward improving biogas generation. *Fuel,* 261, 116497. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116497

Rehman, M., Kesharvani, S., Dwivedi, G., and Gidwani Suneja, K. (2022). Impact of cultivation conditions on microalgae biomass productivity and lipid content. *Materials Today: Proceedings*.Volume 56, Part 1, 2022, Pages 282-290

Richmond, A. (Ed.). (1986). *CRC Handbook of microalgal mass culture* (pp. 83-84).CRC press: Boca Raton, FL, USA

Rodolfi, L., Zittelli, G., Barsanti, L., Rosati, G., Tredici, M. (2003). Growth medium recycling in Nannochloropsis sp. mass cultivation. *Biomolecular Engineering* 20 243/248

Rosa, M., Ward, J.E., Holohan, B.A., Shumway, S.E., and Wikfors, G.H. (2017). Physicochemical surface properties of microalgae and their combined effects on particle selection by suspension-feeding bivalve molluscs. *Journal of Experimental*

Marine Biology and Ecology, 486, 59–68. https://doi.org/10.1016/j.jembe.2016.09.007

Saatcı, A., Taşkan, B., Taşkan, E. (2022). Sürdürülebilir Biyoenerji Üretimi İçin Mikroalg Tabanlı Mikrobiyal Yakıt Hücreleri. *Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi* 34(1), 277-288

Saravanan, A., Senthil Kumar, P., Jeevanantham, S., Karishma, S., and Vo, D.-V. N. (2022). Recent advances and sustainable development of biofuels production from lignocellulosic biomass. *Bioresource Technology,* 344, 126203. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126203

Sasa, A., Şentürk, F., Üstündağ, Y., Erem, F. (2020). Alglerin Gıda veya Gıda Bileşeni Olarak Kullanımı ve Sağlık Üzerine Etkileri. *Uluslararası Mühendislik Tasarım Ve Teknoloji Dergisi,* 2(2), 97-110.

Schade, S., and Meier, T. (2019). A comparative analysis of the environmental impacts of cultivating microalgae in different production systems and climatic zones: A systematic review and meta-analysis. *Algal Research,* 40, 101485. https://doi.org/10.1016/j.algal.2019.101485

Schwede, S., Kowalczyk, A., Gerber, M., Span, R. (2013). Anaerobic co-digestion of the marine microalgae Nannocloropsis Salina with energy crops. *Bioresource Technology*, 148 (2013) 428–435

Shamurad, B., Sallis, P., Petropoulos, E., Tabraiz, S., Ospina, C., Leary, P., Dolfing, J., and Gray, N. (2020). Stable biogas production from single-stage anaerobic digestion of food waste. *Applied Energy,* 263, 114609. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114609

Singh, J., & Saxena, R. C. (2015). An introduction to microalgae: diversity and significance. In *Handbook of marine microalgae* (pp. 11-24). Academic Press.

Sinsel, S. R., Riemke, R. L., and Hoffmann, V. H. (2020). Challenges and solution technologies for the integration of variable renewable energy sources—a review. *Renewable Energy*, 145, 2271–2285. https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.06.147

Smaoui, S., Barkallah, M., Ben Hlima, H., Fendri, I., Mousavi Khaneghah, A., Michaud, P., and Abdelkafi, S. (2021). Microalgae xanthophylls: From biosynthesis pathway

and production techniques to encapsulation development. *Foods,* 10(11), 2835. https://doi.org/10.3390/foods10112835

Solé-Bundó, M.,Passosb, F., Romero-Güizac, S.M. ,Ferrera, I. , Astalsd, S.(2019). Co-digestion strategies to enhance microalgae anaerobic digestion: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 112 (2019) 471–482

Solé-Bundó, M., Eskicioglu, C., Garfí, M., Carrère, H., Ferrer, I. (2017). Anaerobic Co-digestion of microalgal biomass and wheat straw with and without thermo-alkaline pretreatment. *Bioresource Technology* 237 (2017) 89–98.

Su, Y. (2021). Revisiting carbon, nitrogen, and phosphorus metabolisms in microalgae for wastewater treatment. *Science of the Total Environment.* Volume 762, 25 March 2021, 144590 . https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144590

Sukenik, A. (1991). Ecophysiological considerations in the optimization of eicosapentaenoic acid production by nannochloropsis sp. (Eustigmatophyceae). *Bioresource Technology,* 35(3), 263–269. https://doi.org/10.1016/0960-8524(91)90123-2

Torres, A., Padrino, S., Brito, A., Díaz, L. (2023). Biogas production from anaerobic digestion of solid microalgae residues generated on diferent processes of microalgae-to-biofuel production. *Biomass Conversion and Biorefinery* (2023) 13:4659–4672

Tsapekos, P., Kougias, P. G., Alvarado-Morales, M., Kovalovszki, A., Corbière, M., and Angelidaki, I. (2018). Energy recovery from wastewater microalgae through anaerobic digestion process: methane potential, continuous reactor operation and modelling aspects. *Biochemical engineering journal*, 139, 1-7.

Tüccar, G., Güngör, C., Uludamar, E., and Aydin, K. (2015) The Potential of Microalgal Biodiesel in Turkey, Energy Sources, *Part B: Economics, Planning, and Policy,* 10:4, 397–403. https://doi.org/10.1080/15567249.2010.551250

Uzuner, S. , Haznedar, A. (2020). Fonksiyonel Gıda İçin Sağlıklı Takviye: Mikroalgler. *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 5(2): 212-226(2020). https://doi.org/ 10.33484/sinopfbd.756316el

Ünver, A. ,Bostan, K. , Yalçın, S. , Vapur, U.E. , Nizamlıoğlu, M. (2017). Identification and characterization of lactic acid bacteria isolated from traditional cone yoghurt. *Food Sci Biotechnol* (2017) 26(6):1625–1632

Web Of Science, (2023, 14 Aralık). Erişim Adresi: https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/8c990047-d134-4b29-8390-2e038914d653-bd34d0bb/relevance/1

Zabed, M.H., Akter, S., Yun, J., Zhang, G., Zhang, Y., Qi, X. (2020). Biogas From Microalgae: Technologies, Challenges and Opportunities. *Renewable and Sustainable Energy Rewievs*. Volume 117, January 2020, 109503

Zanella, L., Vianello, F. (2020). Microalgae of the genus nannochloropsis: Chemical composition and functional implications for human nutrition. *Journal of Functional Foods,* 68, 103919. https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.103919

Zahedi, R., Ahmadi, A., and Gitifar, S. (2022). Reduction of the environmental impacts of the hydropower plant by microalgae cultivation and biodiesel production. *Journal of Environmental Management,* 304, 114247. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114247

Zhu, C., Chen, S., Ji, Y., Schwaneberg, U., and Chi, Z. (2021). Progress toward a bicarbonate-based microalgae production system. *Trends in Biotechnology*, 40(2), 180–193.https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2021.06.00