

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

SENTETİK ATIKSUDA SCENEDESMUS'DAN BİYOETANOL ÜRETİMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Şehriban ŞAHİN
Danışman: Doç. Dr. Melih ONAY

VAN – 2025

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

SENTETİK ATIKSUDA SCENEDESMUS'DAN BİYOETANOL ÜRETİMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Şehriban ŞAHİN

Tez Savunma Sınavı Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Edip AVŞAR (Başkan)

Doç. Dr. Melih ONAY (Danışman)

Doç. Dr. Erdiñç ALADAĞ (Üye)

Bu çalışma Van YYÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından
FYL-2024-11051 No'lu proje ile desteklenmiştir.

KABUL VE ONAY SAYFASI

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Doç. Dr. Melih ONAY danışmanlığında, Şehriban ŞAHİN tarafından sunulan “Sentetik Atıksuda Scenedesmus’dan Biyoetanol Üretimi” başlıklı bu çalışma Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği’nin ilgili hükümleri gereğince 23/12/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile başarılı bulunmuş ve yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Edip AVŞAR

İmza:

Üye: Doç. Dr. Melih ONAY

İmza:

Üye: Doç. Dr. Erdinç ALADAĞ

İmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve sayılı kararı ile onaylanmıştır.

İmza

.....

Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

İmza

Şehriban ŞAHİN

ÖZET

SENTETİK ATIKSUDA SCENEDESMUS'DAN BİYOETANOL ÜRETİMİ

ŞAHİN, Şehriban

Yüksek Lisans Tezi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Melih ONAY

Ocak 2025, 67 sayfa

Son yıllarda mikroalgler atıksu arıtımında ve biyoyakıt üretiminde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında Scenedesmus sp. mikroalg türü biyoetanol üretmek için öne sürülmüştür. Biyoetanol, içerdikleri özelliklerden dolayı en çok tercih edilen biyoyakıt türlerinden biridir. Scenedesmus sp.'nin biyoetanol ve karbonhidrat içeriği potansiyeli, azot, fosfor giderim özellikleri ve mandıra atık sularının kirlenmeye karşı direnci nedeniyle araştırılmıştır. Bu tez çalışmasında, Scenedesmus sp. sentetik mandıra atık suyunda büyütüldü ve kültürlendi. Scenedesmus sp. TAP besiyerinde ve mandıra atıksuyunda farklı PO₄-P başlangıç konsantrasyonlarında 1.5 mg/L, 3 mg/L, 7.5 mg/L, 15 mg/L ve 30 mg/L büyütülerek mikroalglerin optik yoğunlukları, biyokütle üretim hızları, azot ve fosfat giderimleri incelendi. Deneysel olarak en yüksek optik yoğunluk değeri 7.5 mg/L PO₄-P başlangıç konsantrasyonunda gerçekleşmiştir. Deneysel olarak en yüksek biyokütle üretim hızı 7.5 mg/L PO₄-P başlangıç konsantrasyonunda olup 132 mg/L gün olarak hesaplanmıştır. Deneysel olarak en yüksek azot giderim veriminin 7.5 mg/L PO₄-P başlangıç konsantrasyonunda olduğu tespit edilmiştir. Başlangıçta azot miktarı 75,03 mg/L iken giderim sonrası bu değer 1.78 mg/L'ye düşmüştür. Giderim oranı %97.62 olarak hesaplanmıştır. Deneysel olarak en yüksek fosfor giderim veriminin 1.5 mg/L başlangıç PO₄-P konsantrasyonunda %96 olarak hesaplanmıştır. Bu bileşenlerden elde edilen karbonhidrat, biyoetanol üretmek için kullanıldı bunun için 7.5 mg/L PO₄-P başlangıç konsantrasyonu kullanıldı. Karbonhidrat konsantrasyonu %24 olarak bulundu. Biyoetanol içeriği ise 0.10 g etanol/g biyokütle idi. Sonuç olarak Scenedesmus sp. mikroalg türü gelecekte sentetik mandıra atık sularında büyük ölçekli olarak biyoetanol üretimi için kullanılabilir.

Anahtar kelimeler: Biyoetanol, Mikroalg, Scenedesmus, Sentetik atıksu

ABSTRACT

BIOETHANOL PRODUCTION FROM SCENEDESMUS IN SYNTHETIC WASTEWATER

ŞAHİN, Şehriban

M.Sc. Thesis, Department of Environmental Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Melih ONAY

January 2025, 67 pages

In recent years, microalgae have been widely used in wastewater treatment and biofuel production. In this thesis study, *Scenedesmus* sp. microalgae species have been proposed to produce bioethanol. Bioethanol is one of the most popular types of biofuels due to its excellent properties. *Scenedesmus* sp. has been studied for its bioethanol and carbohydrate content potential, nitrogen and phosphorus removal characteristics, and resistance to contamination in dairy wastewater. *Scenedesmus* sp. was grown and cultured in synthetic dairy wastewater as part of this thesis investigation. The optical densities, biomass production rates, nitrogen and phosphate removals of *Scenedesmus* sp. were investigated by growing microalgae in TAP medium and dairy wastewater at initially PO₄-P concentrations of 1.5 mg/L, 3 mg/L, 7.5 mg/L, 15 mg/L, and 30 mg/L, respectively. The highest biomass production rate has been found experimentally to be 132 mg/L/day at an initial PO₄-P concentration of 7.5 mg/L. The maximum nitrogen removal effectiveness was determined experimentally at an initial PO₄-P concentration of 7.5 mg/L. While the amount of nitrogen was 75.03 mg/L at the beginning, this value decreased to 1.78 mg/L after removal. The removal rate was calculated as 97.62%. Experimentally, the highest phosphorus removal efficiency was calculated as 96% at an initial PO₄-P concentration of 1.5 mg/L. Carbohydrate at an initial PO₄-P concentration of 7.5 mg/L was used to produce bioethanol, and the carbohydrate concentration was %24 and, the bioethanol content was 0.10 g ethanol/ g biomass. As a result, *Scenedesmus* sp. strain could be used for large-scale bioethanol production in synthetic dairy wastewater in the future.

Keywords: Bioethanol, Microalgae, *Scenedesmus*, Synthetic wastewater

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında, her türlü ilgi ve yardımlarını esirgemeyen danışmanım Sayın Doç. Dr. Melih ONAY'a teşekkür ederim. Laboratuvar sürecinde yardımlarını esirgemeyen hocam Sayın Doç. Dr. Erdiñ ALADAĞ'a teşekkür ederim. Bu zamana kadar maddi ve manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen annem Miran ŞAHİN, babam Abdulmecit ŞAHİN ve abim Selim ŞAHİN'e teşekkür ederim. Tez çalışmam boyunca desteklerini her zaman hissettiğim arkadaşlarım Pınar AKAR, Memduh DÜNDAR ve Metin TEMEL'e teşekkür ederim. Tez çalışmamı FYL-2024-11051 No'lu proje ile destekleyen Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederim. Son olarak bu çalışmamı yeğenim Rodin ŞAHİN'e atfediyorum.

2025

Şehriban ŞAHİN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELER LİSTESİ	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xv
1. GİRİŞ	1
1.1 Dünyada ve Türkiye’de Genel Enerji	1
1.2 Dünya’da ve Türkiye’de Yenilenebilir Enerji	3
1.3 Çalışmanın Amacı	4
1.4 Çalışmanın Önemi	5
2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ	7
2.1 Enerji Kaynakları	7
2.1.1 Enerji Kaynaklarının Gruplandırılması	8
2.1.1.1 Hidrolik Enerji	8
2.1.1.2 Güneş Enerjisi	8
2.1.1.3 Rüzgâr Enerjisi	9
2.1.1.4 Jeotermal Enerji	9
2.1.1.5 Dalga Gel-Git Enerjisi	10
2.1.1.6 Hidrojen Enerjisi	10
2.1.1.7 Biyokütle Enerjisi	10
2.2 Biyoyakıtlar	12
2.2.1 Biyoyakıtların Avantajları	13
2.2.2 Biyoyakıtların Dezavantajları	14
2.3 Biyoetanol	14
2.4 Algler	18
2.4.1 Alg Türleri	18

2.4.2 Makroalg.....	18
2.4.3 Mikroalg	18
2.4.3.1 Mikroalg Üretiminde Önemli Parametreler.....	19
2.4.3.2 Işık Şiddeti	20
2.4.3.3 Sıcaklık	20
2.4.3.4 Besin Maddeleri.....	20
2.4.3.5 pH	21
2.4.3.6 Tuzluluk.....	21
2.4.3.7 Biyolojik Faktörler.....	22
2.4.3.8 Karıştırma	22
2.5 Mikroalg Üretim Sistemleri.....	22
2.5.1 Açık Üretim Sistemleri	23
2.5.2 Kapalı Üretim Sistemleri.....	25
2.6 Mikroalg Hasadı	27
2.6.1 Mikroalglerden Biyoetanol Üretimi	31
2.7 <i>Scenedesmus sp.</i>	33
2.7.1 <i>Scenedesmus sp.</i> ’nin Genel Özellikleri	33
2.8 Atıksu.....	35
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	41
3.1 Materyal.....	41
3.1.1 Mikroalg Suşu.....	41
3.1.2 Kültür Ortamı	41
3.2 Yöntem	43
3.2.1 <i>Scenedesmus sp.</i> ’nin Büyümesi	43
3.2.2 Atıksuların Hazırlanması.....	43
3.2.3 Optik Yoğunluk Ölçümleri.....	44
3.2.4 <i>Scenedesmus sp.</i> ’nin Biyokütle Konsantrasyonu	45
3.2.5 <i>Scenedesmus sp.</i> ’nin Hidrolizi	46
3.2.6 Karbonhidrat Konsantrasyonunun Hesaplanması	46
3.2.7 <i>Scenedesmus sp.</i> ’nin Fermantasyonu	47
3.2.8 <i>Scenedesmus sp.</i> ’den Biyoetanol Üretimi	47
4. BULGULAR.....	49

4.1 Optik Yoğunluk Analizi	49
4.2 Mikroalglerin Özgül Üreme Hızları, İkiye Katlanma Süreleri ve Biyokütle Üretim Hızları Analizi.....	53
4.3 Azot Analizi.....	56
4.4 Fosfor Analizi	57
4.5 Biyo-Etanol Analizi	58
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	59
KAYNAKLAR.....	61
ÖZ GEÇMİŞ.....	67

ÇİZELGELER LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 1.1 Dünya yenilenebilir enerji kapasiteleri (GW)	4
Çizelge 2.1 Yıllık dünya biyoetanol üretimi, milyon litre.....	15
Çizelge 2.2 Dünya biyoetanol üretimi ve tüketimi tahminleri 2024 yılına kadar	16
Çizelge 2.3 Farklı mikroalg hasat tekniklerinin avantaj ve dezavantajları.....	30
Çizelge 2.4 <i>Scenedesmus sp</i> 'nin taksonomisi.....	34
Çizelge 2.5 Bazı mikroalg türlerinin yapısındaki bileşenlerin yüzdelik oranları	34
Çizelge 3.1 Tris acetate phosphate (TAP) besi yerinin kompozisyonu.....	41
Çizelge 3.2 TAP sıvı besi yerinin kimyasal içeriği.....	42
Çizelge 3.3 Modifiye edilmiş sentetik mandıra atıksuyunun (SMA) kompozisyonu ...	44
Çizelge 4.1 Farklı başlangıç PO ₄ -P konsantrasyonlarında yetiştirilen mikroalglerin özellik büyüme hızları, ikiye katlanma süreleri ve biyokütle üretim hızları.....	54
Çizelge 4.2 Farklı başlangıç PO ₄ -P konsantrasyonlarındaki azot giderimi	56
Çizelge 4.3. Farklı başlangıç PO ₄ -P konsantrasyonlarındaki fosfor giderimi	57

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Dünya enerji talebi ve yenilenir enerji kaynakları (mtep/yıl)	2
Şekil 1.2 Türkiye, kaynaklarına göre birincil enerji tüketimi	3
Şekil 1.3 Türkiye, kaynaklara göre birincil enerji tüketiminin dağılımı	3
Şekil 2.1 Enerji kaynaklarının gruplandırılması.....	8
Şekil 2.2 İkinci nesil biyokütleleri işleme yöntemleri.....	11
Şekil 2.3 Biyoyakıtların sınıflandırılması ve hammadde çeşitleri.....	13
Şekil 2.4 Biyoetanol üretiminde kullanılabilecek hammadde kaynakları	17
Şekil 2.5 Prokaryotik alg örneği.....	19
Şekil 2.6 Ökaryotik alg örneği.....	19
Şekil 2.7 Mikroalg üretim sistemlerinin şematik şekilleri.....	23
Şekil 2.8 Raceway tipi havuz	24
Şekil 2.9 Açık üretim sistemleri fotobiyoreaktör tasarımları	24
Şekil 2.10 Fotobiyoreaktörde kule ve sarmal üretim sistem	24
Şekil 2.11 Geniş torbalarda ve polyester tanklarda üretim.....	26
Şekil 2.12 Düz levha tipi fotobiyoreaktör.....	26
Şekil 2.13 Sütun (boru) fotobiyoreaktörler.....	26
Şekil 2.14 Scenedesmus'un değişik türleri.....	33
Şekil 3.1 Scenedesmus sp.'nin şişelerde yetiştirilmesi.....	43
Şekil 3.2 Biyokütle ve optik yoğunluk kalibrasyon eğrisi.....	45
Şekil 4.1 1.5 Mg/L PO ₄ -P başlangıç konsantrasyonunda zamana karşı optik yoğunluğun değişimi	49
Şekil 4.2 3 Mg/L PO ₄ -P başlangıç konsantrasyonunda zamana karşı optik yoğunluğun değişimi	50
Şekil 4.3 7.5 Mg/L PO ₄ -P başlangıç konsantrasyonunda zamana karşı optik yoğunluğun değişimi	51
Şekil 4.4 15 Mg/L PO ₄ -P başlangıç konsantrasyonunda zamana karşı optik yoğunluğun değişimi	52
Şekil 4.5 30 Mg/L PO ₄ -P başlangıç konsantrasyonunda zamana karşı optik yoğunluğun değişimi	53
Şekil 4.6 Farklı PO ₄ -P başlangıç konsantrasyonlarındaki özgül büyüme hızları	54

Şekil 4.7 Farklı PO ₄ -P başlangıç konsantrasyonlarındaki ikiye katlanma süreleri.....	55
Şekil 4.8 Farklı PO ₄ -P başlangıç konsantrasyonlarındaki biyokütle üretkenlik hızları.....	55
Şekil 4.9 Farklı PO ₄ -P başlangıç konsantrasyonlarındaki azot giderimi	57
Şekil 4.10 Farklı PO ₄ -P başlangıç konsantrasyonlarındaki fosfor giderimi	58

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamalarıyla aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
%	Yüzdelik
° C	Derece (Santigrat)
C ₂ H ₅ OH	Etanol
C ₆ H ₁₂ O ₆	Glikoz
Ca ⁺²	Kalsiyum
cm	Santimetre
Co ⁺²	Kobalt
Cu ⁺²	Bakır
Fe ⁺²	Demir
g	Gram
K	Kelvin (sıcaklık ölçü birimi)
K ⁺¹	Potasyum
Kg	Kilogram
L	Litre
Lux	Işık şiddeti
m	Kütle
Mf	Fitre kâğıdının ağırlığı (g)
mg	Miligram
Mg ⁺²	Magnezyum
M _m	Mikroalg süzülen filtre kâğıdının ağırlığı (g)
mL	Mililitre
mm	Milimetre
mtep	Milyon ton eşdeğer petrol
NAD ⁺	Nikotinamid adenin dinükleotid
nm	Nanometre

Simgeler	Açıklama
O₂	Oksijen
P	Biyokütle üretkenliği (mg/L·gün)
psu	Practical salinity unit (ppt)
S⁻²	Sülfür
t	Zaman (gün)
t₀	Başlangıç anı
t_d	İkiye katlama süresi (gün)
V	Hız
V_{num}	Numune hacmi (mL)
X₀	Çinko
X_t	Başlangıçtaki mikroalg konsantrasyonunu (mg/L)
Zn⁺⁴	T anındaki mikroalg konsantrasyonu (mg/L)
μ	Spesifik büyüme hızı (gün ⁻¹)
μm	Mikrometre
μmol	Mikromol

Kısaltmalar	Açıklama
CH₄	Metan
CO₂	Karbondioksit
DNA	Deoksiriboz Nükleik Asit
EİE	Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü
EPS	Ekzopolisakkaritler
HCO₃	Bikarbonat
HES	Hidro Elektrik Santrali
KOI	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
MF	Mikrofiltrasyon
MnSO₄	Magnezyum Sülfat

Kısaltmalar	Açıklama
NH₄	Amonyum
NO_x	Azot Oksit
OY	Optik Yoğunluk (Abs)
pH	Bir Çözeltinin Asitlik veya Bazik Derecesini Tarif Eden Ölçü Birimidir
sp.	Species (Tür)
SO_x	Kükürt Oksit
TAKM	Toplam Askıda Katı Madde
TAP	Tris-Asetat-Fosfat
TAPDK	Tütün Mamulleri ve Alkollü İçkiler Piyasası Düzenleme Kurumu
UF	Ultrafiltrasyon
vd.	ve diğerleri
YEGM	Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü

1. GİRİŞ

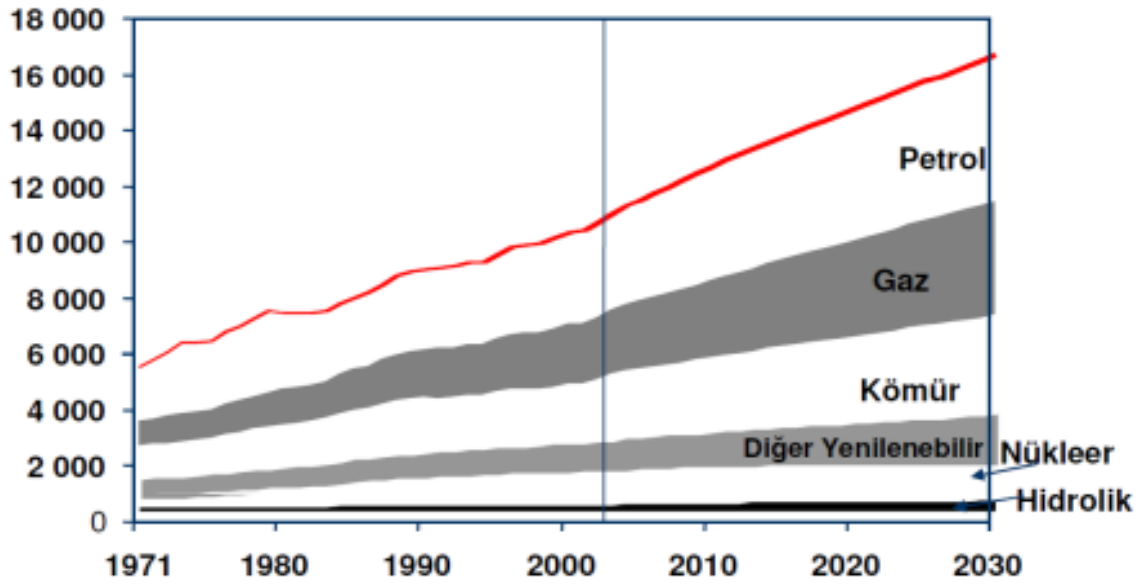
Dünya genelinde ülkelerin sosyal ve ekonomik gücünü etkileyen en önemli unsurlardan biri enerjidir. Bu özelliklerinden dolayı ülke yönetiminden sorumlu bireyler toplumun ve ekonominin gereksinim duyduğu enerjiyi geri dönüştürülebilir, kolay elde edilebilen, temiz, güvenilir ve ucuz yollardan temin etmek zorundadır (Koç vd., 2018). Klasik enerji kaynakları doğal çevrede tahribatlara yol açtığı için buna alternatif olarak sürdürülebilir kalkınma terimi bulunmuştur. Sürdürülebilir kalkınma, sonraki kuşakların ihtiyaçlarını karşılama olanağından taviz vermeden günümüz insanların kendi ihtiyaçlarını karşılayabilen kalkındır (Gedik, 2020). Gelişmiş toplumlar bu konuya daha fazla eğilim göstermekte ve enerji-ekonomi-ekoloji dengesi (3E) kaynak çeşitliliği, yaşamsal faaliyetlerin sürdürülmesi ve doğaya en az zarar verecek şekilde planlanması amaçlamaktadır (Pamir, 2005). Dünya'daki bu enerji tüketimi ve kaynak arayışı içinde olan ülkelere Türkiye'dir.

Türkiye geliştirmekte olan bir ülke olduğu için sanayileşme ile birlikte enerji sektöründe artan bir talep olmuştur (Şengül ve Tuncer, 2006). Türkiye bu talebi karşılamak adına ilk verimlilik çalışmalarını 1980 senesinde Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü'nü (EİE) kurarak başlatmıştır. Fakat bilinmeyen bir nedenden dolayı ani bir şekilde kapatılmıştır. Daha sonra 2011 yılında Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM) faaliyetlerini sürdürmüştür. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Enerji Verimliliği ve Çevre Daire Başkanlığı olarak tekrardan düzenlenen Enerji İşleri Genel Müdürlüğü alt birimde, güç verimliliği faaliyetleri halen devam etmektedir (Keskin ve Güven, 2020).

1.1 Dünyada ve Türkiye'de Genel Enerji

Sanayi devrimi faaliyetler ile ekonomik büyüme artışı ve hızlı nüfus büyümesinin de etkisiyle enerji tüketimi de arttırmıştır. Ülkelerin bu hızlı gelişimi doğal kaynakların kullanımını arttırmış ve büyük bir hızla azalmasına yol açmış. Fosil kaynakların kullanımı çevresel sorunlara yol açmış. Bu sorunlar bölgesel olmaktan çıkmış küresel bir problem haline gelmiştir. Hükümetler bu problemi çözmek için çeşitli kaynak arayışlarına girmiş ve bu konuda yasal düzenlemeler zorunlu hale getirilmiştir. Bu problemi çözmek

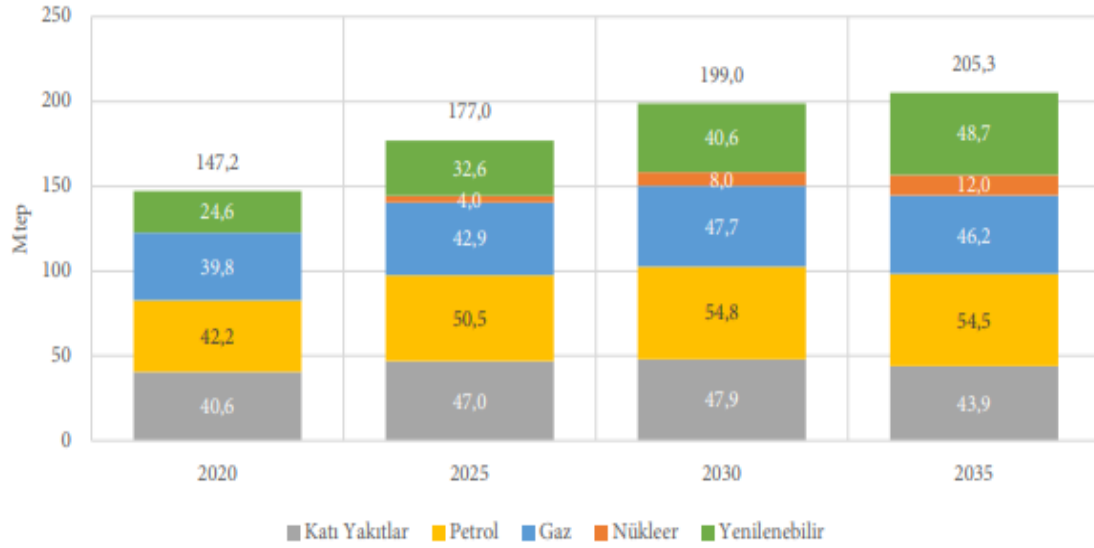
için çevre dostu ve yenilir enerji kaynakları arayışına gidilmiştir. Bunlar; hidrolik, güneş, biyokütle, rüzgâr, jeotermal, dalga gel-git, hidrojenidir. Şekil 1.1’de Dünya Enerji Talebi ve Yenilenir Enerji Kaynakları gösterilmiştir. Bu çalışma Uluslararası Enerji Ajansı tarafından 2000-2030 yılları arasındaki yenilenebilir enerji kaynak kullanımını göstermektedir. Bu çalışmaya göre fosil enerji kaynak payı %85, bu %85 kısmın %60 petrol ve doğalgaz payı, yenilenir enerji kaynak payı ise %15 olacağı tahmin ediliyor.



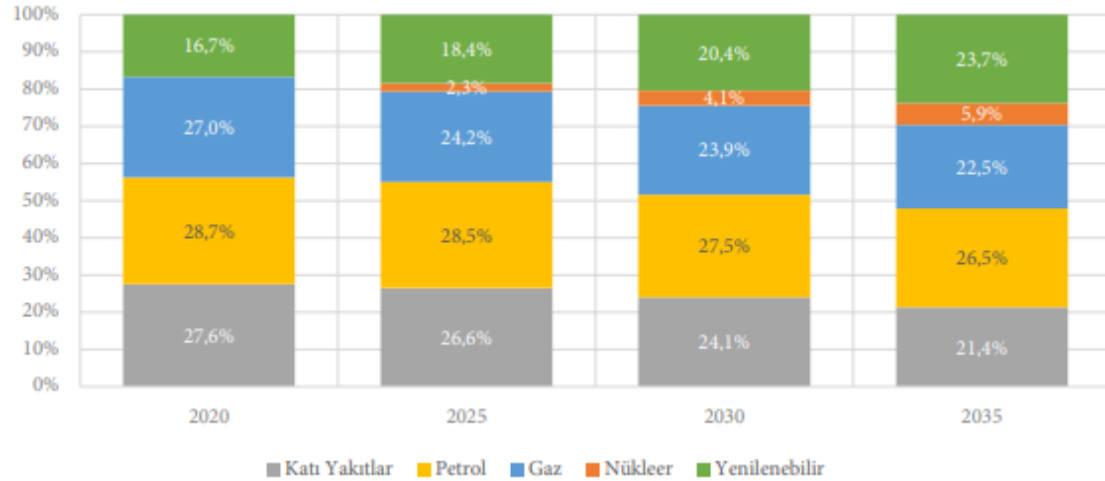
Şekil 1.1 Dünya enerji talebi ve yenilenir enerji kaynakları (mtep/yıl) (Üstün ve Genç, 2015)

Türkiye’nin birincil enerji kaynak tüketimi 2020 senesinde 147.2 Mtep olarak gerçekleşmiştir. Bu rakamın 2030 senesine kadar 205.3 Mtep’e yükselmesi öngörülmektedir. 2000-2020 seneleri arasında birincil enerji kaynak tüketimi yıllık ortalama %3.1 artmıştır. Bu rakamın 2020-2035 seneleri arasında %2.2 artacağı öngörülmektedir. 2020 yılında kişi başı birincil enerji kaynak tüketimi 1.7 tep/kişi ‘den 2.1 tep/kişi ‘ye yükselmiştir. 2020 yılında birincil enerji kaynak tüketimi içindeki yenilenebilir enerji kaynaklarının miktarı %16.7’dir. Bu rakamın 2035 yılına kadar %23.7’ye artması öngörülmektedir. 2035 yılına kadar nükleer enerji payının %5.9’luk paya ulaşması öngörülmektedir. Yenilenemez fosil kaynak miktarı 2020 yılında %83.3’tür. Bu rakamın 2035 yılında %70.4’e azalacağı öngörülmektedir. Kömür miktarı %21.4’e gerilerken, petrol miktarı %26.5, doğal gaz miktarı %22’e gerileyeceği

öngörülmektedir (ETKB, 2022). Şekil 1.2’de Türkiye, kaynaklarına göre birincil enerji tüketimi gösterilmiştir.



Şekil 1.2 Türkiye, kaynaklarına göre birincil enerji tüketimi (ETKB, 2022)



Şekil 1.3 Türkiye, kaynaklara göre birincil enerji tüketiminin dağılımı (ETKB, 2022)

1.2 Dünya’da ve Türkiye’de Yenilenebilir Enerji

Fosil yakıt fiyatlarındaki artış ve fosil yakıtların geri dönüştürülemez olmasıyla birlikte kullanılarak azalması yeni enerji kaynağı arayışına sürüklemiştir. Bu arayış

Dünya’da ve Türkiye’de gün geçtikçe artmaktadır. Türkiye jeopolitik konumundan dolayı birçok yenilenebilir enerji kaynağını kullanma potansiyeline sahiptir. Örneğin güneşlenme süresi en fazla olan bölge Güneydoğu Anadolu Bölgesi olduğu için güneş panelleri kullanımı yaygındır (Koç ve Şenel, 2013). Yer şekilleri dolayısıyla da rüzgâr ve hidrolik enerji gücü vardır. Türkiye jeotermal enerji bakımından Dünya gücünün %8’ini oluşturur (Özbektaş vd., 2023).

Çizelge 1.1 Dünya yenilenebilir enerji kapasiteleri (GW) (Yolcan, 2023)

Yenilenebilir Enerji Kaynakları	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Biyoenerji	83	88	101	106	114	122	131	139	133	143
Güneş	2.5	3.4	4.3	4.8	4.8	4.9	5.6	6.2	6.2	6.0
Jeotermal	11.5	12	12.9	13.2	12.1	12.8	13.2	13.9	14.2	14.5
Elektrik	100	139	177	227	303	402	512	627	767	942
Rüzgâr	283	318	370	433	487	539	591	651	745	845
Toplam	480	560	665	785	922	1081	1252	1437	1672	1945

1.3 Çalışmanın Amacı

Son yıllarda enerji kullanımı kentleşme ve sanayileşmede çok büyük bir artış gösterdi. Bu durumda enerji ihtiyaçlarını karşılamak için fosil yakıtlardan daha fazlasına ihtiyaç duyulur. Çünkü fosil yakıtlar kullandıkça azalan, yenilenemeyen doğal enerji rezervlerini kurutan ve çevre dostu olmayan enerji türüdür. Bu enerji türünün yenilenmesi milyonlarca yıl sürer. Aynı zamanda iklim değişikliği üzerinde de olumsuz etkilere sahiptir. Biyoenerji teknolojileri gibi yeşil enerji küresel ölçekte bir sorun haline gelmiş fosil enerji kullanımına bir alternatif olarak geliştirildi. Sonuç olarak; doğal yeşil enerji kaynakları biyodizel, biyoetanol, biyometan ve biyohidrojen gibi çeşitli biyoyakıtlar üretilmeye başlandı. Bilim insanları enerji ihtiyacını karşılamak için araçlar üzerinde çalıştılar. Mikroalgler tek hücreli veya çok hücreli formda olup prokaryotik veya ökaryotik fotosentez yapan mikroorganizmalardır. Mikroalgler çeşitli endüstri alanlarına sahiptir; besleyici gıdalar, kozmetik, kimya ve ilaç endüstrisi vb. Biyokütle diğer katkı maddeleri, lipitler, polimerler ve yenilenebilir enerji kaynakları gibi birçok fonksiyonel

ve biyokimyasal ürün mikroalglerin yoğun işlenmesiyle elde edilir. Mikroalgler çeşitli ortamlarda örneğin deniz suyu, acı ve tatlı sularda yaşayabilirler. Sonuç olarak üretimi arttırırlar. Mikroalgal biyokütle üretimine bakıldığında ekim maliyetine rağmen dezavantaj teşkil eder. Bir ton alg kütlesi yetiştirmek için yaklaşık 80 kg nitrojen ve 5 kg fosfor gerek (Al-Badri, 2021).

Bu çalışmanın amacı sentetik mandıra atık suyunda (SMA) yetişen *Scenedesmus sp.* mikroalg türünden biyoetanol üretmektir.

1.4 Çalışmanın Önemi

Mikroalgler üçüncü nesil biyoyakıt üretmek için bir potansiyel teşkil eder. Sentetik atıksu arıtımında mikroalg yetiştirilmesi teorik olarak biyoyakıt üretimi için ekonomik açıdan uygun bir kaynaktır. Sonuç olarak artan biyokütle, mikroalgden biyoyakıt üretmek için bir avantaj sağlar. Ticari olarak da bir fırsat sunar. Ekonomik fizibilite ve çevrenin korunması bu tekniklerin ticari açıdan uygulanabilirliğinin önündeki temel engeller olmaya devam etmektedir. Teknik adımlar ve süreçlerin yenilikçi entegrasyonu olmadan bu zorluklar maliyetle ilgilidir ve cevaplanamaz. Sentetik atıksuyun kullanılması ile atıksu yönetimi dâhil edilmiştir. Mikroalg üretimine dayalı biyolojik ürünlerin üretimini anlatan temel zorluklar nispeten azalacaktır. Fakat mikroalglerden üretilen büyük ölçekli biyoyakıt üretimi ticari olarak uygulanabilir hale gelmesinden önce birçok önemli bilimsel ve teknolojik problemin çözülmesi gerekir. Ayrıca sentetik atıksu mikroalg üretim tesislerinde kullanılabilir, böylece kaynak maliyeti ve ölçeklenme sorunları minimuma indirgenebilir. Sentetik atıksuya dayalı mikroalg üretim sistemlerinin tam olarak kullanılabilmesi için daha fazla araştırılması gerekir.

2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ

2.1 Enerji Kaynakları

Enerji kaynakları iki gruba ayrılır. Kullanımına göre ve dönüşümlerine göre. Kullanışlarına göre kategorize edilen bu grupta kendi içerisinde ikiye ayrılır. Yenilenemez(tükenir) ve yenilenebilir(tükenmez) enerji kaynaklarıdır. Yenilenebilir enerji kaynakları çevre dostu ve ekonomik ve daha az maliyetli olduğu için en çok tercih edilen gruptur. Bu grup kaynaklar; hidrolik, güneş, biyokütle, rüzgâr, jeotermal, dalga gel-git ve hidrojenidir. Geçmiş yaşam standartları nedeniyle fosil yakıtlar (kömür, petrol, doğal gaz vb.) kullanılmasına rağmen şimdilerde yerini yenilenebilen enerji (biyokütle, jeotermal, dalga vb.) kaynaklarına bırakmıştır.

Şekil 2.1’de açıklanan enerji kaynakları; kullanımına göre ve dönüştürülebilirliği itibari ile iki başlıkta kategorize edilir. Kullanımına göre alt başlık olarak tükenir (yenilenmez) enerji kaynakları ve tükenmez (yenilenir) enerji kaynakları diye sınıflandırılırken, dönüşüm özelliğine göre de birincil ve ikincil enerji kaynakları sınıflarına ayrılır. Birincil enerji dışardan hiçbir müdahaleye maruz kalıp değişmemiş enerji olarak nitelendirilir. Birincil enerji kaynakları; kömür, petrol, doğalgaz, nükleer, biyokütle, hidrolik, güneş, rüzgâr ve dalga gel-git enerjisidir. İkincil enerji ise birincil enerjinin dışardan müdahale ile değişime uğratılması sonucu oluşan enerjidir. Tükenir enerji belli bir rezerv düzeyinde olan kullanımı sonucu azalıp yeri doldurulamayacak olan enerjidir (kömür, petrol, doğalgaz) . Tükenmez enerji yenilebilir, çevre dostu ve gelecek vaat eden enerjidir. Hidrolik, güneş, biyokütle, rüzgâr, jeotermal, dalga, gel-git, hidrojen enerjisidir.



Şekil 2.4 Enerji kaynaklarının gruplandırılması (Koç ve Şenel, 2013)

2.1.1 Enerji Kaynaklarının Gruplandırılması

2.1.1.1 Hidrolik Enerji

Yenilenebilen bir enerji türü olan hidrolik enerji suyun basınç ve hız etkisinden faydalanılarak su türbinleri yardımıyla mekanik enerji oluşturmaya denir. Yağış rejimine bağlı olan elektrik üretmek için nehirler üzerine barajlar kurularak suyu depolarda biriktirmek suyun potansiyel enerjisinin üst kodlardan alt kodlara aktarılarak kinetik enerjiye dönüştürüldüğü ve türbinlerin dönmesini sağlayan yenilenebilir bir enerji türüdür. Yağış rejiminin yüksek olması üretilen elektrik miktarını da artırır. Genelde Hidro Elektrik Santralleri'nde (HES) kullanılır. Hidrolik enerji elektriğe dönüştürüldüğü için birçok kullanım alanına sahiptir (Bozkurt ve Tür, 2015).

2.1.1.2 Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi hidrojen gazının helyuma dönüşümü sonucu oluşan ışıma enerjisine denir. Dolayısıyla güneş devamlı halde bir füzyon reaktörü olarak kabul edilir. Güneş yüksek sıcaklıkta (6000 K) bir gaz küresidir. Bu sıcaklık ışıma yoluyla dünyamıza

ulaşır ve dünyamızı ısıtır. Güneş panelleri yardımıyla dünyamıza ulaşan bu enerji toplanır ve çeşitli alanlarda kullanılır. Örneğin; bina ev ve seraların ısıtılması, sıcak su eldesi, elektrik enerjisi ihtiya ı, trafik ışıklarının yanması, suyun damıtılması, saat ve hesap makineleri, yapay uydu ve güneş kuleleri vb. gibi alanlarda kullanılır (Kılıç, 2015).

2.1.1.3 Rüzgâr Enerjisi

Rüzgâr enerjisi sıcak hava kütlesi ve soğuk hava kütlesinin yer değiştirmesi sonucu meydana gelen rüzgârın önce kinetik sonra mekanik en sonda elektrik enerjisine dönüşmesi sonucu oluşur. Hızlı, temiz, kolay erişilebilir ve düşük maliyetli olması nedeniyle çokça tercih edilir. İlk kullanım alanı yel değirmenlerinin kurulumuyla olmuş. Yel değirmenlerinin kurulumuyla su pompalanmış. Teknolojinin gelişmesiyle yel değirmenleri yerini rüzgâr türbinlerine bırakmıştır. Kurulan bu türbinlerden rüzgâr elektrik enerjisine d n şt r lm ştir. Kullanım alanları; sulama sistemleri, parkların, bahçelerin, caddelerin ve sokakların aydınlatmaları, ev ve ofisler, kamu, kurum ve kuruluşlar, sinyalizasyondur (şenel ve Koç, 2015).

2.1.1.4 Jeotermal Enerji

Jeotermal enerji yerin dibinde bulunan ısı enerjisinin sıcak bölgelerden yer yüzeyine gayzer veya sıcak su olarak çıkması sonucu oluşan enerjidir. Yeraltı sularının ısınarak yer yüzeyine çıktığı alanlara da jeotermal alan denir. Jeotermal enerji çeşitli kullanım alanlarına sahiptir. Bunlar; sağlık sektöründe tedavi amaçlı, elektrik üretimi, endüstri sektöründe çeşitli alanlarda kullanılır: şeker endüstrisi, tuz endüstrisi,  imento kurutmacılığı, balık çiftlikleri, organik madde kurutmacılığı (su yosunu, çim, sebze) y n n yıkanması ve kurutulması, yüzme havuzları, damıtma ve fermentasyon, mantar yetiştirme, balneolojik hamamlar, sera, ahır ve kümes ısıtmacılığı, kaplıca, distilasyonla temiz su elde edilmesi (Arslan vd., 2001).

2.1.1.5 Dalga Gel-Git Enerjisi

Okyanus ve deniz gibi büyük su kütlelerinin yüzeyindeki dalga hareketlerinden oluşan gel-git(medcezir) olayına dalga gel-git enerjisi denir. Bu enerji genellikle dalga ve rüzgârın etkisiyle oluşur. Yenilenebilir, kolay elde edilebilir ve çevre dostu olduğundan tercih edilen bir enerji türüdür. Dalga dönüştürücü adı verilen cihazlar ile dalga enerjisi depolanır. Bu cihaz dalga hareketinden oluşan mekanik enerjiyi hidrolik enerjisine çevirerek elektrik oluşturur. Üretilen bu enerji çeşitli alanlarda kullanılır (Onurbaş Avcıoğlu ve Dayıoğlu, 2016).

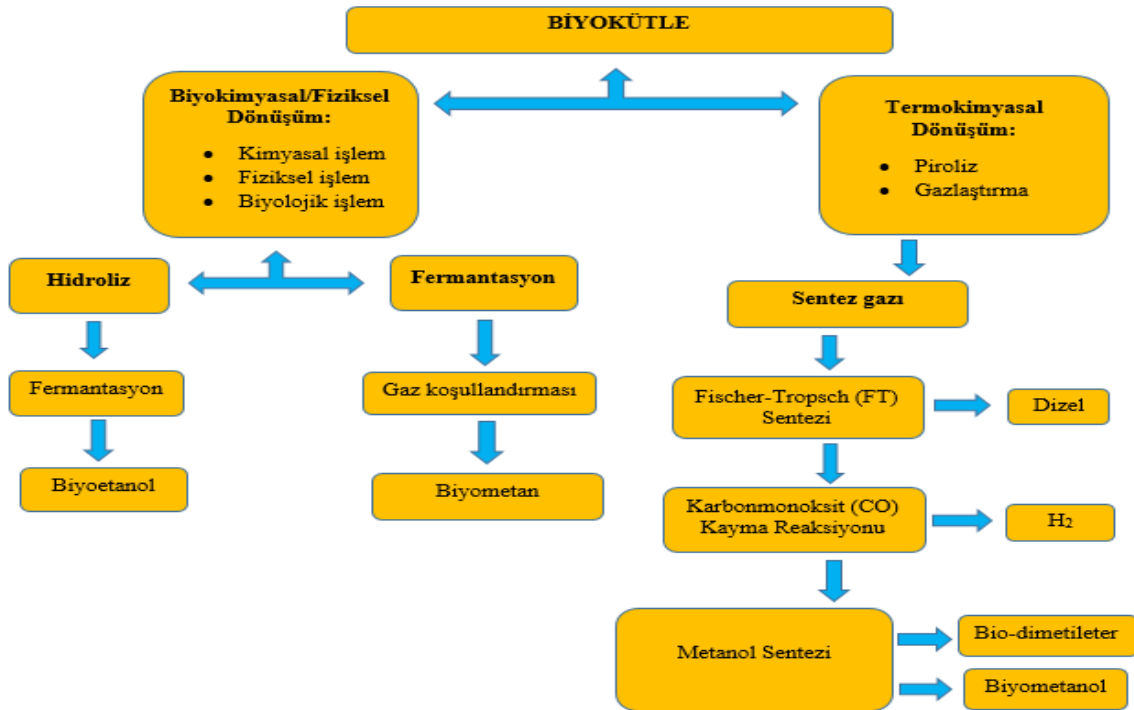
2.1.1.6 Hidrojen Enerjisi

Hidrojen enerjisi saf hidrojen gazının oksijen ile tepkimeye girmesi sonucu su ve enerji üretir. Tepkime sonucu açığa çıkan enerji elektrik enerjisi ve ısı enerjisi olarak kullanılır. Diğer kullanım alanları: Taşımacılık sektörü; otomotiv endüstrisi gelecekte daha çevre dostu araçlar üretmeyi hedefliyor. Evlerde ısınma ve elektrik üretimi olarak kullanılıyor. Uzay araştırmalarında bir yakıt türü olarak kullanılır. Endüstriyel süreçlerde amonyak üretimi, petrol rafineleri ve metallerin indirgenmesinde sıklıkla kullanılır. Elektrik üretimi ve depolanmasında kullanılır (Şenaktaş, 2005).

2.1.1.7 Biyokütle Enerjisi

Bitki, hayvan, orman ürünleri, gıda endüstrisi atıklarından elde edilen enerjiye biyokütle enerjisi denir. Kullanılan bitkiler; şeker pancarı, şeker kamışı, mısır, tatlı darı, papatya keten tohumu, ayçiçeği, kolza, soya fasulyesi, patates, buğday, kenaf, kenevir, sorgum, miscanthus, bezelye, fasulye (Karayılmazlar vd., 2011). Bitkisel atıklar; dal, sap, saman, kök, kabuk vb. Hayvansal atıklar: Sığır, at, koyun vb. dışkıları ve mezbahane atıklarıdır. Biyokütlenin kullanım alanları: Elektrik ve ısı enerjisi olarak kullanılır. Ulaşımında araç motorlarında yan ürün olarak kullanılır. Kimyasal ve biyolojik işlemler ile biyogaz, biyoetanol ve biyodizel elde edilir (Ercan, 2019). Aynı zamanda biyokütle biyoyakıt üretmek için kullanılan yenilenebilir bir enerji çeşididir.

Şekil 2.2’de İkinci Nesil Biyokütelleri İşleme Yöntemleri şematize bir biçimde gösterilmiştir. Biyokütle işlemi iki temel başlık altında gruplandırılır: Biyokimyasal/fiziksel dönüşüm ve termokimyasal dönüşümdür. Fiziksel işlem; maddenin yapısı değişmeden sadece halinde, şeklinde ve dış görünümünde ortaya çıkan değişimdir. Kimyasal işlem; maddenin yapısında meydana gelen değişimdir. Biyolojik işlem; döllemeden ölüme kadar geçen süreçte vücutta oluşan birçok değişimi kapsar. Hidroliz kimyasal bir bağın su ile parçalanması sonucu oluşan tepkimenin adıdır. Fermantasyon: en bilindik haliyle gıdaların çürümesidir. Mayalama denilen bu süreçte bakteriler, maya, mantar gibi mikroorganizmalar uygun ısı ve sıcaklıkta çürür. Termokimyasal dönüşüm; çeşitli süreçlerle ortaya çıkan biyoyakıtları üretmek için biyokütlenin organik bileşiklerinin termal parçalanmasına denir. Örneğin doğrudan yanma, piroliz, gazlaştırma ve termokimyasal sıvılaştırma (Rani vd., 2022). Piroliz; yüksek sıcaklık ve anaerobik ortamda organik maddenin termal kırılmaya uğraması sonucu termokimyasal dönüşüm oluşur. Gazlaştırma; termokimyasal bir süreç olan biyokütleden gaz yakıt elde edilmesidir. Sentez gazı; gazlaştırma veya karbon içerikli maddelerin pirolizi sonucu oluşur.

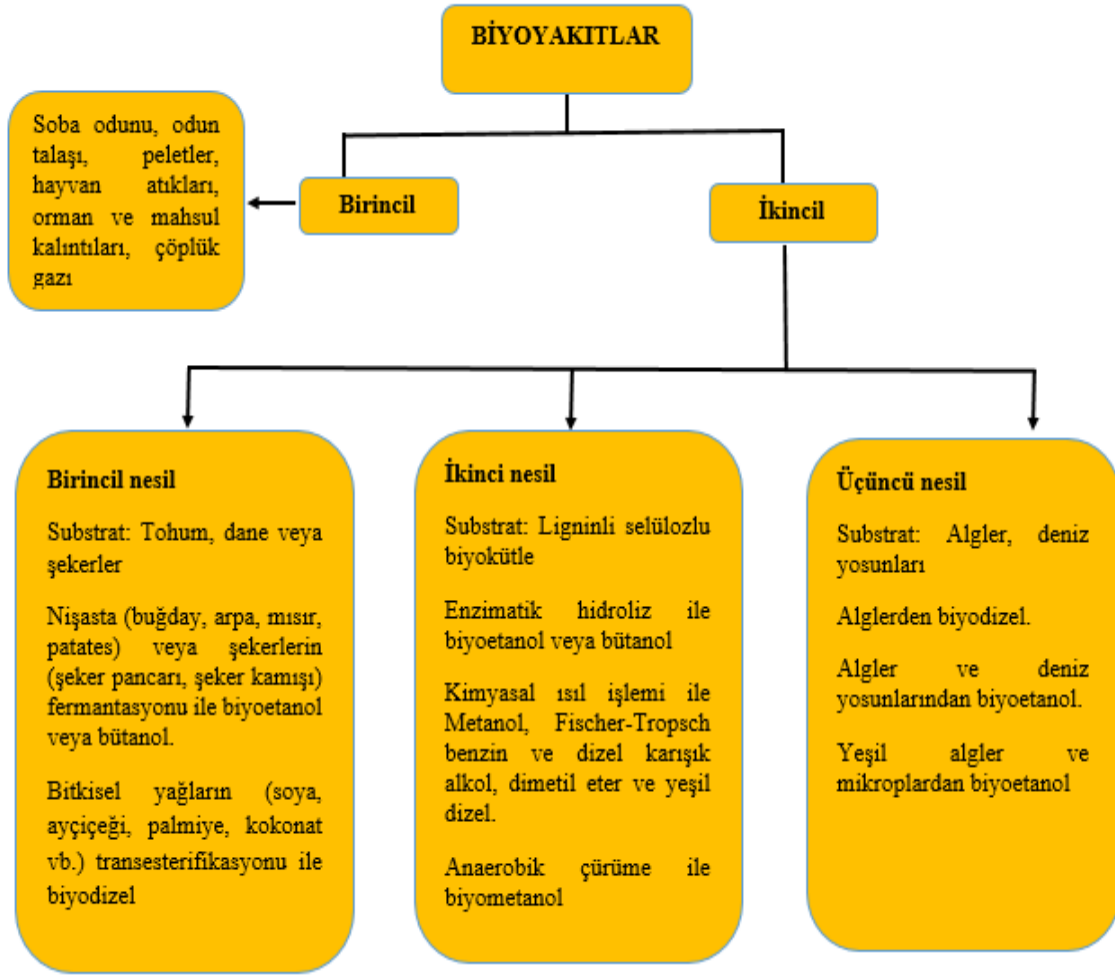


Şekil 2.5 İkinci nesil biokütelleri işleme yöntemleri (Işık ve Yavuz, 2022)

2.2 Biyoyakıtlar

Hayvan, bitki, belediye atıkları ve tarımsal ürünlerin biyokimyasal veya termokimyasal reaksiyonları sonucu oluşan katı, sıvı ya da gaz ürünlerin genel adıdır (Ar, 2008). Sınırlı petrol yakıtlarının kullanılması ve her geçen gün azalması nedeniyle araştırmacılar alternatif yenilenebilir hammadde arayışına girmişlerdir. Bu önemli arayış dünyanın artan enerji talebini karşılamanın yanı sıra çevre dostu; sera gazı emisyonun azaltılması gibi önemli bir amaca sahiptir. Biyoyakıt endüstrisini daha iyi bir noktaya taşımak için gelişmiş ülkeler özellikle ulaştırma sektörü üzerine araştırmalar yapıyor (Ünlü, 2019). Biyoyakıtlara fosil kaynakların neden olduğu çevre kirlenmesini azaltmak egzoz emisyonlarının sebep olduğu sağlık riskini azaltmak, enerji güvenliği sağlamak ve enerjide dış bağımlılığı azaltmak, kırsal kalkınmanın gerçekleşmesine yardım etmek gibi nedenlerden dolayı ihtiyaç duyulur.

Şekil 2.3'te Biyoyakıtların Sınıflandırılması ve Hammadde Çeşitleri gösterilmiştir. Biyoyakıtlar iki temel başlık altında sınıflandırmaktadır: Birincil ve ikincil biyoyakıtlar. Birincil biyoyakıtlar soba odunu, odun talaşı, peletler, hayvan atıkları, orman ve mahsul kalıntıları, çöplük gazıdır. Birinci nesil biyoyakıtlar: Nişastanın (buğday, arpa, mısır, patates) veya şekerlerin (şeker pancarı, şeker kamışı vb.) fermantasyonu yoluyla biyoetanol veya biyodizel üretilmesidir (Saladini vd., 2016). Yağ tohumlarının (soya, kolza, ayçiçeği, palmye, hindistan cevizi, atık yağ vb.) transesterifikasyon yoluyla biyodizel üretilmesidir. İkinci nesil biyoyakıtlar: Selülozik biyokütleden (selüloz, hemiselülöz ve lignin) çoğaltılan biyoyakıtlara ikinci nesil biyoyakıt denir (Saladini vd., 2016). Yeni geliştirilen nişasta, yağ ve şeker tohumlarının (jatropha, cassava, miscanthus vb.) geleneksel yöntemlerle biyoetanole ve biyodizele dönüştürülmesidir. Lignoselülozik maddeden (saman, odun, çim vb.) biyoetanol ve biyodizel üretilmesidir. Üçüncü nesil biyoyakıtlar: Algler ve su yosunlarından üretilen biyoyakıtlardır (Saladini vd., 2016). Diğer nesil biyoyakıtlara oranla daha yüksek kalitede biyoyakıt verimine sahiptir.



Şekil 2.6 Biyoyakıtların sınıflandırılması ve hammadde çeşitleri (Ekin vd., 2018)

2.1.1 Biyoyakıtların Avantajları

Biyoyakıt bitki veya hayvan atıklarından elde edilen enerjidir. Petrol, kömür, doğal yakıtlar veya nükleer atıklardan farklı yenilenebilir bir enerji kaynağı olmasıdır. Biyoyakıtlar artan enerji talebini karşılamak için ortaya çıkmış yenilenebilir bir enerji türüdür. Fosil yakıtların kullanımından dolayı ortaya çıkan sorunları önlemek için alternatif olarak üretilmiştir.

- Yenilenebilir enerji kaynaklarına alternatif oluşturması ve atıl durumdaki malzemelerin tekrar kullanılmasını sağlaması. Bu malzemelerin yeniden kullanılması ekonomi döngüsüne katkı sağlar.

- Fosil yakıtların yanmasına oranla daha az sera gazı emisyonu oluştururlar. Böylece doğaya daha az zarar verirler.
- Yiyecek olarak tüketilmeyen biyokütleden oluşması.
- Oluşan biyokütle atıklarını azaltır. Örneğin dal, yaprak, sap, saman vb. enerjiye dönüştürülmesi.
- Doğanın kirlenmesine neden olan tehlikeli emisyonları azaltır. Bunlar; CH₄, CO₂, NO_x, SO_x, toksik eser elementlerdir (Işık ve Yavuz, 2022).

2.2.2 Biyoyakıtların Dezavantajları

Biyoyakıtların kullanımı güçleştiren çeşitli dezavantajları mevcuttur. Bunlar aşağıda sıralandığı gibidir:

- Sıvı Biyoyakıtların fosil yakıtlara oranla daha pahalı olması. Yüksek yatırım maliyetine sahip olması.
- Yanlış arazi kullanımı, ormansızlaştırma, gübreler, böcek ilaçlarının kullanımı doğal ekosisteme zarar verir.
- Biyoyakıtlardan üretilen enerji yoğunluğunun düşük seviyelerde olması.
- Bölgesel ve mevsimlik kullanılabilir olması. Her bölgede kullanılamıyor olması ve dört mevsim kullanmak için uygun şartların bulunmaması.
- Biyoyakıtlar için yenilenebilir kaynakların yetersizliği (Işık ve Yavuz, 2022).

Biyoyakıtlar bitki, hayvan çeşitli belediye atıkları, tarımsal ürünler ve odundan termokimyasal veya biyokimyasal reaksiyonlar sonucu elde edilen katı, sıvı ve gaz ürünlerinin genel adıdır. Katı biyoyakıtlar; biyokömür, biyopelet, biyobriket ve odun kömürüdür. Gaz biyoyakıtlar; biyogaz, biyohidrojen ve singaz denilen sentetik atık gazlardır. Sıvı biyoyakıtlar; biyoetanol, biyodizel, biyometanol, biyodimetileter, biyoetiltersiyerbutileter ve bitkisel yağlardır (Ar, 2008).

2.3 Biyoetanol

Biyoetanol günümüzde en popüler olan sıvı yakıtlardan biridir. Benzin ile harmanlanarak kullanılır. Çeşitli bitkilerden temini sağlanır: Şeker kamışı, şeker pancarı, mısır, buğday, patates, şekerli ve nişastalı bitkiler (Saladini vd., 2016). Biyoetanölün

kimyasal formülü $\text{CH}_3\text{--CH}_2\text{--OH}$ 'dır. Çevre dostu, ekonomik, yenilenebilir, biyolojik temelli, sera gazı emisyonunu düşük oranda etkileyen sıvı bir yakıttır. Ayrıca fosil yakıtlara bir alternatiftir. Biyoetanol buharlaşma ısısı, oktan sayısı benzinden daha yüksektir ve tutuşma sıcaklığı daha geniştir. 1970'lerde dünya genelinde petrol krizi meydana gelmiştir. Fosil yakıt rezervlerinin sınırlı olması dünya liderlerini endişelendirmiş ve yeni kaynak arayışına itmiştir. Bu arayış doğrultusunda yenilenebilir, çevre dostu, ekonomik, sürdürülebilir kaynaklara yönelim artmıştır. 1975 Brezilya'da şeker kamışından biyoetanol üretilmeye başlanmıştır. Kullanılan benzin miktarına oranla 70 kat daha fazla biyoetanol üretilmiştir (Adıgüzel, 2013). Dünya biyoetanol piyasasında önde gelen dört ülke mevcuttur: Amerika, Brezilya, Avrupa Birliği ve Çin'dir. Çizelge 2.1'de yıllık dünya biyoetanol üretimi, miktarları milyon litre bazında gösterilmiştir.

Çizelge 2.1 Yıllık dünya biyoetanol üretimi, milyon litre (Nikolić vd., 2020)

Ülkeler	2015	2016	2017	2018	2019	Dünya Üretim Payı (%)
ABD	56.050	58.344	60.324	60.910	59.718	54
Brezilya	27.255	25.589	25.286	30.321	32.441	30
AB	5.250	5.212	5.300	5.413	5.451	5
Çin	3.077	3.199	3.255	3.975	3.407	3
Kanada	1.650	1.650	1.779	1.817	1.893	2
Hindistan	738	1.041	795	1.514	2.006	2
Tayland	1.264	1.219	1.401	1.476	1.590	1
Arjantin	798	999	1.098	1.098	1.098	1
Diğerleri	1.480	1.855	1.567	2.078	2.271	2
Dünya Toplamı	97.562	99.108	100.805	108.602	109.875	

2016 yılı verilerine göre küresel biyoetanol üretiminin 100.2 milyar litre olduğunu görülmektedir. Yıllık biyoetanol üretimi sürekli artmaktadır ve dünya çapında biyoetanol üretimi ve tüketiminin 2024 senesine kadar yaklaşık olarak 134.5 milyar litreye çıkacağı

öngörülmektedir. Çizelge 2.2’de Dünya biyoetanol üretimi ve tüketimi tahminleri 2024 yılına kadar gösterilmişti (Bušić vd., 2018)

Çizelge 2.2 Dünya biyoetanol üretimi ve tüketimi tahminleri 2024 yılına kadar (Bušić vd., 2018)

Ülkeler	Üretim (%)	Tüketim (%)
ABD	42	41
Brezilya	31	29
AB	7	8
Çin	7	7
Hindistan	2	2
Tayland	2	2
Diğerleri	9	11

Türkiye biyoetanol üretimi açısından dünya ülkeleri arasında onuncu sıradadır. Fakat benzin alternatifi talebini karşılamaktan çok uzaktır. Türkiye’de biyoetanol üretim kapasitesi Şeker Fabrikaları tarafından karşılanmaktadır. Türkiye’deki Şeker Fabrikaları Erzurum, Eskişehir, Malatya ve Turhal Şeker Fabrikaları’dır. Hibrit araçlarda kullanılan biyoetanol %85 oranındaydı. Daha çevreci bir yaklaşımla bu oran %74’e düşürülmesi Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ve Kyoto Protokolü ile desteklenmektedir. Türkiye’de bu Kyoto Protokolünü imzalayan ve destekleyen gelişmekte olan bir ülkedir. Bu yüzden 2017 yılında Resmi Gazete ‘de ilan edilen bildiriye göre “Dağıtıcı lisansı sahiplerince, bir yılda, kara tankeri dolum üniteleri hariç rafinericiden elde edilen ve ithal edilen benzin türlerinin toplamına, en az %3 (V/V), oranında yerli tarım ürünlerinden yapılmış olan etanolün harmanlanmış olması zorunluluğu” getirilmiştir (Türkşeker, 2021). Türkşeker’de, benzine %3 oranında karıştırılarak kullanılan biyoetanol üretmek maksadıyla; 2008 senesinde Eskişehir Şeker Fabrikasında 15 milyon litre/yıl kapasiteli “Alkol Susuzlaştırma Tesisi”, Tütün, Tütün Mamulleri ve Alkollü İçkiler Piyasası Düzenleme Kurumu’ndan (TAPDK) gerekli izinleri alarak kurmuştur (Türkşeker, 2021). 10 yıl kullanılmayan biyoetanol tesisinde

2018 yılından itibaren tekrar biyoetanol elde etmeye başlamıştır. 2018 senesinde 2.113.000 lt, 2019 senesinde 96.000 lt biyoetanol elde edilmiş ve satılmıştır (Türkşeker, 2021). 2023-2024 Kampanya sürecinde Eskişehir Alkol Fabrikasında totalde 1.556.000 litre saf etil alkol (%96 v/v) elde edilmiştir (Türkşeker, 2023).

Biyoetanol biyokütleden elde edilen karbonhidratın fermentasyona dönüşümüyle üretilir. Biyokütle içinde bulunan basit şekerler $C_nH_{2n}O_n$ (şeker) $\rightarrow n/3 C_2H_5OH + n/3 CO_2 + \text{ısı}$ tepkimesi yoluyla biyoetanol ve karbondioksit dönüşür. Biyoetanol çeşitli gıda hammaddelerinden elde edilir. Buda gıda hammaddelerinin fiyatını arttırabilir. Bu artış düşüncesi son yıllarda araştırmalara ve farklı yönelimlere sevk etmiştir. Araştırmalar sonucu gıda artış fiyatlarını daha az etkileyen lignoselülozik atıktan (odun parçaları, saman, otsu atıklar vb.) biyoetanol üretmeye yöneliktir. Biyoetanol elde etmek için üç farklı yol vardır. Bunlar; sukroz içeren, nişasta içeren ve lignoselülozik hammaddelerdir (Saladini vd., 2016). Bunların dışında son zamanlarda yapılan çalışmalar sonucu açığa çıkan mikroalglerdir (Adıgüzel, 2013). Şekil 2.4'te biyoetanol elde etmek için kullanılan hammadde kaynakları gösterilmiştir.



Şekil 2.7 Biyoetanol üretiminde kullanılabilecek hammadde kaynakları (Adıgüzel, 2013)

2.4 Algler

2.4.1 Alg Türleri

Algler su yosunları olarak bilinir. Farklı grupları içiren sucul fotosentetik ökaryotlardan oluşurlar. Bu grup çok hücreli, masroskopik ve mikroskobik alg çeşitlerinden oluşur. Algler çeşitli parametrelerden etkilenirler bunlar: Işık şiddeti, sıcaklık, tuzluluk ve pH 'dır. Çeşitli alanlarda kullanılırlar; sanayi, kozmetik, gıda, sağlık, eczacılık ürünleri vb. (Gürsu, 2021).

2.4.2 Makroalg

Makroalgler sucul ortamda yaşayan canlılar için üreme ortamı, beslenme ve barınma gibi faktörlerde önemli bir rol oynar. Boyutları 1-2 cm ile 40-50 cm aralığında değişkendir. İçeriğindeki pigment maddesine göre üç ayrı sınıfta incelenir: Esmer (*Phaeophyceae*), Kırmızı (*Rhodophyceae*) ve Yeşil (*Chlorophyceae*). Bu alg türü geniş kullanım alanlarına sahiptir. Gıda sektörü, tarım ve hayvancılık, kozmetik, sanayi vb. (Gürsu, 2021).

2.4.3 Mikroalg

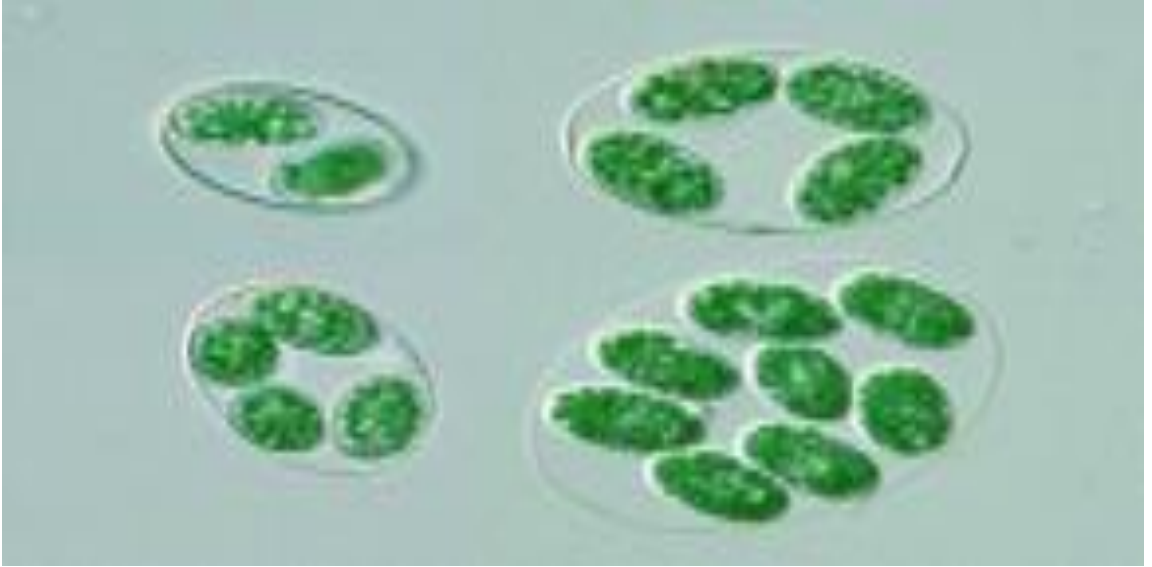
Prokaryotik yapıda olan mikroalgler hetetrofik mikroorganizmalardır. Enerji ürünü olarak üretilmede yüksek bir potansiyele sahiptir. Farklı habitatlarda gelişim gösterirler. Mikroalgler gerekli koşullar sağlandığında; ışık, karbondioksit ve yeterli besin maddelerinin olduğu kültürlerde yaşarlar. Dünya atmosferi için gerekli olan oksijenin büyük bir kısmını mikroalgler üretir. Zengin bir tür çeşitliliğine sahip olan mikroalg çeşitleri: Bacillariophyceae, Cyanophyta ve Chrysophyceae 'dır (İrkin, 2020).

Genel olarak mikroalglerin kimyasal formülü $C_{106}H_{181}O_{45}N_{16}P_1$ olarak ifade edilir. Günümüzde yaklaşık 50000 mikroalg türü olduğu tahmin ediliyor. Bunun 30000 kaynaklarda mevcutken yeni türlerin keşfi için araştırmalar sürmektedir. Bir mikroalgin yapısında %6-57 karbonhidrat, %10-63 protein ,%4-55 yağ ve birçok bileşen bulunur.

Mikroalgler çeşitli kullanım alanlarına sahiptirler; gıda, sağlık, eczacılık, kozmetik ve en önemlisi biyoyakıt üretimi vb. (Gürsu, 2021).



Şekil 2.8 Prokaryotik alg örneği (Eliçin vd., 2013)



Şekil 2.9 Ökaryotik alg örneği (Eliçin vd., 2013)

2.4.3.1 Mikroalg Üretiminde Önemli Parametreler

Tüm proseslerde olduğu gibi mikroalg üretimini de etkileyen parametreler mevcuttur. Bu parametreler ışık şiddeti, sıcaklık, pH değeri, oksijen ve karbondioksitin

varlığı, tuzluluk, biyolojik olmayan faktörlerden oluşur. Biyolojik faktörleri ise bakteri, mantar, virüs gibi patojenler ve diğer mikroalg türlerinin rekabeti oluşturur. İşletme parametreleri ise karıştırma hızı, seyretme oranı ve hasat sıklığıdır.

2.4.3.2 Işık Şiddeti

Mikroalg üretiminde değişik yöntemler kullanılmakta ancak kullanılan en belirgin yöntem fotoototrofik kültivasyondur. Bu yöntemin esasında fotoototrofik mikroalgler CO₂ ve ışığı kullanılarak fotosentez üretimi yapar. Işık şiddeti mikroalg üretimini etkileyen önemli parametrelerden birisidir. Işık şiddeti fotosentez reaksiyonlarını gerçekleştirmek için gereklidir. Mikroalg türüne göre değişkenlik göstermekle birlikte genel olarak 400-700 nm dalga boyu aralığındaki ışık kullanarak fotosentez yaparlar. Çeşitli dalga boylarında mikroalg tarafından absorbe edilen ışık büyüme hızını etkiler. Az ışık absorblanması mikroalgin yavaş büyümesine yol açar (Eleren ve Öner, 2019).

2.4.3.2 Sıcaklık

Hücreye besin alımı, büyüme hızı, karbon fiksasyonu ve hücredeki lipit(yağ) kompozisyonu gibi olayları sıcaklık değişimleri etkilemektedir. Mikroalglerin büyümesi için belirli sıcaklık aralıklarında olması gerekir. Bütün mikroalgler aynı sıcaklıkta büyümmez. Bir mikroalg türü için en iyi büyüme sıcaklığı bir başka mikroalg türünün yapısını bozar. Genel olarak mikroalgler 5-35°C sıcaklıkta gelişim sağlarlar. Ama birçok çalışmada kullanılan mikroalg büyüme sıcaklığı 20-30°C arasında olduğu gözlemlenmiştir. Yüksek sıcaklık değeri büyüme hızını artırır düşük sıcaklık değeri ise büyüme hızını düşüren bir etkiye sahip olabilir. Bu yüzden mikroalg üretimi sırasında her türü için uygun sıcaklık değeri seçilmelidir (Gürsu, 2021).

2.4.3.4 Besin Maddeleri

Diğer birçok canlı gibi yaşamsal faaliyetlerini sürdürmek için mikroalglerde besine ihtiyaç duyar. Mikroalglerin ihtiyaç duyduğu besin iki ölçekte incelenir; büyük ve küçük. Büyük besinler karbon, azot ve fosfordan oluşur. Üretim basamağında kullanılan

küçük besinler ise az miktarda Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^{+1} , Fe^{+2} , S^{-2} , Zn^{+4} , Cu^{+2} , Co^{+2} vb. maddelerden oluşur. Yüksek yoğunlukta mikro besin kaynakları toksik etki yaratabilir buna dikkat edilmesi gerekir. Makro besin kaynaklarında kullanılan karbon kaynağı mikroalg türüne göre değişkenlik gösterebilir. Ototrof yapıdaki mikroalgler karbon ihtiyacını organik olmayan yapılardan karşılar. Fakat farklı türdeki mikroalgler organik kaynaklardan da karbon sağlayabildiği biliniyor. Mikroalgin büyümesi, çoğalması ve fizyolojik aktiviteleri için gereken önemli elementlerden biriside azottur. Birçok mikroalg azotu; nitrit, nitrat, amonyum ve üre formunda kullanabilir (Gürsu, 2021).

2.4.3.5 pH

Mikroalglerin büyümesini etkileyen parametrelerden biri de pH'dır. Her mikroalg türü aynı pH aralığında büyümeyebilir. Genellikle tatlı su ökaryotik algleri pH 5-7 olan asidik ortamda büyür. Siyanobakterileri (mavi-yeşil algler) pH 7-9 alkali ortamda büyür. Birçok türün büyümesi için en ideal pH aralığı 8-9'dur. Bu aralıkta istilacı türlerin etkisi daha azdır. pH aralığı 10-11 aralığının dışına çıkması demek mikroalglerin yapısının bozulması anlamına gelir. Mikroalgler fotosentez yaparak CO_2 'yi kullanır ve pH değeri artar. Artan bu değeri kontrol altında tutmak için hidroklorik asit ya da asetik asit kullanılır. pH, amonyağın uçması ve yüksek pH'da ortofosfatın çökmesi sebebiyle azot ve fosfat giderimini etkiler (Töre ve Işık, 2020).

2.4.3.6 Tuzluluk

Mikroalglerin biyokütlesinin büyümesini etkileyen parametrelerden biri de tuzluluktur. Bütün mikroalgler aynı tuzluluk değerinde yetişmezler. Mikroalg türlerinin kültivasyonu için uygun tuzluluk miktarı farklılık gösterir. Deniz mikroalgleri; *Synechococcus sp.*, *Nannochloropsis salina*, *Chlorococcum littorale* ve *Botryococcus braunii*, yüksek tuzluluk oranında daha iyi büyümektedir. Tatlı su mikroalgleri; *Chlorella vulgaris* ve *Microcystis aeruginosa* daha az tuzlu besin ortamında gelişir. Örneğin, bazı mikroalg türlerinin en iyi gelişim gösterdiği tuzluluk değerleri deniz mikroalglerinden *Nannochloropsis salina* 34 psu, *Chlorella vulgaris* 30 psu, *Chlorella sp.* 30 psu, *Tetraselmis* 20-35 psu, *Isochrysis* 25-35 psudur (Elcik ve Çakmakçı, 2017).

2.4.3.7 Biyolojik Faktörler

Mikroalg kültivasyonunu etkileyen parametrelerden biri biyolojik faktörlerdir. Bakteri, maya, küf ve istenmeyen algler tarafından kontaminasyonlar meydana gelebilmekte. Azot, fosfor gibi yiyeceklerin bu mikroorganizmalar tarafından tüketimi mikroalg büyümesini bozabilmektedir. Biyolojik kontaminasyonu önlemek için ışık, sıcaklık, pH ve çevresel etmenler geçici olarak değiştirilebilir. Mesela yüksek oksijenli şartlarda gelişen *Chytridium sp.* gibi parazit mantarının kontaminasyonu günde 1 saat oksijen seviyesi düşürülerek önlenabilir (Elcik ve Çakmakçı, 2017).

2.4.3.8 Karıştırma

Mikroalg üretiminde en önemli parametrelerden bir tanesi karıştırma. Mikroalg üretimini ışık, sıcaklık ve gazların (CO₂, O₂) homojen dağılımı önemli derecede etkiler. Homojen dağılımı sağlamak için optimum karıştırma kullanılır bu mikroalg yetiştiriciliği için önemlidir. Karıştırma işlemi yavaş olursa mikroalg kültürünün içinde karanlık bölgeler oluşurken, hızlı olması da mikroalg hücrelerinin zarar görmesine yol açar. Karıştırma işlemi; gaz dağıtıcı prosesler, pompalar ve mekanik karıştırıcılar ile yapılır. Açık sistemlerde mekanik karıştırıcılar kullanılırken, kapalı sistemlerde ise pompa ve gaz dağıtıcı prosesler kullanılır (Gürsu, 2021).

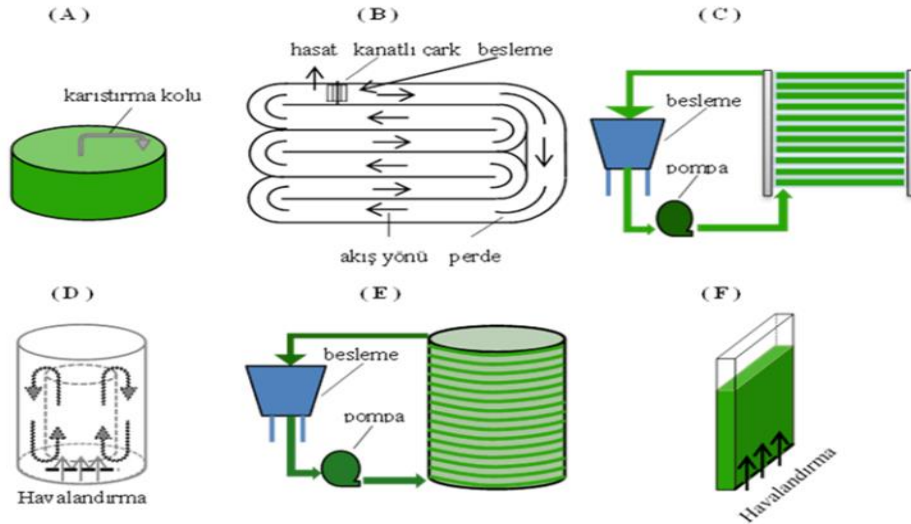
2.5 Mikroalg Üretim Sistemleri

Mikroalglerden büyük ölçekte üretimin amacı düşük maliyetli ve kaliteli ürün yetiştirmektir. Büyük ölçekli sistemlerde çeşitli hususlara dikkat edilmesi gerekir. Bunlar; ışık, sıcaklık, kültürün sürekliliği ve biomasın zamana bağlı değişmediği sabit koşullardır. Her mikroalg türünün kendine özgü büyüüp gelişim sağladığı optimum koşullar vardır. Mikroalgin türüne göre bu optimum koşullara dikkat edilmesi gereklidir. Örneğin; *Spirulina spp.* yüksek pH ve bikarbonat yoğunluğunda daha iyi gelişim gösterirken, *Chlorella spp.* Yüksek besin içeriğine sahip ortamlarda daha iyi gelişim göstermektedir. *Dunaliella salina* mikroalg türü ise yüksek oranda tuz içeren ortamlarda daha iyi gelişim gösterir. Mikroalgler çeşitli sektörlerde kullanılır. Bunlar gıda, sanayi kozmetik, ilaç,

eczacıktır. İlaç ve eczacılık sektöründe *Chlorella* ve *Spirulina* mikroalg türü daha fazla tercih edilir (Kargın, 2020).

2.5.1 Açık Üretim Sistemleri

Mikroalg yetiştiriciliğinde açık üretim sistemleri ve kapalı üretim sistemleri kullanılır. Açık üretim sistemleri 1950'li yıllarda kullanılmaya başlandı. Bu sistem mikroalg kültivasyonu, dairesel, eğimli, karıştırmasız (sığ) ve yarış pisti olarak çeşitli açık üretim sistemlerinde meydana gelir. Bu çeşitliliğin nedeni bu sistemlerin ekonomik olması ve kapalı üretim sistemlerinin ileri teknoloji gerektirmesinden dolayı maliyetli oluşudur. Buna karşın çok az mikroalg türü açık üretim sistemlerinde yetiştirilebiliyor. Bu sistemin dezavantajları; açık sistem olduğu için dış mekânla kontaminasyonu yüksektir. Bu yüzden mikroalg kültürünü kirletici bulaşıcılar etkileyebilir. Bu sistemlerde sıcaklık kontrolü günlük ve mevsimsel dalgalanmalardan dolayı zordur. Işık miktarının az olması sıcaklık faktörü, pH faktörü ve çözünmüş oksijen konsantrasyonu mikroalglerin büyüme verimini etkileyebilir. Sürekli buharlaşma, CO₂'nin atmosfere yayılımı ve kirlenme tehlikesi bu sistemin dezavantajlarındandır (Gezici, 2012).



Şekil 2.10 Mikroalg üretim sistemlerinin şematik şekilleri (Elcik ve Çakmakçı, 2017)

A) Dairesel karıştırılmalı havuz B) Raceway tipi havuz C) Yatay tübüler fotobiyoreaktör D) Hava kaldırmalı reaktör E) Sarmal tübüler fotobiyoreaktör F) Düz plaka fotobiyoreaktör



Şekil 2.11 Raceway tipi havuz (Gezici, 2012)



Şekil 2.12 Açık üretim sistemleri fotobiyoreaktör tasarımları (Gezici, 2012)



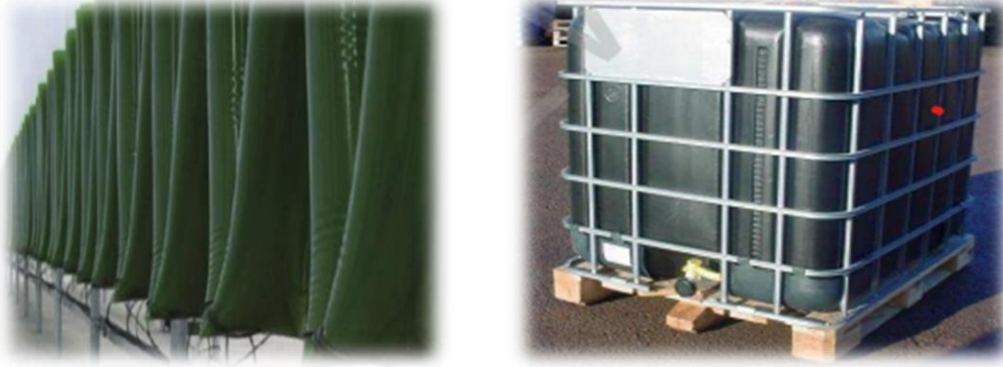
Şekil 2.13 Fotobiyoreaktörde kule ve sarmal üretim sistemi (Gezici, 2012)

2.5.2 Kapalı Üretim Sistemleri

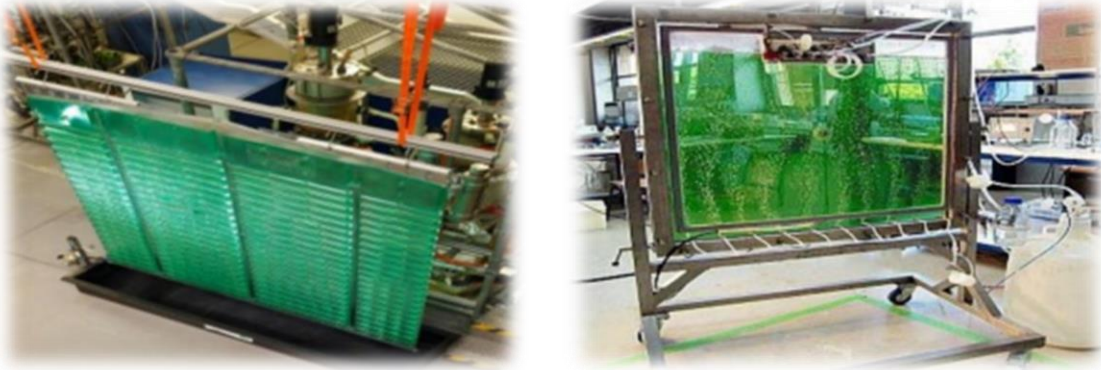
Mikroalg yetiştiriciliğinde kullanılan bir diğer sistemde kapalı üretim sistemleridir. Kapalı üretim sistemleri açık üretim sistemlerine göre bazı avantajlara sahiptir. Kapalı üretim sistemlerinin açık sistemlere nazaran en belirgin farkı, mikroalg kültürlerinin doğrudan çevresel etkilere maruz kalmadan yetiştirilmesidir. Kapalı üretim sistemlerinde güneş ışığı daha etkin bir şekilde kullanılır. Çünkü güneş ışığı daha geniş bir yüzey alanında dağılım sağlar. Buda daha verimli bir aydınlanma sağlandığı için hücre yoğunluğu yüksek olur. Bu sistemin tercih edilmemesinin en önemli nedeni yüksek yatırım maliyeti olmasıdır. Kapalı üretim sistemleri alglerin yetiştirilmesi esnasında açık üretim sistemlerine göre kontrollü ortam koşullarının sağlanması, daha az yer kaplaması, su ve CO₂ kayıplarının daha az olması, birçok mikroalg türünün yetiştirilmesine olanak sağlaması, yüksek biyokütle verimliği sağlaması, çevresel kirleticilerin minimum düzeyde olması ve güneş ışığından daha fazla faydalanılması gibi önemli avantajlara sahiptir.

Mikroalg yetiştirmek için kullanılan teknik dizaynlardan oluşan sistemlere fotobiyoreaktörler denir. Kapalı üretim sistemleri fotobiyoreaktör çeşitleri: Boru, plaka ve torbadır. Fotobiyoreaktörlerin üretimi sırasında çeşitli şeffaf plastikler ve konteynerler kullanılır. Yapılan uzun çalışmalar sonucunda farklı tipte fotobiyoreaktörler tasarlanmıştır. Bunlar; düz-panel, tübüler ve dikey-kolon fotobiyoreaktörlerdir. Düz-panel fotobiyoreaktörün avantajları: Isı transferinin iyi olması, enerji tüketiminin düşük olması, etkili karıştırma, ölçek büyütme uygunluğu, yatırım maliyetinin düşük olması, kolay taşınabilir olmasıdır. Yatay ve dikey tipte fotobiyoreaktörler de mevcuttur. Yatay tipte fotobiyoreaktör yüksek stabilizasyon ve kolay mikroalg yetiştirilmesinden dolayı daha fazla tercih edilir. Dikey tipte fotobiyoreaktör mikroalglerin fotoototrofik büyümesi için karıştırma veriminin daha iyi olması ve CO₂ tutma veriminin daha yüksek olmasından dolayı tercih edilir. Dikey kabarcık kolon fotobiyoreaktörü; tasarımının basit olması, işletiminin kolay olması ve enerji tasarrufu sağladığından dolayı avantajlıdır. Fakat ışığı sınırlı kullanması bu tasarım için bir dezavantajdır. Plastik torba tipi fotobiyoreaktörler; düşük maliyetinden dolayı son yıllarda mikroalg üretimi için sıkça tercih edilir. Hücre verimini arttırmak için aeratörler ile birlikte kurulumu sağlanır. Çok fazla tercih edilen bir yöntem değildir. Çünkü yerçekimi nedeniyle torbalar bozulur. Bu

durum ışık kısıtlamaları ve sızıntılar meydana getirir. Bir diğer dezavantajı da kısıtlı karıştırmadan dolayı bazı bölgelerde hücre büyümesi bozulur. Uzun vadede kullanımı ekonomik değildir ve kullanım sonrası bertarafı zordur (Eleren ve Öner, 2019).



Şekil 2.14 Geniş torbalarda ve polyester tanklarda üretim (Gezici, 2012)



Şekil 2.15 Düz levha tipi fotobiyoreaktör (Gezici, 2012)



Şekil 2.16 Sütun (boru) fotobiyoreaktörler (Gezici, 2012)

2.6 Mikroalg Hasadı

Hasat; kùltivasyon ortamı içinde seyreltik durumda (%0.02-0.06 toplam askıda katı madde (TAKM)) kurutma, yağ ekstraksiyonu gibi işlemler için %5-25 TAKM oranında konsantre edilmesi işlemidir. Mikroalg konsantrasyonu iki adımdan oluşan hasat uygulamalarından elde edilir. Bu iki adımlı hasat işleminde; ilk aşamada %2-7 askıda katı madde konsantrasyonundan algal çamur, ikinci aşamada %15-25 askıda katı madde konsantrasyonunda algal kek oluşur. Bu hasatlama işleminin maliyeti toplam mikroalg üretim masrafı %20-30 civarında olur. Kùltür ortamının yoğunluğunun düşük olması, küçük boyutta mikroalg (3-30 µm çapında) ve büyük hacimli suların işleme alınmasının zorluğu bu maliyetin temel nedenidir (Elcik ve Çakmakçı, 2017). İdeal hasat yöntemi; birçok mikroalg türü için uygulanabilir olması ve düşük maliyetle yüksek biyokütle konsantrasyonları elde edilmelidir. Elde edilecek ürün için doğru hasat yöntemi seçilmelidir. Doğru hasat yönteminin seçilmesi için mikroalg türünün çeşitli parametreleri bilinmelidir. Örneğin; tuz konsantrasyonu, nem içeriği, boyut, kùltür ortamı ve yoğunluk aralıkları bilinmelidir. Seçilen hasat yöntemi sonraki süreçler için kontaminasyona ve çeşitli problemlere sebebiyet vermemelidir. Mikroalg hasadı fiziksel, kimyasal ve mekanik gibi farklı yöntemlerle yapılmaktadır. Katı sıvı ayırımında yer çekimi ile çöktürme, santrifüj, flokülasyon, hava flotasyonu ve elektroforez gibi mevcut teknolojiler kullanılır. Mevcut teknolojiler hücre yoğunluğunun düşük olması ve mikroalg hasadı için hem masraflı hem de enerji sarfıyatı fazladır. Düşük maliyette daha yüksek ayırım yapmak için genellikle iki veya daha fazla proses birlikte kullanılır. Örneğin; flokülasyon-sedimentasyon ve santrifüj prosesinin birlikte kullanımı işletme maliyetini düşürür. İşletme maliyetleri yeni geliştirilen biyolojik yöntemler ile düşürülür (Barros vd., 2015).

Koagülasyon; askıda ve kolloid halde maddelerin koagülant (kimyasal madde) eklenmesi sonucu çöktürülmesi işlemine denir. Kullanılan koagülant maddeler alüminyum sülfat, demir sülfat ve demir klorürdür. Yüksek miktarda koagülant kullanımı mikroalg hücre duvarına zarar verir. Flokülasyon; hafif çalkalama ve karıştırma işlemi ile hızlı flok çöktürme sürecine denir. Koagülasyon/flokülasyon prosesi büyük ölçeekte mikroalg yetiştiriciliği için uygundur. Bu proses ile mikroalg biokütlesi 20-100 kat arasında konsantre edilir (Barros vd., 2015). Mikroalg hasadında katyonik polimerler (kitosan ve katyonik poliakrilamid) de kullanılır (Kurniawati vd., 2014). Dünyada en

yaygın bulunan biopolimer kitosandır. Kitosanın avantajları; biyolojik olarak ayrıştırılabilir ve metal tuzları gibi toksik değildir. Yapılan bir çalışmada mikroalg türü olan *Chlorella vulgaris* 'in hasadı için kitosan kullanılmış ve %92 verim olduğu saptanmıştır. Yapılan bir diğer çalışmada mikroalg türü olan *Chlorella minutissima*'nın hasadı için $AlCl_3$ kimyasalı kullanılarak 0.5 g/L başlangıç alg konsantrasyonundan %80 verim olduğu belirlenmiştir (Elcik ve Çakmakçı, 2017).

Biyoflokülasyon; mikroalg sentezinin biyopolimerlerle (ekzopolisakkaritler (EPS)) gerçekleştirdiği sürece verilen addır (Barros vd., 2015). Daha kolay floküle olan bazı mikroalg çeşitleri vardır (Vandamme vd., 2013). Biyoflokülasyon kolay floküle olan ve diğer mikroalg türlerinin karışımı sonucu da elde edilir (Vandamme vd., 2013). Yapılan son çalışmalara göre *Skeletonema* mikroalg türü de biyoflokülasyonda kullanılır (Vandamme vd., 2013). Bu yöntem kimyasal kullanımı ortadan kaldırarak maliyeti azaltmaktadır. Fakat diğer türlerin kontaminasyonu bakteri ve fungi gibi mikroalg biyokütlesinin besin ve hayvancılık sektörü için kullanımı uygun değildir (Vandamme vd., 2013). Yapılan bir çalışmaya göre *Ettlia texensis*, *Scenedesmus obliquus* ve *Ankistrodesmus falcatus* gibi mikroalg türleri kullanarak *Chlorella vulgaris*'in biyoflokülasyonu sonucu sırasıyla, %55, %34 ve %50 hasat verimi olduğu belirlenmiştir (Elcik ve Çakmakçı, 2017).

Flotasyon; partikül haldeki maddenin hava kabarcığı yardımıyla yukarı doğru taşınması ve ayrılması temeline dayanır ve ters çevrilmiş çökme olarak tanımlanan mikroalg hasat yöntemlerinden biridir (Barros vd., 2015). Uygulamada 4 farklı flotasyon yöntemi vardır. Bunlar; çözünmüş hava flotasyonu, dağınık hava flotasyonu, ozon flotasyonu ve elektroflotasyondur (Rashid vd., 2014; Barros vd., 2015). Bu yöntemle elde edilecek verim mikroalg hücre boyutu ve hava kabarcığı boyutuna bağlıdır (Rashid vd., 2014). Hava kabarcıklarının boyutunun küçük olması yüzey alanının büyük olması demektir buda partiküllere daha hızlı tutunmasını sağlar (Barros vd., 2015). Önemli faktörlerden biri de hava kabarcıklarının hareketidir (Barros vd., 2015). Bu hasat yöntemi 10-30 µm çapındaki mikroalg türleri için uygundur (Rashid vd., 2014). Flotasyon hasat yöntemiyle %80-90 oranında verim elde edilir (Barros vd., 2015). Örneğin; flotasyon hasat yöntemi kullanılarak *Chlorella sp.* mikroalg türünden %90 verim elde edilmiştir (Elcik ve Çakmakçı, 2017). Bu yöntemin avantajları; hasat verimliliğinin yüksek olması,

işlem veriminin yüksek olması, maliyetinin düşük olması ve kolay çalışma prosedürü sayılabilir (Sağlam, 2021).

Elektriksel esaslı yöntemler; bu hasat şeklinin kullanımı henüz yaygın değildir (Barros vd., 2015). Fakat birçok mikroalg türü için kullanılmakta ekstra kimyasal gerekmediği için ekonomik ve çevrecidir (Elcik ve Çakmakçı, 2017). Bu yöntemde kullanılan elektrot türüne göre hasat verimi değişir. Kullanılan elektrotlar alüminyum ve demir yapısındadır. Demir elektrotlardan alüminyum elektrotlardan daha fazla verim elde edilir (Barros vd., 2015).

Santrifüj; merkezkaç kuvvetinin etkisiyle mikroalg hücreleri yoğunluk ve parçacık boyutuna bağlı olarak kültür ortamından ayrılma esasına dayanır. Bu yöntemle hücreler yüksek randımanla toplanır fakat işlem süresinin uzunluğu fazla enerji sarfiyatına neden olur. Ayrıca her mikroalg türü için uygun değildir. Yüksek yerçekimi kuvveti hücre hasarına yol açabilir ve hassas besinler yok olabilir (Sağlam, 2021). Endüstri sektöründe farklı tiplerde santrifüjler kullanılır. Bu tipler; disk yığın santrifüjleri, delikli sepet santrifüjleri, delikli sepet santrifüjleri, dekantörleri ve hidro-siklonlardır (Sağlam, 2021). Pahalı bir yöntem olduğu için kullanım alanı yağ asidi eldesi ve ilaç sektörüyle sınırlıdır (Elcik ve Çakmakçı, 2017). Yapılan bir çalışmaya göre *Scenedesmus* sp. ve *Coelastrum proboscideum* mikroalg türleri ile başlangıç konsantrasyonu 0.1 g/L'den 12 g/L konsantre alg sağlandığı çalışmalarla saptanmıştır (Elcik ve Çakmakçı, 2017).

Membran filtrasyon; son yılların gelişmiş popüler mikroalg hasat yöntemidir (Zhang vd., 2010). Bu hasat yöntemi santrifüjleme hasat yönteminden daha az maliyetli bir yöntemdir (Bilad vd., 2014). Bu yöntem algal biyokütlenin neredeyse tamamını tutmakta, protozoa ve virüslerin giderimi dezenfeksiyonla sağlanmaktadır (Bilad vd., 2012). Bu yöntemde kimyasal maddeye (koagülant) ihtiyaç yoktur (Bilad vd., 2012). Bu sistem enerji sarfiyatı düşük maliyetlidir. Bu sistemin avantajı; filtre edilen sudaki besin maddeleri ile kültür ortamı tekrar beslenebilir. Buda mikroalg hasat maliyeti ve enerji sarfiyatını azaltmaya yardımcı olur. Membran prosesler farklı kullanım özelliklerine göre sınıflandırılmaktadır. Bunlar işletme prensibi, membran çeşidi ve proses konfigürasyonudur. Mikroalg hasadında kullanılan çeşitli membran çeşitleri; UF, MF, nanofiltrasyon ve ters ozmostur. UF ve MF'nin membranları ters ozmos ve nanofiltrasyondan daha yüksek akı değerlerine sahiptir. Düşük transmembran

basınçlarında işletilen UF ve MF'nin enerji sarfiyatları da düşüktür. Mikroalg hücrelerinin tutulması ($>1\mu\text{m}$) için gözenek çapı uygundur (Bilad vd., 2014). UF ve MF membranlarının gözenek çapı mikroalg hücresinden küçük olduğu için mikroalglerin tamamını tutabilir (Bilad vd., 2014). Son zamanlarda ileri ozmos yöntemi UF ve MF dışında konsantre mikroalg üretiminde kullanılmaktadır. Ters ozmos yöntemi tıkanma eğiliminin düşük olması ve akı değerlerinin kararlı olmasından dolayı umut vaat eden bir sistemdir. Fakat deniz suyu çekme çökeltisi olarak kullanımı yüksek ozmotik basınç altında tıkanma eğilimi yüksektir (Bilad vd., 2014). Membran proseslerinin dezavantajları; konsantrasyon polarizasyonu, membranın tıkanması, membran ömrünün düşük olması, filtrasyon akısının düşük olmasıdır (Elcik ve Çakmakçı, 2017). Çizelge 2.3'te mikroalg biyokütle hasadında kullanılan farklı hasat yöntemlerinin avantaj ve dezavantajları gösterilmiştir.

Çizelge 2.3 Farklı mikroalg hasat tekniklerinin avantaj ve dezavantajları (Deepa vd., 2023)

Hasat Yöntemi	Avantaj	Dezavantaj
Koagülasyon	Kimyasal ve biyo-pıhtılaştırıcılar kullanılır.	Kimyasallar toksik olabilir.
	Biyokütle geri kazanımı %95,7-99.	Kimyasal pıhtılaştırıcılar pahalıdır.
	Hızlı endüstriyel düzeyde ve kolay hasat süreci.	Pıhtılaştırıcıyı alg hücrelerinden çıkarmak zor.
Biyoflokülasyon	Esas olarak kitosan ve mikroorganizmalar kullanılır	
	Biyokütle geri kazanımı %80-99,68.	Diğer mikroorganizmalara bağlı kontaminasyon.
	Çevre dostu ve toksik olmayan.	Pahalı.
	Hızlı, endüstriyel düzeyde ve ucuz teknik.	Türe özgü.
	Kültür ortamı yeniden kullanılabilir.	Kontrol edilemez.

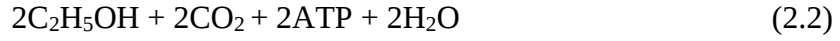
Çizelge 2.4 Farklı mikroalg hasat tekniklerinin avantaj ve dezavantajları (Deepa vd., 2023) (devam)

Hasat Yöntemi	Avantaj	Dezavantaj
Flotasyon	Kısa süreli farklı yüzdürme yaklaşımları hasat zamanı Biyokütle geri kazanımı %80-98.73. Büyük ölçekli hasat yöntemi Uygun maliyet	Bazı kimyasal yüzey aktif maddeler pahalıdır. Bazı özel alg türleri için uygundur.
Elektriksel Esaslı Yöntemler	Hızlı Kimyasal içermeyen ve kolay hasat teknikleri. Biyokütle geri kazanımı %36,6- 99.	Yüksek enerji tüketimi gerektirir. Metal elektrotlar pahalıdır.
Santrifüjleme	Biyokütle geri kazanımı %90. Hızlı ve küçük ölçekli laboratuvar tekniği.	Pahalı yöntem. Yüksek hız nedeniyle hücre hasarı.
Filtrasyon	10 Dakikadan 24 saate kadar kolay hasat. Biyokütle geri kazanımı %76-100. Ucuz ve kimyasal içermeyen yöntem. Endüstriyel düzeyde yetiştirme için son derece uygundur.	Küçük alg hücreleri için kirlenme ve tıkanma sorunları. Esas olarak büyük alg hücreleri için uygundur. Filtre membranı düzenli aralıklarla temizlenmelidir.

2.6.1 Mikroalglerden Biyoetanol Üretimi

Son dönemde etanol yakıt katkısı ve yakıt alternatifi olarak önem arz etmektedir. Yakıt olarak biyoetanol; partikül emisyonları, CO₂, kükürt ve kurşun miktarını azaltmaktadır. Brezilya’da etanol yakıt olarak kullanılmaktadır. Buda karbon emisyonunu azaltarak toplam emisyonu %15 düşürmüştür (Elcik ve Çakmakçı, 2017). Biyoetanol

üretiminde bakteri fermantasyonunda besin kaynağı olarak mikroalg yapısında bulunan zengin karbonhidrat içeriği kullanılmaktadır.



İki adımda etanol üretimi gerçekleşir. İlk adımda iri yapıdaki karbonhidratlar ve hücre dışı matris enzimatik şekerleme ile nişasta yapımı için hidrolize uğrar. Sonra etanol elde etmek için *Saccharomyces Cerevisiae* gibi mayalar ilave edilir. Son adımda elde edilen etanol distilasyonla saflaştırılır (Elcik ve Çakmakçı, 2017)

Biyoetanol üretiminde yaygın olarak *C. vulgaris* ve *Chlorococcum sp.* nişasta içeriği yüksek mikroalgler kullanılır. Yapılan bir çalışmada *Littorale* mikroalg türü ile 30 ° C'lik fermantasyon sıcaklığında 450 µmol_{etanol}/gram_{alg} üretilmiştir (Elcik ve Çakmakçı, 2017). Yapılan başka bir biyoetanol üretim çalışmasında *Gracilaria sp.* mikroalg türü ile şekerlenme için ardışık asit ve enzim hidrolizi metodu kullanılmıştır. Sonuç olarak 1 g kuru *Gracilaria sp.* mikroalg türünden 0.236 g etanol elde edilmiştir (Elcik ve Çakmakçı, 2017). Biyoetanol üretimi için yapılan başka bir çalışmada asit ön işleminde süre, sıcaklık, mikroalg artması ve asit yoğunluğu gibi parametrelerinin etkileri araştırılmıştır. Bu araştırma sonucuna göre; 30 dakika reaksiyon süresince en yüksek biyoetanol yoğunluğu (7,20 g/L), 15 g/L mikroalg yoğunluğunda, 140 ° C'de, %1'lik sülfürik asit elde edilmiştir (Harun vd., 2011a). İstatistiksel verilere bakıldığında biyoetanol yapımını etkileyen en önemli parametre sıcaklıktır (Harun vd., 2011a). Biyoetanol üretimi için yapılan başka bir çalışmada *Saccharomyces Cerevisiae* mikroalg türü 40 ° C sıcaklıkta pH 4.5'de 48 saat boyunca fermantasyonu sonucunda %89 etanol üretilmiştir (Elcik ve Çakmakçı, 2017). *Saccharina japonica* türünden düşük yoğunluk (%0.06) sülfürik asit ön işlemi ile 6.65 g/L biyoetanol üretilmiştir. Bu çalışmalar sonucunda *Saccharina japonica* türü glukan muhtevası ve enzimatik sindirilebilirliğinin arttığı ortaya çıkmıştır (Elcik ve Çakmakçı, 2017). Biyoetanol üretimi için *Chlorococcum infusionum* türünden NaOH (sodyum hidroksit) kullanılarak bazik ön işlem gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmayla NaOH yoğunluğunun, sıcaklığın ve ön işlem zamanının biyoetanol yapım verimine etkileri araştırılmıştır. Araştırma sonucuna göre en yüksek biyoetanol yapımı (0.26

getanol/galg;) %0.75 (m/v) NaOH kullanılarak, 120⁰ C sıcaklık ve 30 dakika ön işlem sürecinde temin edilmiştir (Harun vd., 2011b).

2.7 *Scenedesmus* sp.

2.7.1 *Scenedesmus* sp.'nin Genel Özellikleri

Scenedesmus yeşil algler (Chlorophyta) grubunda yer alır. *Scenedesmus* ailesinin genel görüntüsü mekik şeklindedir. *Scenedesmus* mikroskop altında görülebilecek kadar küçük tek hücreli ve silindir biçiminde olan 2-4-6-8 veya 16 adet koloni kurabilen bir yeşil alg cinsidir. Bu koloniler çevre şartları altında parçalanarak tek hücreli olma eğilimindedir. Her hücrede bir kromatafor, bir çekirdek ve bir pirenoid bulunur. Ayrıca göz ve kamçısı yoktur. *Scenedesmus* ailesi çeşitli boyut ve şekillerdedir. *Scenedesmus* ailesinin bilinen 200 türü mevcuttur. Şekil 2.14'de *Scenedesmus*'un değişik türleri gösterilmiştir.



Şekil 2.17 *Scenedesmus*'un değişik türleri (Leghari, 2001)

1. *Scenedesmus*, 2. *S. acuminatus*, 3. *S. arcuatus* Lemm., 4. *S. armatus*, 5. *S. armatus* var., 6. *S. armatus*, 7. *S. bijugatus*, 8. *S. acuminatus*, 9. *S. bijugatus* f. *Irregularis*, 10. *S. bijugatus* var. *alternatifler*, 11. *S. denticulatus* var. *australis* 12. *S. incrassatulus*, 13. *S. obliquus*, 14. *S. opoliensis*, 15. *S. quadricauda*, 16. *S. platydiscus*, 17. *Sorastrum americanum*, 18. *Selenastrum westii*, 19. *S. acuminatus* var. *aküminatus*. 20. *S. baculiformis*, 21. *S. acutus*, 22. *S. denticulatus*, 23. *Tetrastrum staurogeniaeforme*, 24. *S. quadricauda*., 25. *Kirchneriella obesa*, 26. *Crucigenia tetra pedia*, 27. *S. Acutiformis*

Scenedesmus'un uygun koşullarda üremesi üç aşamada gerçekleşir; DNA eşleşmesi, çekirdek bölünmesi ve protoplast füzyonudur. Bunun sonucunda tek hücreli sekiz otospor oluşur. *Scenedesmus* türleri limnoloji (göl bilimi) çalışmalarının birçoğunda kullanılır. Bunun dışında teknoloji, su yönetimi ve sucul araştırmalarda standart organizma olarak kullanılır. *Scenedesmus* otoburlar (herbivor) için bir besin kaynağıdır. Biyokimyasal kompozisyon alg hücrelerinin belirlenmesinde önemli bir parametredir. Bu parametre algin pigment ve yağ kompozisyonuyla ilgilidir. Pigment; algal hücre fizyolojisi, lipit ve yağ asitleri; algal besin değerinin saptanmasında önemli bir görev üstlenir (Demirel, 2006).

Çizelge 2.5 *Scenedesmus sp*'nin taksonomisi (Demirel, 2006)

Şube	Yeşil alg
Sınıf	Klorofitler
Sıra	Tek hücreli yeşil alg
Aile	<i>Scenedesmaceae</i>
Cins	<i>Scenedesmus</i>
Tür	<i>Scenedesmus protuberans</i> Fris.

Scenedesmus türü hücre döngüsünü laboratuvar koşullarında 24 saatte gerçekleştirirken dış ortamda 48 saat ve üzerinde gerçekleştirir. *Scenedesmus*'un karbonhidrat içeriği %10-17 yağ içeriği %12-14 ve protein içeriği %50-56 aralığındadır (Elcik ve Çakmakçı, 2017).

Çizelge 2.6 Bazı mikroalg türlerinin yapısındaki bileşenlerin yüzdelik oranları (Amiri vd., 2024)

Bileşenler (%Kuru Ağırlık Olarak)			
Mikroalg	Protein	Karbonhidrat	Yağ
Anabaena cylindrica	56-43	30-25	7-4
Chlorella pyrenoidosa	57	26	2
Chlorella vulgaris	58-51	17-12	22-14

Çizelge 2.7 Bazı mikroalg türlerinin yapısındaki bileşenlerin yüzdelik oranları (Amiri vd., 2024) (devam)

Bileşenler (%Kuru Ağırlık Olarak)			
Mikroalg	Protein	Karbonhidrat	Yağ
Dunaliella salina	57	32	6
Scenedesmus obliquus	56–50	17–10	14–1
Spirogyra sp.	20–6	64–33	21–11
Sprulina platensis	63–46	14–8	9–4
Synechococcus sp.	63	15	11

2.8 Atıksu

Su kirliliği en kritik çevresel süreçlerden biridir. Sanayileşme, insan faaliyetleri, akan su, göller, göletler ve denizden çeşitli su kaynaklarına kadar çok fazla kirlilik yükü taşır. Bu kirlilik yükünün azaltılmasının ana kaynağı evsel, endüstriyel ve tarımsal atıksuların uygun şekilde arıtılarak boşaltılmasıdır. Bu kirlilik yükünün içinde yüksek konsantrasyonda doğal inorganik toksinler, yoğun mineraller, patojenler ve zehirler bulunur. Sucul yaşam için bitkiler ve hayvanları etkileyen kimyasallar beslenme döngüsünde insan sağlığını etkiler (Al-Badri, 2021). Evsel atıksularda bulunan kirlilikler; deterjanlar, diğer temizleyiciler, insektisitler ve kurşun gibi ağır metallerdir. Endüstriyel atıksularda bulunan kirlilikler; işletme üretimi sırasında doğaya verilen kimyasallar ve petrol yayılmasıdır. Tarımsal atıksularda bulunan kirleticiler; organik ve inorganik tarım ilaçları (DDT gibi pestisitler), suni gübrelerdir (Shelknanloymılan vd., 2012). Farklı süreçlerden (evsel, endüstriyel, tarımsal vb.) kaynaklı oluşan atıksuyun arıtılması su ekolojisini korumak ve toplumun sürdürülebilir su ihtiyacını karşılamak için patojenik türlerin yok edilmesi önemli bir adımdır.

Kirletici yükünün en aza indirilmesi ve atık suyun deşarj noktasına boşaltılması için geleneksel yöntemler uygulanır. Bu geleneksel yöntemler ile toksik kaynakları yok

etmek maliyetli ve etkisizdir. Ayrıca uzman yardımı ile ekstra güç kaynağına ihtiyaç duyulur. Geleneksel yöntemler aşırı kirletici maddelerle daha fazla mücadele edilmesini gerektiren büyük miktarda tortu üretir. Bilim insanları geleneksel atıksu arıtma tesislerinin bu sorunlarını göz önünde bulundurarak alternatif çözümler arayışı içindedirler. Arıtılmış atıksuyun kalitesini arttırmak için geleneksel atıksu arıtımında iyileştirmeler yapılmıştır. Bu iyileştirmelerin çoğu atıksu biyoremediasyonundaki (bir çevre kirleticisinin mikroorganizmalar yardımıyla uzaklaştırılması işlemidir) ikili rolleri ve biyoenerji üretiminde kullanılabilecek alglerden biyokütlenin toplanmasındaki ikili rolleri nedeniyle büyük maliyetli ve prosedürlerin bakımının zorluğu gibi dezavantajlara sahiptir.

Mikroalgler son dönemde ilaç, gıda, bitkisel gübre ve hayvan yemi yapımında kullanılıyor (Nale, 2021). Bunun dışında atıksuyun alg ıslahı, inorganik kirleticiler, koliform bakteriler, azot ve fosfor içeren ağır metallerin giderilmesi, BOİ ve KOİ ihtiyacının azaltılmasında kullanılır. Uygun maliyetli ve çevreye duyarlı birçok sürece katkı sağlamak için kullanılır (Al-Badri, 2021). Mikroalgler tek hücreli fotosentetik canlılardır. Evsel atıksu arıtımında *Phormidium sp.*, *Scenedesmus sp.*, *Klorella sp.*, *Spirulina sp.* ve *Chlamydomonas sp.*, gibi mikroalg türlerinin kullanılması atıksu arıtım verimliliğini arttırdığı saptanmıştır (Osundeko, 2014). Mikroalglerin atıksu arıtımındaki rolünü araştırmak için yapılan bir başka çalışmada; *Scenedesmus quadricauda* mikroalg türü sekiz günün sonunda fosfat giderimini %85-95 oranında, $\text{NH}_3\text{-N}$ giderimini %70-80 oranında, BOİ giderimini %70 oranında sağladığı gözlemlenmiştir. *Ankistrodesmus falcatus* mikroalg türü ise fosfat giderimini %80 oranında, $\text{NH}_3\text{-N}$ giderimini %60 oranında, BOİ giderimini %70 oranında sağlamıştır (Patil, 1991). Yapılan başka bir çalışmada *Chlorella vulgaris* mikroalg türünün biyosorpsiyon yöntemiyle atıksudan azot ve fosfor gideriminin yüksek olduğu gözlemlenmiştir (Shelknanloymılan, 2013). Mikroalgler, yüksek fotosentetik yetenekleri ve hızlı besin Emilimi nedeniyle genellikle biyoremediasyon sürecinde kullanılırlar. Mikroalgler endüstriyel ve laboratuvar ölçeğinde yetiştirilebilirler. Mikroalg yetiştiriciliği, evsel, endüstriyel ve tarımsal gibi atıksuların kirletici yükünü azaltmak için ortaya çıkan bir yöntemdir (Al-Badri, 2021). Su ortamında azot fosfor fazlalığı aşırı alg üremesine ve ötrofikasyona neden olur (Shelknanloymılan vd., 2012). Ötrofikasyon yağmur suyu, kaya aşınımı, göl tabanı toprak yapısı, orman yangını, bitki polenleri ve toprak kayması gibi doğal sebeplerle oluşan sürece denir.

Ötrotikasyon büyük su kütleleri için anaerobik ortam, tüketim ve kullanım açısından uygun olmayan su kaynakları, suda yaşamını sürdüren canlıların sayısında düşüş, istenmeyen türlerin artması, koku problemi vb. sağlık ve iklim için tehdit oluşturur.

Hayvan kaynaklı tarımsal atıklar yüksek miktarda N/P (azot/fosfor) içerir. Evsel atıksular; askıda katı madde (AKM), koloidal ve çözünmüş organik ve organik olmayan maddeler barındırır. Endüstriyel atıksuların özellikleri endüstriden endüstriye oldukça farklılık gösterir. Evsel atıksularda bulunanlara ek olarak ksenobiyotik maddeler içerir ve deşarj noktasına boşaltılmadan önce bir ön arıtmadan geçirilir. Bu sular çevre ve insan sağlığı için tehdit oluşturur. Bu yüzden bu sular deşarj noktasına akıtılmadan önce arıtılması dünya çapında yasal bir zorunluluktur (Osundeko, 2014).

Atıksu arıtım metotları; fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtım metotlarıdır. Fiziksel arıtım yöntemi; kirlilik faktörlerinin fiziksel niteliklerine (malzemenin boyutu, viskozitesi ve özgül ağırlığı) dayanarak uygulanan arıtım yöntemidir. Bu süreçte büyük ve katı malzemeler atıksudan uzaklaştırılır. Kimyasal arıtım yöntemi; kirlilik faktörü kimyasal niteliklerine dayanarak, dışarıdan kimyasal madde ilavesi yapılan arıtım yöntemidir. (Koagülasyon ve flokülasyon, iyon değıştirme, klorlama veya ozonlama vb.). Bu süreçte biyolojik arıtım, son çekeltme ve dezenfeksiyon yapılır. Biyolojik arıtım yöntemi; biyokimyasal reaksiyonlar neticesinde atıksudaki çözünmüş organik kirlleticilerin uzaklaştırılması yöntemidir. Bu süreçte azot ve fosfor giderimi yapılır. Evsel atıksuda azot ve fosfor miktarının artması, alg büyüme miktarını, besin giderimini ve yağ konsantrasyonunu doğrudan etkileyen önemli bir faktördür (Al-Badri, 2021).

Azot giderimi: Azot doğal döngüsü olan, bakterilerce yenilen ya da kimyasal yollarla farklı oksidasyon seviyelerinde bütün canlı hücrelerin yaşaması ve çoğalması için gereken bir gıda maddesidir (Samsunlu, 2013). Azot ve azotlu maddeler hava kirlenmesi ve su kirlenmesi gibi süreçlerin çoğunda bulunur. Evsel ve endüstriyel atıksularda çok miktarda azot salınımı yapılır. Dünya çapında en çok atıksularda azot elementi bulunur. Farklı atık sularda az miktarda biyolojik olarak parçalanabilir karbon kaynağı bulunur, su ortamlarını kötüleştiren ve azot döngüsünü bozan çevrede çok fazla azot kalır. Atık sudan azotun uzaklaştırılması için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Nitrifikasyon işlemi sırasında aerobik ototrofik mikroorganizmalar amonyumu nitrata dönüştürür. Daha sonra anoksik (moleküler veya çözünmüş oksijen), heterotrofik mikroorganizmalar nitratı moleküler nitrojene dönüştürür. Azotun atıksudan uzaklaştırılmasının temel amacı baskın

nitrojen haline gelen aktif çamur sistemini ortadan kaldırmaktır. Geleneksel biyolojik azot giderme teknolojilerindeki sınırlamalar; yüksek enerji tüketimi ve yüksek maliyetler, ikincil kontaminasyon ve yetersiz verimliliklerdir. Bu süreçler oksijensiz veya düşük oksijenli ortamlarda işlev görür. Böylece geleneksel prosedürlerde önemli bir enerji yoğun adımı havalandırılması gerekliliğini ortadan kaldırır. Ototrofik süreçler; çevre dostu, sürdürülebilir, daha az çamur ve ikincil kirlenme süreçlerine katkıda bulunur. Geleneksel tekniklere alternatif olarak ototrofik süreçler zor koşullarda verimli çalışmak için düşük karbon-azot oranları gibi, potansiyellerini güçlü olarak vurgular. Bu yüzden, biyolojik azot giderme sürecinde teknolojik gelişmeler gereklidir. Ototrofik nitrojenin uzaklaştırılması için, nitrit kısmi oksidasyonu gereklidir (Shoukat vd., 2024).

Fosfor giderimi: Evsel atıksular fosfor bileşikleri bakımından zengindir. Evsel atık sularında fosfor kaynakları; insan atığı (%50-65) ve sentetik deterjanlar (%30-50)'dir. Fosfor konsantrasyonu ise %10-30 mg/L aralığındadır (Kargı, 2013). Evsel atıksuların deterjan kaynaklı fosfor içeriği yaklaşık %60 civarındadır (Dursun ve Oktaç, 2005). Sentetik deterjanların katkı maddesi %12-13 fosfordur. Bu da yüzey sularına karışan fosfor miktarını önemli ölçüde etkiler (Yalçın ve Gürü, 2002). Son zamanlarda yapılan çalışmalar fosfor oranının düşürülmesi yönündedir. Sanayileşmenin gelişmesiyle birlikte evsel ve endüstriyel atıksularda fosfor oranı giderek artmaktadır. Suda fazla miktarda bulunan fosfat ötrofikasyona neden olmakta, su ekolojisini ve insan sağlığını olumsuz etkilemektedir (Cao vd., 2023). Atıksularda bulunan fosfat deşarj noktasına verilmeden önce sudan uzaklaştırılması gerekir. Son yıllarda fosfatın atıksudan uzaklaştırılması için çeşitli yöntemler geliştirildi. Bunlar; fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemlerdir. Hem kimyasal hem de biyolojik yöntemler çevresel etkilere karşı oldukça hassastır. Hatta ikincil kirliliğe neden olurlar. Esas olarak düşük fosfat konsantrasyonuna sahip atık suların arıtımında kullanılırlar. Adsorpsiyon yaygın olarak endüstriyel atık sulardan fosfatın uzaklaştırılması için kullanılan fiziksel arıtım yöntemidir. Genellikle fosfat adsorpsiyonu için gözenekli ve yüksek özgül yüzey alanına sahip absorbanlar kullanılır. Bu yöntemin avantajları; basit, kararlı, yüksek adsorpsiyon kapasitesi, kolay kullanım ve ikincil kirlilik olmamasıdır (Cao vd., 2023). Fiziksel arıtım yöntemleri; ultrafiltrasyon, ters ozmos ve iyon değiştirme sistemleri kullanılmaktadır. Fiziksel arıtım yöntemlerinin en belirgin dezavantajı ilk yatırım maliyetinin yüksek olmasıdır (Dursun ve Oktaç, 2005). Evsel atıksu arıtımındaki asıl amaç azot fosfor giderimi ve organik madde miktarının

azaltılmasıdır. Endüstriyel atıksu arıtımındaki asıl amaç organik ve inorganik bileşiklerin uzaklaştırılması veya konsantrasyonun azaltılmasıdır (Shelknanloymılan vd., 2012).

Mikroalg kullanımı ile atıksu arıtımı, algler besin açısından zengin atıklarda çok iyi büyüdüğü için ticari gübrelerle olan ihtiyacı azaltır (Al-Badri, 2021).

Son yıllarda biyoyakıt üretmek için mikroalg kültürünün yetiştirildiği çalışmalarda mikroalg besin ortamı olarak arıtılan, yapay olarak hazırlanan, ön işleme tabi tutulan, kısmen arıtılmış ya da ham atık sular kullanılır. Yapılan bu çalışmada da sentetik mandıra atık suyu kullanılmıştır.

Literatürde yapılan bir çalışmada *Chlorella pyrenoidosa* mikroalg türü kullanılarak süt atık suyu arıtımı ve biyoyakıt üretim potansiyeli incelenmiştir. Mevcut çalışmada *C. pyrenoidosa*'nın süt atık suyundan yaklaşık %80-85 fosfor ve %60-80 azot giderdiği bulunmuştur. Benzer şekilde, süt atık suyunu arıtmak için mikroalg türlerinin kullanılması, biyodizel üretimi için kullanılabilen yağ/yağlar üreten mikroalglerin büyümesini sürdürme yeteneğine de sahip olduğu saptanmıştır (Kothari vd., 2012).

Literatürde yapılan bir çalışmada *Acutodesmus dimorphus* mikroalg türü süt atık suyunda (herhangi bir ön işlem yapılmadan) yetiştirilmiştir. Süt atıksuyunda biyokütle üretimi kontrole göre 5-6 kat artmıştır. Bu biyokütle yaklaşık %25 lipit ve %30 karbonhidrat içerir ve bunlar sırasıyla biyodizele ve biyoetanole dönüştürülebileceği saptanmıştır. 1 kg *Acutodesmus dimorphus* biyokütlesinin yaklaşık 195 g biyodizel ve 78 g biyoetanol, yani 273 g biyoyakıt üretebileceğini göstermiştir (Chokshi vd., 2016).

Literatürde yapılan bir çalışmada üç mikroalg türü *Chlorella* sp., *Scenedesmus* sp. ve *Chlorella zofingiensis* biyoyakıt üretimi için çiğ süt atık suyunu (ÇS) (mandıra atık suyu) mavi-yeşil ortamla (BG11 ortamı) karşılaştırmasıyla ilgilidir. Üç mikroalg suşu (*Chlorella* sp., *Scenedesmus* sp. ve *Chlorella zofingiensis*) iki ortamla ayrı ayrı tübüler kabarcık kolonlu fotobiyoreaktörlerde kültüre alınmıştır. 8 günlük kültürden sonra ÇS'nin, BG11 ortamından daha uygun bir mikroalg biyokütlesi ve lipit üretimi ortamı olduğu gösterilmiştir. Atık suda üretilen biyokütle ve lipit, anaerobik sindirim ve biyodizel dönüşümü için uygun hammaddeler sağladı saptanmıştır. Bu işlem sırasında atık sudaki besin maddeleri toplam azot giderimi > %90, amonyak giderimi yaklaşık %100 ve toplam fosfor giderimi > %85 olacak şekilde hesaplanmıştır (Shu vd., 2018).

Literatürde yapılan bir çalışmada *Chlorella* sp. mikroalg türünün T4, atık su arıtımının farklı aşamalarında toplanan kümes hayvanı ve süt ürünleri atık sularında

yetiştirilerek büyüme, fizyolojik tepki, besin giderim etkinliği ve biyokimyasal bileşimi incelenmiştir. Suşlar, süt ve kümes hayvanı atıksularında sırasıyla %85-95 ve %35-93 aralığında yüksek azot ve fosfor giderim verimliliğiyle sonuçlanan fikoremediasyon potansiyeli göstermiştir. Biyokütle, atıksu tipinden bağımsız olarak önemli miktarda lipid (%16.2-25.7 Kuru ağırlık), karbonhidrat (%20.7-33.1 Kuru ağırlık) ve protein (%24.5-34.6 Kuru ağırlık) içeryormuş. Bu çalışmanın sonuçları *Chlorella* sp. T4'ün süt ve kümes hayvanı atıksu arıtımında biyoyakıt üretiminde kullanılmak üzere önemli miktarda lipid, protein ve karbonhidrat birikimine sahip potansiyel bir aday olduğunu ortaya koymuştur (Gumbi vd., 2021).

Literatürde yapılan bir çalışmada iki mikroalg türü *Scenedesmus obliquus* ve *Chlorella vulgaris* biyokütle üretmek için aktif çamur sistemleri ile arıtılan sentetik mandıra atık suyunda yetiştirilmiş. Atık suyun önemli ölçüde biyoremediasyonu, BOİ₅ ve KOİ için %81, %77.6'ya ve NH₄ için %100'e varan değerlerle arıtım gerçekleşmiş. 1 kg *Scenedesmus obliquus* 'tan 306 g biyoyakıt üretilmiştir. 1 kg *Chlorella vulgaris*'ten 276 g biyoyakıt üretilmiştir (Mendonça vd., 2022).

Literatürde yapılan bir çalışmada üç mikroalg türü *Scenedesmus javanensis*, *Halochlorella rubescens* ve *Chlorolobion braunii* mandıra atık suyunda yetiştirilmiş. Biyodizel elde edilme verimlilikleri incelenmiştir. Üç mikroalg türü de biyokimyasal oksijen talebini (BOİ), kimyasal oksijen talebini (KOİ) önemli ölçüde azaltmıştır ve toplam çözünmüş katıları (TÇK) %80-100 uzaklaştırmanın yanı sıra besinlerin tamamen uzaklaştırılmasını sağlamıştır. On günlük büyümeden sonra bu alglerden elde edilen lipidlerin biyodizel özellikleri çeşitli di lüsyonlar ve %100 DWW. *Chlorolobion braunii*, 100'de 149.32 mg L⁻¹ d⁻¹ ile en yüksek biyokütle verimliliğini göstermiştir. *Chlorolobion braunii* ve *Scenedesmus javanensis*'ten gelen lipidler, biyodizel üretimi için uygundu ve potansiyellerini vurgulanmıştır (Joseph ve Ray, 2024).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

3.1.1 Mikroalg Suşu

Bu çalışmada *Scenedesmus sp.* suşu kullanılmıştır ve Van YYÜ Çevre Mühendisliği Çevre Mikrobiyolojisinden temin edilmiştir.

3.1.2 Kültür Ortamı

Mikroalglerin yetiştirilmesinde TAP Medium (Tris-Acetate-Phosphate Medium) besi ortamı kullanılmıştır. Bu besi ortamı farklı mikro ve makro besinler içerir ve *Scenedesmus sp.* gibi bazı yeşil algleri yetiştirmek için uygundur. Çizelge 3.1 'de besi yeri ortamının içeriği gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 Tris acetate phosphate (TAP) besi yerinin kompozisyonu (Lin vd., 2021)

Bileşen	Konsantrasyon (mg/L)
NH_4Cl^-	375
K_2HPO_4	288
KH_2PO_4	144
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	100
$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	50
$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	5
$\text{Na}_2\text{EDTA} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	50
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	22
$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	5
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	1,6
$\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	1,6
H_3BO_3	11
$(\text{NH}_4)_6\text{MoO}_3$	1,1
Tris tuzu	2420

Besi ortamı, pudra halindeki 2.42 g besi maddesini, 1 L distile suda çözerek hazırlanmıştır. Bu çözeltiye sırasıyla 25 mL TAP-salts, 1 L Phosphate solution, 1 mL Trace elements solution ve 1 mL CH₃COOH eklendi. (Sırasıyla eklenen stokların çözünmesi sağlandıktan sonra bir diğeri eklenmiştir.) Tüm eser elementler ayrı ayrı eklenip pH değeri sürekli kontrol edildi. (pH değeri artmamalı aksi halde MnSO₄ çökebilir.) pH 6.5'e ayarlanmıştır. Çözelti 4°C'de bekletildi; renk mora döndü. Hazırlanan besi ortamının sterilizasyonu, 121°C'de 1.5 atm basınç altında 20 dakika süresince otoklavlanarak gerçekleştirilmiştir. Çizelge 3.2'de TAP sıvı besi yerinin kimyasal içeriği gösterilmiştir.

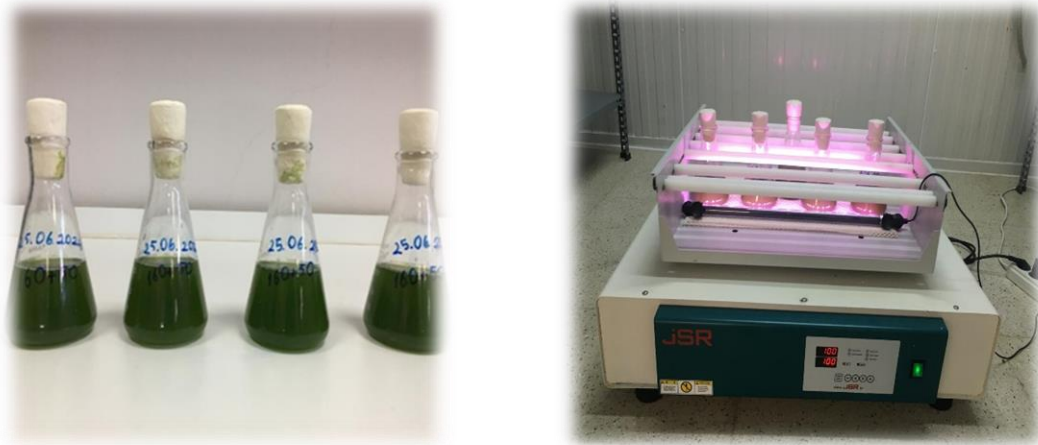
Çizelge 3.2 TAP sıvı besi yerinin kimyasal içeriği

Stok çözelti	Hacim	Bileşen	Son ortamda konsantrasyon
Tris tabanı	2.42 g	H ₂ NC(CH ₂ OH) ₃ Tris(hydroxymethyl)- aminomethan	
TAP- tuzları	25 mL	NH ₄ Cl	15 g L ⁻¹
		MgSO ₄ * 7H ₂ O	4 g L ⁻¹
		CaCl ₂ * 2 H ₂ O	2 g L ⁻¹
Fosfat çözeltisi	1ml	K ₂ HPO ₄ KH ₂ PO ₄	28.8 g 100 mL ⁻¹ 14.4 g*100 mL ⁻¹
İz elementler	1ml	Na ₂ EDTA * 2 H ₂ O (Titriplex III)	5.00 g*100 mL ⁻¹ 2.20 g*100 mL ⁻¹
		ZnSO ₄ * 7 H ₂ O	1.14 g*100 mL ⁻¹ 0.50 g*100 mL ⁻¹
		H ₃ BO ₃	0.50 g*100 mL ⁻¹
		MnCl ₂ * 4 H ₂ O	0.16 g*100 mL ⁻¹
		FeSO ₄ * 7 H ₂ O	0.16 g*100 mL ⁻¹
		CoCl ₂ * 6 H ₂ O	0.11 g*100 mL ⁻¹
		CuSO ₄ * 5 H ₂ O	
		(NH ₄) ₆ MoO ₃	
Asetik asit	1ml	CH ₃ COOH	

3.2 Yöntem

3.2.1 *Scenedesmus sp.*'nin Büyümesi

TAP Medium içeren steril besi ortamı 4 adet steril erlenmayere, her birinde 50 ml besi yeri olacak şekilde uygulanmıştır. Mikroalgler, kültürün OY 680'i 0.1 olacak şekilde besi yerine eklenmiştir. Vöstch marka bitki yetiştirme kabini kullanılarak erlenler dış üniteli çalkalayıcıda (N-Biotek) 100 rpm hızda, sıcaklık 25 ° C, nem oranı %65 ve ışık şiddeti 60 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ yetiştirilmiştir. Polietilen, polipropilen ve PVC yüksek büyüme göstermediği için çalışmaya *Scenedesmus sp.*'nin şişelerde yetiştirilmesi ile devam edilmiş ve Şekil 3.1' de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 *Scenedesmus sp.*'nin şişelerde yetiştirilmesi

3.2.2 Atıksuların Hazırlanması

Bu çalışmada sentetik mandıra atıksuyu (SMA) kullanıldı. Bu atıksu birkaç değişikliğe uğratarak hazırlanmıştır (Vidal vd., 2000; Gatamaneni vd., 2021). SMA %10 seyreltilerek kullanılmıştır. Ekimler %1.75 seyreltilmiş ortamda yapıldı. Amonyum klorür (NH_4Cl) 375-2800 mg/l, mono potasyum fosfat (KH_2PO_4) 288-2000 mg/l, magnezyum sülfat heptahidrat ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 100 mg/l, kalsiyum klorür ($\text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) 50-76 mg/l, sodyum bi karbonat amonyum (NaHCO_3) 4000 mg/l olmuştur. Dolayısıyla

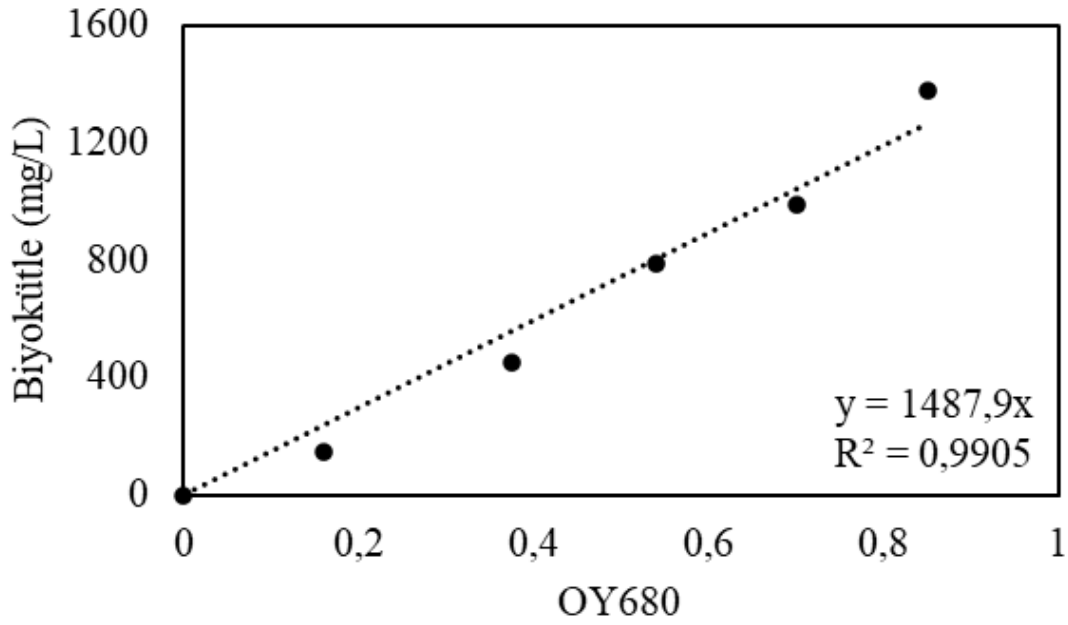
besi ortamlarındaki N miktarı %75.03610406 ve P miktarı ise %46.9908278 oldu. Çizelge 3.3'te SMA kompozisyonun %10 seyreltilmiş hali gösterilmiştir.

Çizelge 3.3 Modifiye edilmiş sentetik mandıra atıksuyunun (SMA) kompozisyonu (Vidal vd., 2000; Gatamaneni vd., 2021)

Bileşen	Konsantrasyon (mg/L)
NH ₄ Cl	2800
KH ₂ PO ₄	2000
MgSO ₄ .7H ₂ O	100
CaCl ₂ .H ₂ O	76
NaHCO ₃	4000
Süt tozu	2000

3.2.3 Optik Yoğunluk Ölçümleri

Scenedesmus sp. TAP Medium besiyeri ortamında büyütüldükten sonra numunelerin optik yoğunlukları spektrofotometrik olarak sabit fazda 680 nm'de ölçüldü. *Scenedesmus sp.*'nin ekimi durağan faza ulaştığında işlem sonlandırıldı. Ölçülen optik yoğunluk değerleri ve biyokütle konsantrasyonları arasındaki ilişki Şekil 3.2'de gösterilmiştir. ($R^2=0.9905$)



Şekil 3.2 Biyokütle ve optik yoğunluk kalibrasyon eğrisi

3.2.4 *Scenedesmus sp.*'nin Biyokütle Konsantrasyonu

Scenedesmus sp.'nin numuneleri 3000 g'de 10 dakika boyunca santrifüjlendi. Daha sonra numuneler üç kez distile (saf su) su ile yıkandı ve filtre kâğıdı (1.2 µm GF/C; 47 mm) kullanılarak süzüldü. Daha sonra filtrelenen numuneler 105 °C'de gece boyunca kurutuldu. Kurutulan numuneler gravimetrik olarak terazi ile tartılmıştır. Analitik deneyler için numuneler -20 °C'de tutuldu. Biyokütle konsantrasyonu aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

$$x = \frac{Mm - Mf * 1000}{Vnum} \quad (3.1)$$

Burada, X; biyokütle konsantrasyonu (mg/L), Mm; mikroalg süzülen filtre kâğıdının ağırlığı (g), Mf; filtre kâğıdının ağırlığı (g), Vnum; numune hacmini (mL) ifade etmektedir.

Çalışmada biyokütle üretkenliği (P), özgül üreme katsayısı (µ) ve ikiye katlama süresi (td) logaritmik üreme fazındaki biyokütle değerleri ile aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanmıştır.

$$P = \frac{X_t - X_0}{t - t_0} \quad (3.2)$$

$$\frac{Dx}{dt} = \mu \cdot X \quad (3.3)$$

$$\mu = \frac{\ln(X_0 - X_t)}{t - t_0} \quad (3.4)$$

$$td = \frac{\ln(2)}{\mu} \quad (3.5)$$

Burada; P, biyokütle üretkenliği (mg/L·gün), μ ; özgül üreme katsayısı (gün⁻¹), t_d ; ikiye katlama süresi (gün), X_t ; t anındaki mikroalg konsantrasyonu (mg/L), X_0 ; başlangıçtaki mikroalg konsantrasyonunu (mg/L) ifade etmektedir.

3.2.5 *Scenedesmus sp.*'nin Hidrolizi

Bu çalışmada *Scenedesmus sp.* kimyasal hidroliz yoluyla hidrolize edildi. Numuneler 1 M HCl ile karıştırıldı. *Scenedesmus sp.* örneği 121 ° C'de 20 dakika otoklavlandı. Daha sonra soğutuldu ve numuneler 3500 g'de 15 dakika santrifüj edildi. Süpernatant numuneleri karbonhidrat konsantrasyonlarının hesaplanmasında kullanıldı (Onay, 2019).

3.2.6 Karbonhidrat Konsantrasyonunun Hesaplanması

Karbonhidrat konsantrasyonları antron yöntemiyle gerçekleştirildi (Zhao vd., 2013). Standart olarak glikoz kullanıldı. Karbonhidrat 620 nm'de spektrofotometrik olarak ölçüldü.

3.2.7 *Scenedesmus sp.*'nin Fermantasyonu

Ekmek mayası *Saccharomyces cerevisiae* ve *Clostridium acetobutylicum* kullanılmış ve daha iyi verim veren *Saccharomyces cerevisiae* *Scenedesmus sp.*'nin fermantasyonu için kullanılmıştır. Fermantasyon kültürü Harun'a göre hazırlanmıştır (Harun vd., 2010; Harun vd., 2011a). Mikroalg örnekleri ile fermantasyon 35 °C'de 140 rpm'de 48 saat anaerobik olarak incelenmiştir.

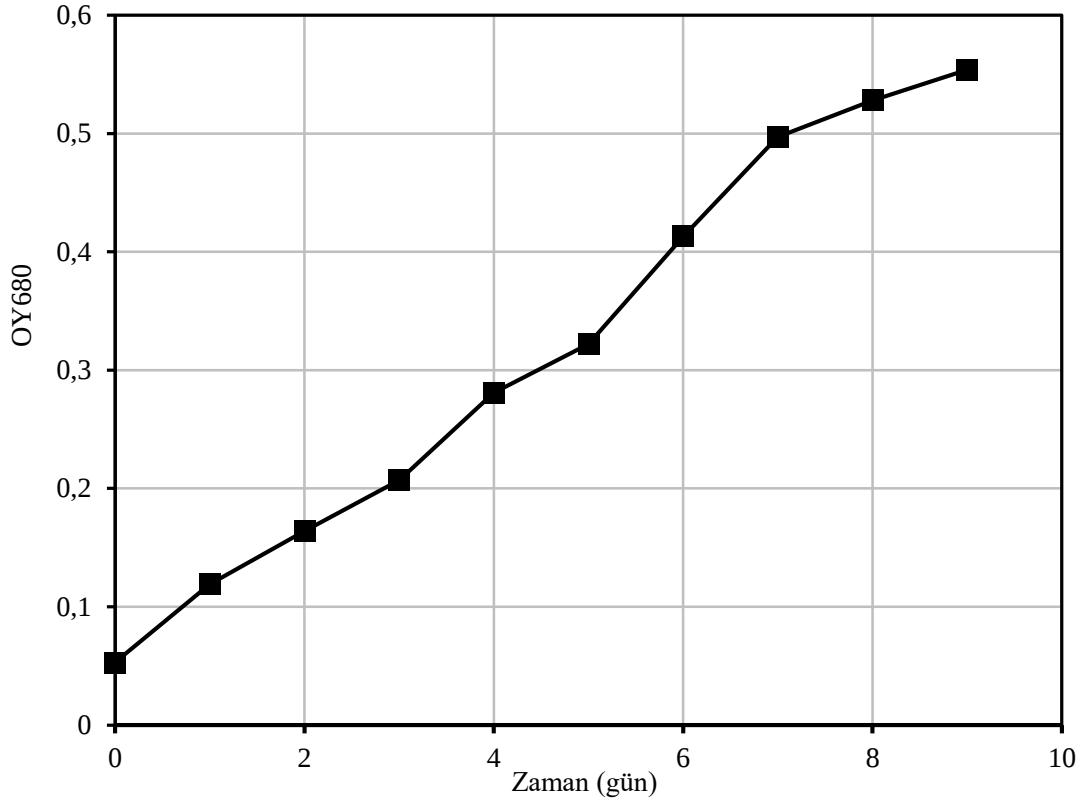
3.2.8 *Scenedesmus sp.*'den Biyoetanol Üretimi

Biyoetanol konsantrasyonları Bonnichsen ve Theorell'e göre modifikasyonlarla ölçüldü (Bonnichsen ve Theorell, 1951). Mikroalglerdeki biyoetanol konsantrasyonu, spektrofotometrik olarak 340 nm'de NAD⁺'nın etanole bağlanması indirgenmesi olarak belirlendi (Rizza vd., 2017).

4. BULGULAR

4.1 Optik Yoğunluk Analizi

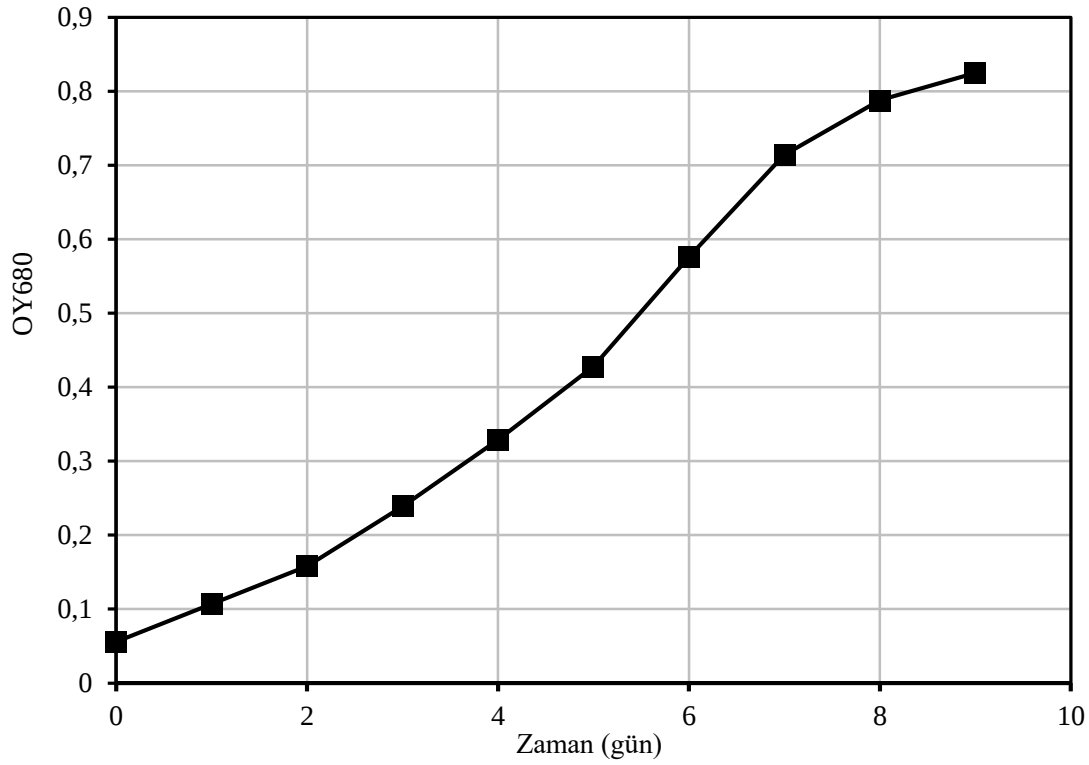
Şekil 4.1’de 1.5 mg/L başlangıç PO₄-P konsantrasyonunda yetiştirilen *Scenedesmus sp.* mikroalg türünün zamana göre optik yoğunluk değişimine yer verilmiştir. Başlangıçta optik yoğunluk değeri 0.053 iken 9. günün sonunda bu değer 0.554’e ulaşmıştır. 9. Günün sonunda hasatlama aşamasında mikroalg konsantrasyonu ise 824 mg/L olarak ölçülmüştür. Şekilde de görüldüğü gibi 7. Günden sonra büyüme hızının azaldığı ve durgun faza geçildi gözlemlenmiştir.



Şekil 4.1 1.5 mg/L PO₄-P başlangıç konsantrasyonunda zamana karşı optik yoğunluğun değişimi

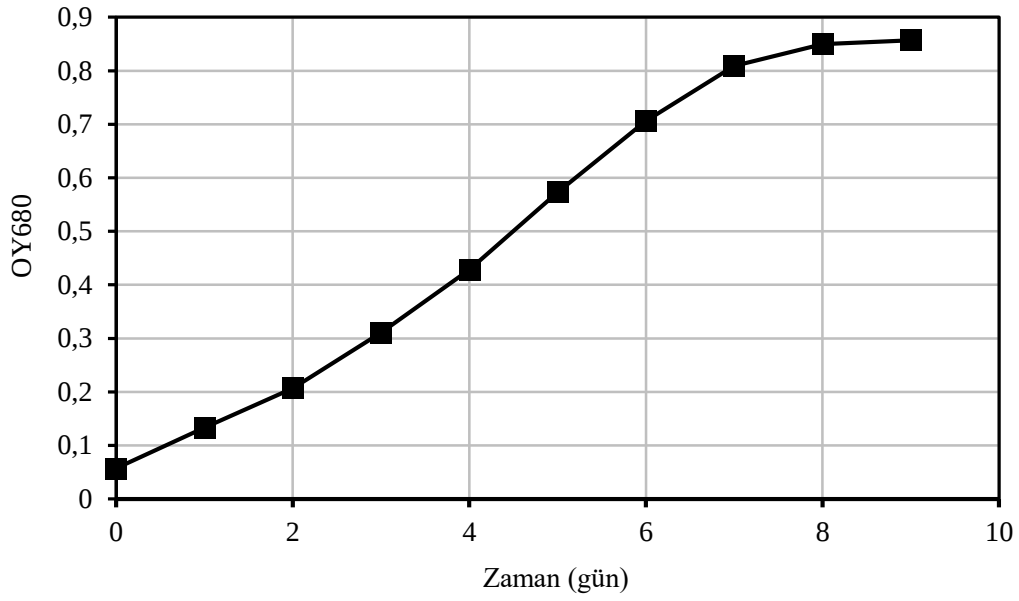
Şekil 4.2’de 3 mg/L başlangıç PO₄-P konsantrasyonunda yetiştirilen *Scenedesmus sp.* mikroalg türünün zamana göre optik yoğunluk değişimine yer verilmiştir. Başlangıçta

optik yoğunluk değeri 0.056 iken 9. günün sonunda bu değer 0.825'e ulaşmıştır. 9. günün sonunda hasatlama aşamasında mikroalg konsantrasyonu ise 1227 mg/L olarak ölçülmüştür. Şekilde de görüldüğü gibi 7. Günden sonra büyüme hızının azaldığı ve durgun faza geçildi gözlemlenmiştir.



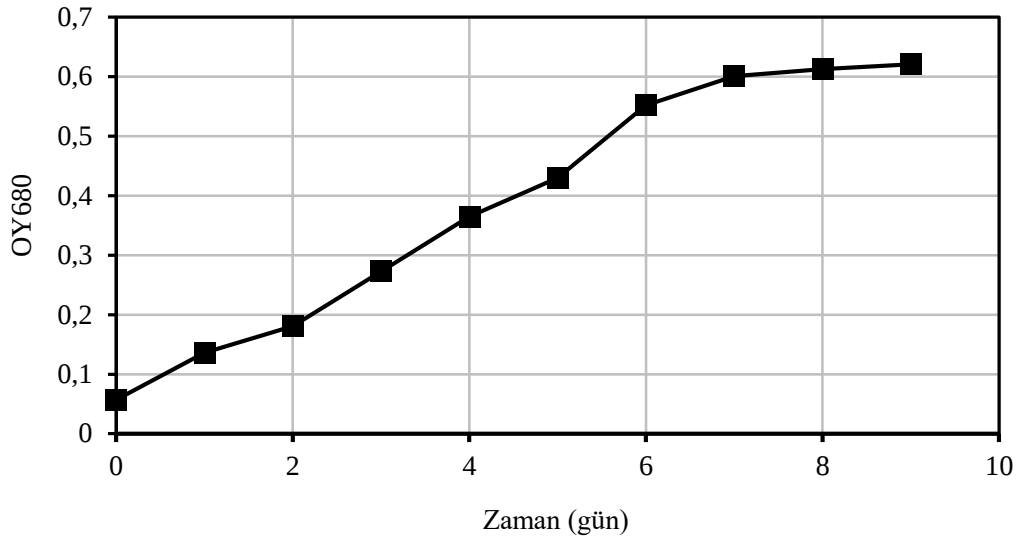
Şekil 4.2 3 mg/L PO₄-P başlangıç konsantrasyonunda zamana karşı optik yoğunluğun değişimi

Şekil 4.3'te 7.5 mg/L başlangıç PO₄-P konsantrasyonunda yetiştirilen *Scenedesmus sp.* mikroalg türünün zamana göre optik yoğunluk değişimine yer verilmiştir. Başlangıçta optik yoğunluk değeri 0.057 iken 9. günün sonunda bu değer 0.857'e ulaşmıştır. 9. günün sonunda hasatlama aşamasında mikroalg konsantrasyonu ise 1275 mg/L olarak ölçülmüştür. Şekilde de görüldüğü gibi 7. Günden sonra büyüme hızının azaldığı ve durgun faza geçildi gözlemlenmiştir.



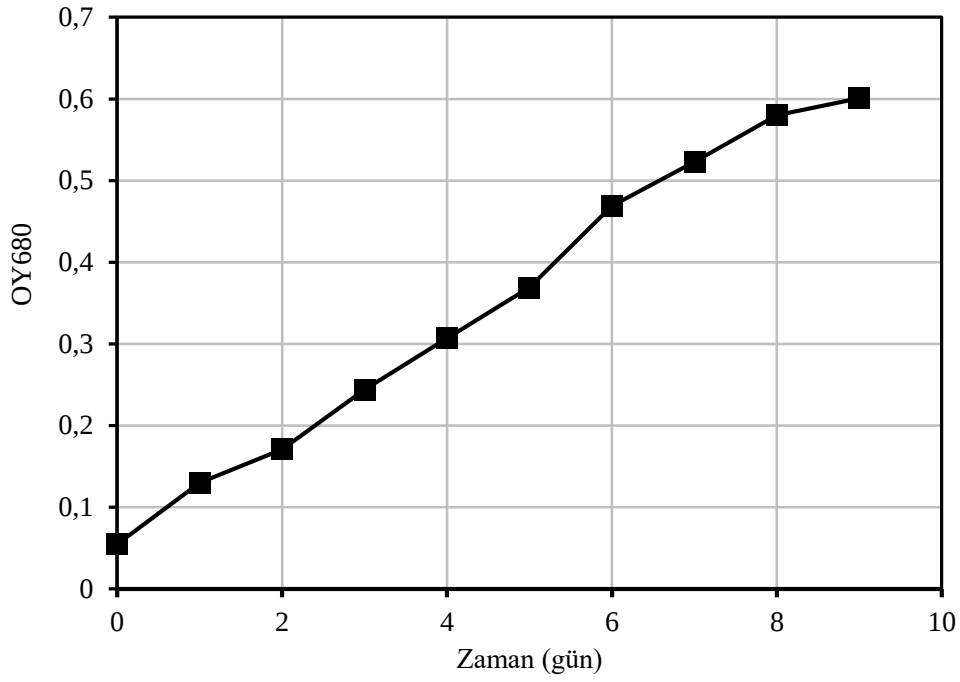
Şekil 4.3 7.5 mg/L PO₄-P başlangıç konsantrasyonunda zamana karşı optik yoğunluğun değişimi

Şekil 4.4'te 15 mg/L başlangıç PO₄-P konsantrasyonunda yetiştirilen *Scenedesmus sp.* mikroalg türünün zamana göre optik yoğunluk değişimine yer verilmiştir. Başlangıçta optik yoğunluk değeri 0.057 iken 9. günün sonunda bu değer 0.621'e ulaşmıştır. 9. günün sonunda hasatlama aşamasında mikroalg konsantrasyonu ise 923 mg/L olarak ölçülmüştür. Şekilde de görüldüğü gibi 7. Günden sonra büyüme hızının azaldığı ve durgun faza geçildi gözlemlenmiştir.



Şekil 4.4 15 mg/L PO4-P başlangıç konsantrasyonunda zamana karşı optik yoğunluğun değişimi

Şekil 4.5'te 30 mg/L başlangıç PO4-P konsantrasyonunda yetiştirilen *Scenedesmus sp.* mikroalg türünün zamana göre optik yoğunluk değişimine yer verilmiştir. Başlangıçta optik yoğunluk değeri 0.055 iken 9. günün sonunda bu değer 0.601'e ulaşmıştır. 9. günün sonunda hasatlama aşamasında mikroalg konsantrasyonu ise 894 mg/L olarak ölçülmüştür. Şekilde de görüldüğü gibi 7. Günden sonra büyüme hızının azaldığı ve durgun faza geçildi gözlemlenmiştir.



Şekil 4.5 30 mg/L PO₄-P başlangıç konsantrasyonunda zamana karşı optik yoğunluğun değişimi

4.2 Mikroalglerin Özgül Üreme Hızları, İkiye Katlanma Süreleri ve Biyokütle Üretim Hızları Analizi

Çizelge 4.1’de farklı başlangıç PO₄-P konsantrasyonlarında yetiştirilen mikroalglerin özgül üreme hızları, ikiye katlanma süreleri ve biyokütle üretim hızları gösterilmektedir. En yüksek özgül büyüme hızı, 7.5 mg/L başlangıç PO₄-P konsantrasyonunda 0.53 1/gün olarak elde edilmiştir. En düşük özgül büyüme hızı 1.5 mg/L başlangıç PO₄-P konsantrasyonunda 0.30 1/gün olarak elde edilmiştir.

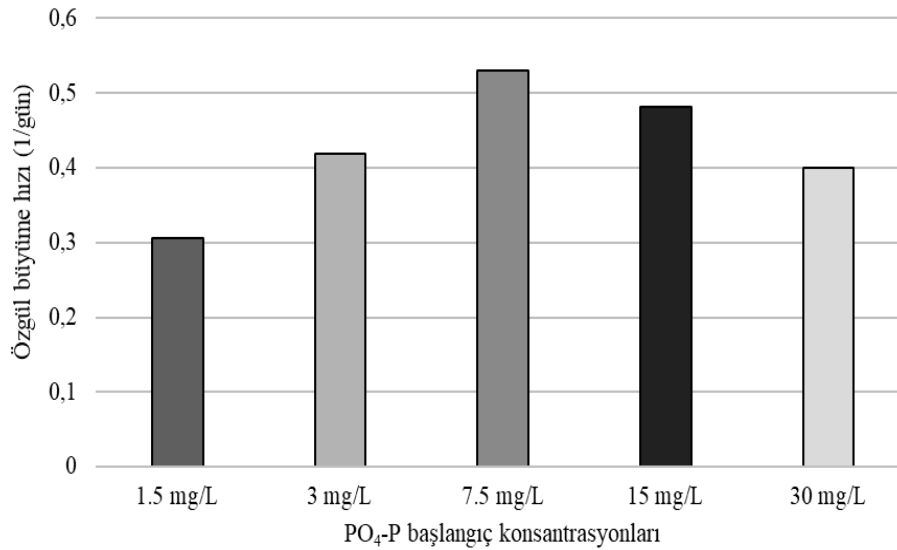
İkiye katlanma süresi, sırasıyla, 7.5 mg/L; 15 mg/L; 3 mg/L; 30 mg/L ve 1.5 mg/L başlangıç PO₄-P konsantrasyonlarında 1.30 gün; 1.43 gün; 1.65 gün; 1.73 gün; 2.26 gün olarak hesaplanmıştır.

Biyokütle üretim hızı sırasıyla 1.5 mg/L; 30 mg/L; 15 mg/L; 3 mg/L; 7 mg/L başlangıç PO₄-P konsantrasyonlarında 82 mg/L gün; 90 mg/L gün; 93 mg/L gün; 127 mg/L gün; 132 mg/L gün olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.1 Farklı başlangıç PO₄-P konsantrasyonlarında yetiştirilen mikroalglerin özgül büyüme hızları, ikiye katlanma süreleri ve biyokütle üretim hızları

	Başlangıç PO ₄ -P konsantrasyonu				
	1.5 mg/L	3 mg/L	7.5 mg/L	15 mg/L	30 mg/L
μ (1/gün)	0.30661	0.419237	0.530377	0.481443	0.399774
td (gün)	2.260683	1.653356	1.306895	1.439728	1.733847
P (mg/L/gün)	82.82643	127.1328	132.2578	93.24173	90.26593

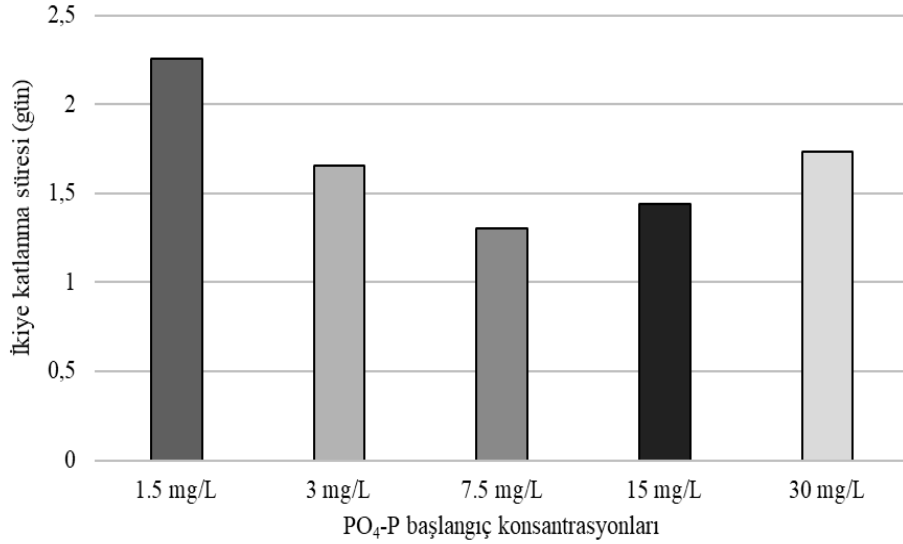
Şekil 4.6’da farklı başlangıç PO₄-P konsantrasyonlarında yetiştirilen mikroalglerin özgül büyüme hızları, gösterilmektedir. En yüksek özgül büyüme hızı, 7.5 mg/L başlangıç PO₄-P konsantrasyonunda 0.53 1/gün olarak elde edilmiştir. En düşük özgül büyüme hızı 1.5 mg/L başlangıç PO₄-P konsantrasyonunda 0.30 1/gün olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.6 farklı PO₄-P başlangıç konsantrasyonlarındaki özgül büyüme hızları

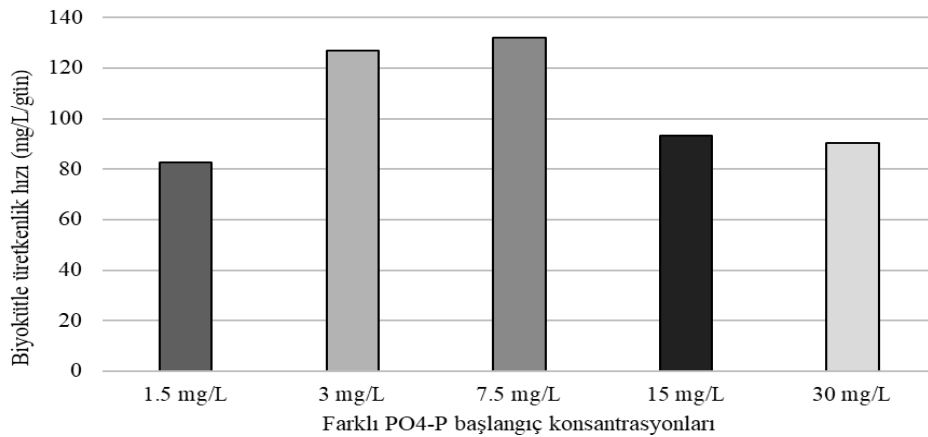
Şekil 4.7’de farklı başlangıç PO₄-P konsantrasyonlarında yetiştirilen mikroalglerin ikiye katlanma süreleri gösterilmektedir. En yüksek ikiye katlanma süresi 1.5 mg/L başlangıç PO₄-P konsantrasyonlarında 2.26 gün olarak hesaplanmıştır. En düşük

ikiye katlanma süresi 7.5 mg/L başlangıç PO₄-P konsantrasyonlarında 1.30 gün olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.7 farklı PO₄-P başlangıç konsantrasyonlarındaki ikiye katlanma süreleri

Şekil 4.8’de farklı başlangıç PO₄-P konsantrasyonlarında yetiştirilen mikroalglerin biyokütle üretkenlik hızları gösterilmektedir. En yüksek biyokütle üretim hızı 7.5 mg/L başlangıç PO₄-P konsantrasyonlarında 132 mg/L gün olarak hesaplanmıştır. En düşük biyokütle üretim hızı 1.5 mg/L başlangıç PO₄-P konsantrasyonlarında 82 mg/L gün olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.8 farklı PO₄-P başlangıç konsantrasyonlarındaki biyokütle üretkenlik hızları

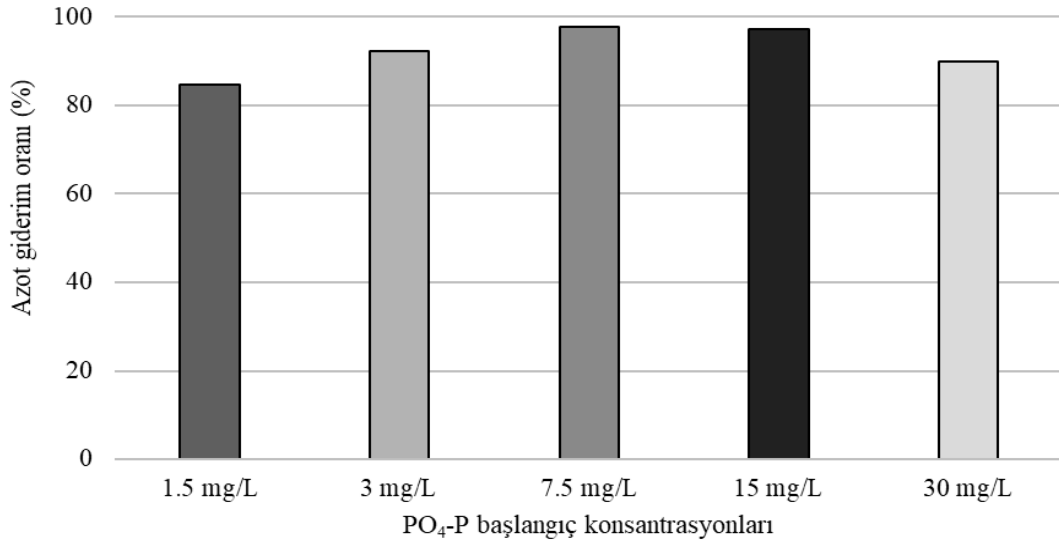
4.3 Azot Analizi

Çizelge 4.2’de farklı başlangıç $\text{PO}_4\text{-P}$ konsantrasyonlarında azot giderimi gösterilmiştir. Azot giderimi sırasıyla 1.5 mg/L; 30 mg/L; 3 mg/L; 15 mg/L; 7.5 mg/L başlangıç $\text{PO}_4\text{-P}$ konsantrasyonlarında 11.41; 7.64; 5.84; 2.12; 1.78 olarak hesaplanmıştır. En yüksek azot giderimi 7.5 mg/l başlangıç $\text{PO}_4\text{-P}$ konsantrasyonunda %97 olarak hesaplanmıştır. En düşük azot giderimi ise 1.5 mg/L başlangıç $\text{PO}_4\text{-P}$ konsantrasyonunda %84 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.2 farklı başlangıç $\text{PO}_4\text{-P}$ konsantrasyonlarındaki azot giderimi

Başlangıç $\text{PO}_4\text{-P}$ konsantrasyonu					
$\text{PO}_4\text{-P}$	1.5 mg/L	3 mg/L	7.5 mg/L	15 mg/L	30 mg/L
Başlangıç N	75.0361	75.0361	75.0361	75.0361	75.0361
Final N	11.41	5.84	1.78	2.12	7.64
Giderim oranı (%)	84.79399	92.21708	97.62781	97.17469	89.81823

Şekil 4.9’da farklı $\text{PO}_4\text{-P}$ başlangıç konsantrasyonlarındaki azot giderimi gösterilmiştir. Azot giderimi $\text{PO}_4\text{-P}$ başlangıç konsantrasyonlarında farklı değerlerde ölçülmüştür. Başlangıçta azot 75.03 iken 1.5 mg/L $\text{PO}_4\text{-P}$ eklendikten sonra bu değer 11.41’ e düşmüştür. Burada %84 oranında giderim olduğu hesaplanmıştır. Aynı işlem diğer $\text{PO}_4\text{-P}$ başlangıç konsantrasyonlarındaki değerler içinde hesaplanmıştır. Bu işlemler sonucunda en yüksek azot giderimi 7.5 mg/L $\text{PO}_4\text{-P}$ başlangıç konsantrasyonundan elde edilmiş olup giderim verimi %97 olarak hesaplanmıştır. En düşük azot giderimi ise 1.5 mg/L $\text{PO}_4\text{-P}$ başlangıç konsantrasyonunda hesaplanmış olup giderim verimi %84 olarak hesaplanmıştır. En iyi giderim verimleri sırasıyla $\text{PO}_4\text{-P}$ başlangıç konsantrasyonlarında 7.5 mg/L; 15 mg/L; 3 mg/L; 30 mg/L ve 1.5 mg/L ‘dır. Azot giderim verimleri bu sıralamaya göre şu şekilde hesaplanmıştır: 97.62; 97.17; 92.21; 89.81 ve 84.79 ‘dur.



Şekil 4.9 farklı PO₄-P başlangıç konsantrasyonlarındaki azot giderimi

4.4 Fosfor Analizi

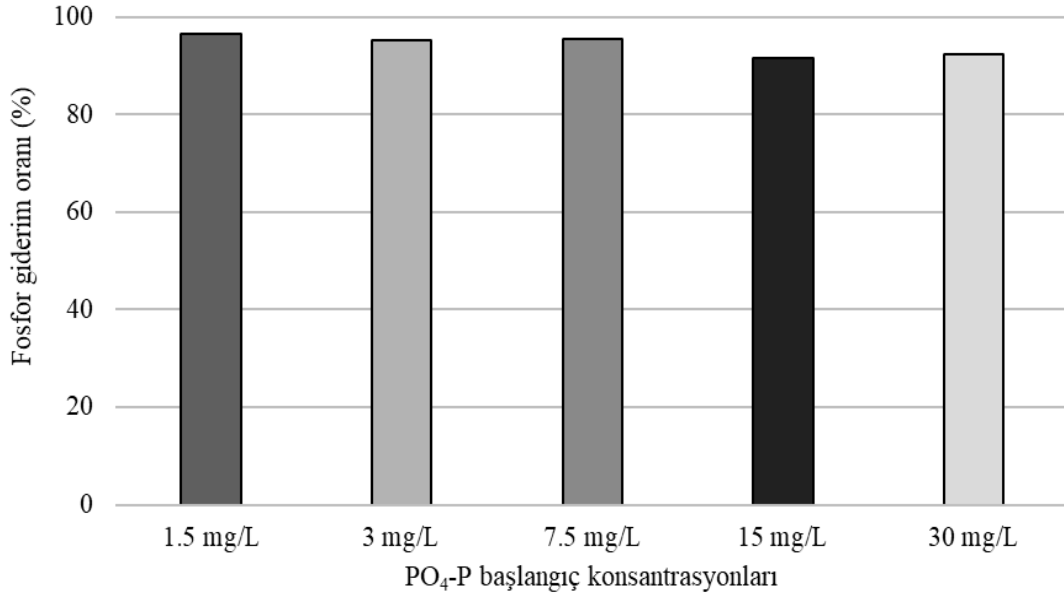
Çizelge 4.3'te farklı başlangıç PO₄-P konsantrasyonlarında fosfor giderimi gösterilmiştir. Fosfor giderimi sırasıyla 30 mg/L; 15 mg/L; 7.5 mg/L; 3 mg/L; 1.5 mg/L başlangıç PO₄-P konsantrasyonlarında 2.25; 1.24; 0.33; 0.14; 0.05 olarak hesaplanmıştır. En yüksek fosfor giderimi 1.5 mg/l başlangıç PO₄-P konsantrasyonunda %96 olarak hesaplanmıştır. En düşük fosfor giderimi ise 15 mg/L başlangıç PO₄-P konsantrasyonunda %91 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.3. farklı başlangıç PO₄-P konsantrasyonlarındaki fosfor giderimi

Başlangıç PO ₄ -P konsantrasyonu					
PO ₄ -P	1.5 mg/L	3 mg/L	7.5 mg/L	15 mg/L	30 mg/L
Başlangıç P	1.502193	3.004386	7.510965	15.02193	30.04386
Final P	0.05	0.14	0.33	1.24	2.25
Giderim oranı (%)	96.67153	95.34015	95.60642	91.7454	92.51095

Şekil 4.10'da farklı PO₄-P başlangıç konsantrasyonlarındaki fosfor giderimi gösterilmiştir. Fosfor giderimi PO₄-P başlangıç konsantrasyonlarında farklı değerlerde

ölçülmüştür. Başlangıçta fosfor 1.5 mg/L PO₄-P başlangıç konsantrasyonunda 1.5 fosfor iken giderim sonucunda bu değer 0.05'e düşmüştür. Fosfor giderim verimi ise %96.67 olarak hesaplanmıştır. Aynı işlem diğer PO₄-P başlangıç konsantrasyonlarındaki değerler içinde hesaplanmıştır. Bu işlemler sonucunda en yüksek fosfor giderimi 1.5 mg/L PO₄-P başlangıç konsantrasyonundan elde edilmiş olup giderim verimi %96.67 olarak hesaplanmıştır. En düşük fosfor giderimi ise 15 mg/L PO₄-P başlangıç konsantrasyonunda hesaplanmış olup giderim verimi %91.74 olarak hesaplanmıştır. En iyi fosfor giderim verimleri sırasıyla PO₄-P başlangıç konsantrasyonlarında 1.5 mg/L; 7.5 mg/L; 3 mg/L; 30 mg/L ve 15 mg/L 'dır. Fosfor giderim verimleri bu sıralamaya göre şu şekilde hesaplanmıştır: 96.67; 95.60; 95.34; 92.51 ve 91.74'dur.



Şekil 4.10 farklı PO₄-P başlangıç konsantrasyonlarındaki fosfor giderimi

4.5 Biyo-Etanol Analizi

Karbonhidrat konsantrasyonu maksimum seviyede elde edildikten sonra Bonnichsen ve Theorell'e göre biyoetanol üretildi (Bonnichsen ve Theorell, 1951). Karbonhidrat içeriği 360 mg / L glikoz, 100 mg / L NH₄⁺, 35 mg / L SO₄²⁻, 100 mg / L NaCl ve 5 mg / L CaCl₂'e benzer şekilde bizim mikroalgler için en yüksek seviyede karbonhidrat miktarına modifiye edilerek karbonhidrat üretildi. Bunun için 7.5 mg/L PO₄-

P başlangıç konsantrasyonunda karbonhidrat içeriği belirlendi Maksimum karbonhidrat miktarı %24 bulundu. *Scenedesmus sp.*'deki biyoetanol konsantrasyonu, spektrofotometrik olarak 340 nm'de NAD^+ 'nın etanole bağımlı indirgenmesi olarak belirlendi (Rizza vd., 2017). Biyo-etanol içeriği 0.10 g etanol / g biyokütle idi.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Son yıllarda mikroalglerin çeşitli türlerinin kullanılması üçüncül bir arıtma yöntemi olarak teklif edilmiştir, bu konuda çeşitli potansiyel iyileştirmeler bugün değerlendirilmeye devam etmektedir. Temeldeki varsayım, mikroalglerin kirleticilerin bir kısmını tehlikeli olmayan maddelere dönüştüreceği ve arıtılmış suyun güvenle tekrar kullanılabileceğidir. *Scenedesmus sp.* mikroalg türü biyoetanol üretmek için öne sürülmüştür. Biyoetanol, içerdikleri özelliklerden dolayı en çok tercih edilen biyoyakıt türlerinden biridir. *Scenedesmus sp.*'nin biyoetanol ve karbonhidrat içeriği potansiyeli, azot, fosfor giderim özellikleri ve mandıra atık sularının kirlenmeye karşı direnci nedeniyle araştırılmıştır. Bu çalışmada sentetik mandıra atıksuyu (SMA) kullanıldı. Bu atıksu birkaç değişikliğe uğratarak hazırlanmıştır (Vidal vd., 2000; Gatamaneni vd., 2021). Bir mikroalg türü olan *Scenedesmus sp.* TAP besiyerinde farklı $PO_4\text{-P}$ başlangıç konsantrasyonlarında 1.5 mg/L, 3 mg/L, 7.5 mg/L, 15 mg/L ve 30 mg/L büyütülerek mikroalglerin optik yoğunlukları, biyokütle üretim hızları, azot ve fosfat giderimleri incelendi.

Farklı $PO_4\text{-P}$ başlangıç konsantrasyonlarında 1.5 mg/L, 3 mg/L, 7.5 mg/L, 15 mg/L ve 30 mg/L optik yoğunluk değeri incelendiğinde en yüksek optik yoğunluk değeri 7.5 mg/L $PO_4\text{-P}$ başlangıç konsantrasyonunda gerçekleşmiştir. 1.5 mg/L, 3 mg/L $PO_4\text{-P}$ başlangıç konsantrasyonlarında büyüme devam ederken 7.5 mg/L $PO_4\text{-P}$ başlangıç konsantrasyonunda büyüme durgun faza geçmiştir. 15 mg/L ve 30 mg/L $PO_4\text{-P}$ başlangıç konsantrasyonlarında optik yoğunlukta azalma olduğu tespit edildi.

Farklı $PO_4\text{-P}$ başlangıç konsantrasyonlarındaki biyokütle üretim hızları incelendiğinde en yüksek biyokütle üretim hızı 7.5 mg/L $PO_4\text{-P}$ başlangıç konsantrasyonunda olup 132 mg/L gün olarak hesaplanmıştır.

Farklı azot konsantrasyonlarında büyüme azot giderimlerini yüzde olarak değiştirmiştir Farklı $PO_4\text{-P}$ başlangıç konsantrasyonlarındaki azot konsantrasyonlarını birbiriyle kıyasladığımızda en yüksek azot giderim veriminin 7.5 mg/L $PO_4\text{-P}$ başlangıç konsantrasyonunda olduğu tespit edilmiştir. Başlangıçta azot miktarı 75.03 mg/L iken giderim sonrası bu değer 1.78 mg/L' ye düşmüştür. Giderim oranı %97.62 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç bize gösteriyor ki azot konsantrasyonu değiştiğinde azot giderimi önemli derecede değişmektedir.

Farklı fosfor konsantrasyonlarında büyüme fosfor giderimlerini yüzde olarak değiştirmiştir Farklı PO₄-P başlangıç konsantrasyonlarındaki fosfor konsantrasyonlarını birbiriyle kıyasladığımızda en yüksek fosfor giderim veriminin 1.5 mg/L başlangıç PO₄-P konsantrasyonunda %96 olarak hesaplanmıştır. En düşük fosfor giderimi ise 15 mg/L başlangıç PO₄-P konsantrasyonunda %91 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç bize gösteriyor ki fosfor konsantrasyonu değiştiğinde fosfor giderimi önemli derecede değişmektedir.

Bu sonuçlara göre teorik olarak hesaplanan karbonhidrat yüzdesi çok yakın bir değerle tahmin edilebilir. *Scenedesmus sp.*'deki biyoetanol konsantrasyonu, spektrofotometrik olarak 340 nm'de NAD⁺ 'nın etanole bağımlı indirgenmesi olarak belirlendi (Rizza vd., 2017). En yüksek değeri veren 7.5 mg/L PO₄-P başlangıç konsantrasyonunda karbonhidrat içeriği belirlendi ve biyoetanol üretmek için kullanıldı ve karbonhidrat konsantrasyonu %24 olarak bulundu. Biyoetanol içeriği ise 0.10 g etanol/g biyokütle idi. Sonuç olarak *Scenedesmus sp.* mikroalg türü gelecekte sentetik mandıra atık sularında büyük ölçekli olarak biyoetanol üretimi için kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- Adıgüzel, A. O. (2013). Biyoetanolün genel özellikleri ve üretimi için gerekli hammadde kaynakları. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2(2), 204-220.
- Al-Badri, S. G. (2021). *Bioethanol production from gloeocystis vesiculosa in synthetic wastewater*, Yüksek lisans tezi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van, Türkiye.
- Amiri, M., Hosseini, S. E., Asadi, G., Khayambashi, B. (2024). Optimization of the alcalase and trypsin hydrolysis conditions of an isolated protein from *scenedesmus obliquus* microalgae and characterization of its functional properties. *LWT Magazine*, 210, 1-11.
- Ar, F. F. (2008). Biyoyakıtlar tehdit mi-fırsat mı? *Mühendis ve Makine Dergisi*, 49(581), 3-9.
- Arslan, S., Darıcı, M., Karahan, Ç. (2001). Türkiye'nin jeotermal enerji potansiyeli. **Jeotermal Enerji Semineri**, Ankara, Türkiye.
- Barros, A. I., Gonçalves, A. L., Simões, M. S., CM Pires, J. (2015). Harvesting techniques applied to microalgae: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews Magazine*, 41, 1489-1500.
- Bilad, M. R., Arafat, H., Vankelecom, I. F. (2014). Membrane Technology in microalgae cultivation and harvesting: A review. *Biotechnol adv Magazine*, 32(7), 1283-1300.
- Bilad, M. R., Vandamme, D., Foubert, I., Muylaert, K., Vankelecom, I. F. J. (2012). Harvesting microalgal biomass using submerged microfiltration membranes. *Bioresour Technol Magazine*, 111, 343-352.
- Bonnichsen, R. K., Theorell, H. (1951). An enzymatic method for the microdetermination of ethanol. *Scandinavian Journal of Clinical and Laboratory Investigation Magazine*, 3(1), 58-62.
- Bozkurt, S., Tür, R. (2015). Dünyada ve Türkiye'de hidroelektrik enerji, gelişimi ve genel değerlendirme. **4. Su Yapıları Sempozyumu**, Antalya, Türkiye.
- Bušić, A., Marđetko, N., Kundas, S., Morzak, G., Belskaya, H., Ivančić Šantek, M., Komes, D., Novak, S., Šantek, B. (2018). Bioethanol production from renewable raw materials and its separation and purification: A review. *Food Technol Biotechnol Magazine*, 56(3), 289-311.
- Cao, Y., Wang, Y., Yue, X., Yu, C., Liu, Y. (2023). Effect of preparation methods on phosphate removal of lanthanum-modified bentonite. *Desalination and Water Treatment Magazine*, 297, 160-168.
- Chokshi, K., Pancha, I., Ghosh, A., Mishra, S. (2016). Microalgal biomass generation by phycoremediation of dairy industry wastewater: An integrated approach towards sustainable biofuel production. *Bioresource Technology*, 221, 455-460.
- Deepa, P., Sowndhararajan, K., Kim, S. (2023). A review of the harvesting techniques of microalgae. *Water Magazine*, 15(3074), 1-24.
- Demirel, Z. (2006). *Eğirdir gölünden izole edilen yeşil mikroalg (chlorophyta) scenedesmus protuberans fris. 'in antimikrobiyal ve antioksidan özelliğinin araştırılması*, Yüksek lisans tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Türkiye.
- Dursun, Ş., Oktaç, N. H. (2005). Evsel atık sudan çökteltmeyle fosfat giderim metotlarının karşılaştırılması. *S Ü Fen Ed Fak Fen Dergisi*, 26, 51-58.

- Ekin, İ., Döner, A., Keskin, A. İ. (2018). Biyokütle enerjisi: Şırnak ilinin biyokütle enerji potansiyeli. **Şırnak Enerji ve Maden Potansiyeli Konferansı**, Şırnak, Türkiye.
- Elcik, H., Çakmakçı, M. (2017). Mikroalg üretimi ve mikroalglerden biyoyakıt eldesi. *Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(3), 795-820.
- Eleren, S. Ç., Öner, B. (2019). Sürdürülebilir ve çevre dostu biyoyakıt hammaddesi: Mikroalgler. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(3), 304-319.
- Eliçin, K., Koç, C., Gürhan, R., Gezici, M. (2013). Biyoyakıt amaçlı nannocloropsis salina mikroalg türünün bazı yetiştirme parametrelerinin belirlenmesi. *Tarımsal Makinaları Bilim Dergisi*, 9(2), 99-107.
- Ercan, E. (2019). *Organik rankine çevrimli biyokütle enerji tesisinin teknik ve ekonomik analizi*, Yüksek lisans tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, Türkiye.
- Gatamaneni, L., Orsat, B., Lefsrud, M. (2021). Phycoremediation and valorization of synthetic dairy wastewater using microalgal consortia of chlorella variabilis and scenedesmus obliquus. *Environmental Technology*, 42(20), 3231-3244.
- Gedik, Y. (2020). Sosyal, ekonomik ve çevresel boyutlarla sürdürülebilirlik ve sürdürülebilir kalkınma. *Uluslararası Ekonomi Siyaset İnsan ve Toplum Bilimleri Dergisi*, 3(3), 196-215.
- Gezici, M. (2012). *Biyodizel üretimine uygun mikroalglerin gelişimine bazı yetiştirme parametrelerinin etkisinin belirlenmesi*, Yüksek lisans tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Gumbi, S. T., Mutanda, T., Olaniran, A. O. (2021). Nutrient removal from dairy and poultry wastewater with simultaneous biomass and biodiesel production by chlorella sp. t4 isolated from a freshwater stream in South Africa. *Waste and Biomass Valorization*, 12, 6931-6943.
- Gürsu, E. (2021). *Chlamydomonas sp. arktik mikroalg'inden biyodizel ve biyotanol üretimi prosesinin chemcad tasarımı ve teknoekonomik analiz*, Bitirme tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Harun, R., Danquah, M. K., Forde, G. M. (2010). Microalgal biomass as a fermentation feedstock for bioethanol roduction. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology Magazine*, 85(2), 199-203.
- Harun, R., Danquah, M. K., Forde, G. M. (2011a). Influence of acid pre-treatment on microalgal biomass for bioethanol production. *Process Biochemistry Magazine*, 46(1), 304-309.
- Harun, R., Jason, W. S. Y., Cherrington, T., Danquah, M. K. (2011b). Exploring alkaline pre-treatment of microalgal biomass for bioethanol production. *Applied Energy Magazine*, 88(10), 3464-3467.
- İrkin, L. C. (2020). *Akuakültürde alglerin önemi ve kullanım alanları* (C. 1). İksad Yayınevi: Ankara, Türkiye.
- Işık, S., Yavuz, S. (2022). Biyokütleden elde edilen biyoyakıtlara genel bir bakış. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 34, 193-201.
- Joseph, T., Ray, J. G. (2024). Experimental evaluation of scenedesmus javanensis, halochlorella rubescens, and chlorolobion braunii for lipid-rich biomass production and phycoremediation of dairy wastewater. *Algal Research*, 84.
- Karayılmazlar, S., Saraçoğlu, N., Çabuk, Y., Kurt, R. (2011). Biyokütlenin Türkiye'de enerji üretiminde değerlendirilmesi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 13(19), 63-75.

- Kargı, F. (2013). *Çevre mühendisliğinde biyoprosesler*. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları: İzmir, Türkiye.
- Kargın, H. (2020). Akuakültürde kullanılan mikroalg üretim sistemleri fotobiyoreaktörler dünyada ve ülkemizde kullanımı. *MedFAR Dergisi*, 3(3), 112-130.
- Keskin, T., Güven, A. (2020). 15. Dünyada ve Türkiye’de enerji verimliliği. *Türkiye’nin Enerji Görünümü Dergisi*, 365-382.
- Kılıç, F. Ç. (2015). Güneş enerjisi, Türkiye’deki son durumu ve üretim teknolojileri. *Mühendis ve Makina Dergisi*, 56(671), 28-40.
- Koç, A., Yağlı, H., Koç, Y., ve Uğurlu, İ. (2018). Dünyada ve Türkiye’de enerji görünümünün genel değerlendirilmesi. *Mühendis ve Makina Dergisi*, 59(692), 86-114.
- Koç, E., Şenel, M. C. (2013). Dünyada ve Türkiye’de enerji durumu-genel değerlendirme. *Mühendis ve Makina Dergisi*, 54(639), 32-44.
- Kothari, R., Pathak, V. V., Kumar, V., Singh, D. (2012). Experimental study for growth potential of unicellular alga chlorella pyrenoidosa on dairy waste water: An integrated approach for treatment and biofuel production. *Bioresource Technology*, 116(466-470).
- Kurniawati, H. A., İsmadji, S., Liu, J. (2014). Microalgae harvesting by flotation using natural saponin and chitosan. *Bioresource Technology Magazine*, 166, 429-434.
- Leghari, S. M. (2001). Chlorococcales (chlorophyta) of Sindh, Pakistan. *Journal of Biological Sciences Magazine*, 1(6), 451-455.
- Lin, Y., Song, G., Ling, H., Ge, J., Ping, W. (2021). Isolation of a high-ammonium-tolerant monoraphidium sp. and evaluation of its potential for biodiesel production. *Process Biochemistry*, 111, 297-304.
- Melikoğlu, M., Albostan, A. (2011). Türkiye’de biyoetanol üretimi ve potansiyeli. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26(1), 151-160.
- Mendonça, H. V. de, Otenio, M. H., Marchão, L., Lomeu, A., Souza, D. S. de, Reis, A. (2022). Biofuel recovery from microalgae biomass grown in dairy wastewater treated with activated sludge: The next step in sustainable production. *Science of the Total Environment*, 824.
- Nale, Z. (2021). Yenilikçi gıda ürünlerinin geliştirilmesinde alternatif bir kaynak: Mikroalgler. *Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 4(1), 80-90.
- Nikolić, V., Žilić, S., Radosavljević, M., Simić, M. (2020). The role of maize hybrids in current trends of bioethanol production. *Selekcija I Semearstvo Magazine*, 26(2), 21-29.
- Onay, M. (2019). Bioethanol production via different saccharification strategies from h. tetrachotoma ME03 grown at various concentrations of municipal wastewater in a flat-photobioreactor. *Fuel Magazine*, 239(18), 1315-1323.
- Onurbaş Avcıoğlu, A., Dayıoğlu, M. A. (2016). *Su ürünlerinde mekanizasyon-2*. Ankara Üniversitesi Yayınları: Ankara, Türkiye.
- Osundeko, O. O. (2014). *Sustainable production of biofuel from microalgae grown in wastewater*, Doctoral thesis, Thesis Submitted to The University of Manchester for The Degree of Doctor of Philosophy in the Faculty of Life Sciences.
- Özbektaş, S., Şenel, M. C., Sungur, B. (2023). Dünyada ve Türkiye’de yenilenebilir enerji durumu ve kurulum maliyetleri. *Mühendis ve Makina Dergisi*, 64(711), 317-351.
- Pamir, N. (2005). Enerji politikalar ve küresel gelişmeler. *Stratejik Analiz Dergisi*, 6(68), 57-73.

- Patil, L. (1991). The role of *Ankistrodesmus falcatus* and *Scenedesmus quadricauda* in sewage purification. *Bioresource Technology Magazine*, 37(2), 121-126.
- Rani, L., Srivastav, A. L., Kaushal, J., Grewal, A. S., Dubey, A. K., Kumar, A., Narang, S. K. (2022). Recent advances in the production of renewable biofuels using microalgae. *Artificial Intelligence for Renewable Energy Systems Magazine*, 173-187.
- Rashid, N., Ur Rehman, M. S., Sadiq, M., Mahmood, T., Han, J.-I. (2014). Current status, issues and developments in microalgae derived biodiesel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews Magazine*, 40, 760-778.
- Rizza, L. S., Smachetti, M. E. S., Do Nascimento, M., Salerno, G. L., Curatti, L. (2017). Biological investigation of local microalgae as an alternative sugar source for bioethanol production. *Algal Research Magazine*, 22, 140-147.
- Sağlam, B. (2021). *Fragiloriopsis cylindrus* antifriz proteini ile dondurma prosesi, Bitirme tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Saladini, F., Patrizi, N., Pulselli, F. M., Marchettini, N., Bastianon, S. (2016). Guidelines for emergy evaluation of first, second and third generation biofuels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews Magazine*, 66, 221-227.
- Samsunlu, A. (2013). **Çevre mühendisliği kimyası**. Birsan Yayınevi: İstanbul, Türkiye.
- Shelknanloymlan, L. (2013). *Atık sulardan azot ve fosforun chlorella vulgaris bejierinck yardımıyla deneysel olarak uzaklaştırılması*, Doktora tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Shelknanloymlan, L., Atıcı, T., Obal, O. (2012). Removal of nitrogen and phosphate by using *Chlorella vulgaris* on synthetic and organic materials waste water. *Biological Diversity and Conservation Magazine*, 5(2), 89-94.
- Shoukat, A., Ismail, S., Wang, Z.-B., Panhwa, K. A., Dhar, B. R., Li, X., Ni, S.-Q. (2024). Harnessing iron for enhanced biological nitrogen removal: Mechanisms, applications, and future directions. *Journal of Water Process Engineering Magazine*, 68, 1-14.
- Shu, Q., Qin, L., Yuan, Z., Zhu, Ş., Xu, J., Xu, Z., Feng, P., Wang, Z. (2018). Comparison of dairy wastewater and synthetic medium for biofuels production by microalgae cultivation. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 40(7), 751-758.
- Şenaktaş, B. (2005). *Hidrojen enerjisi, üretimi ve uygulamaları*, Yüksek lisans tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, Türkiye.
- Şenel, M. C., Koç, E. (2015). Dünyada ve Türkiye’de rüzgâr enerjisi durumu-genel değerlendirme. *Mühendis ve Makina Dergisi*, 56(663), 46-56.
- Şengül, S., Tuncer, İ. (2006). Türkiye’de enerji tüketimi ve ekonomik büyüme: 1960-2000. *İktisat İşletme ve Finans Dergisi*, 21(242), 69-80.
- Töre, A. K., Işık, M. (2020). Mikroalglerle biyogaz çamurunun arıtımı. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 3(1), 34-42.
- ETKB. (2022). T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2022 Türkiye ulusal enerji planı. Erişim tarihi: 25 Mart 2022. Erişim adresi: https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/EIGM/tr/Raporlar/TUEP/T%C3%BCrkiye_Ulusal_Enerji_Plan%C4%B1.pdf.
- Türkşeker. (2021). Türkşeker 2021 Sektör Raporu. Erişim tarihi: 5 Mayıs 2021. Erişim adresi: https://www.turkseker.gov.tr/data/dokumanlar/2021_Sektor_Raporu.pdf.

- Türkşeker. (2023). Türkşeker Faaliyet Raporu. Erişim tarihi: 15 Haziran 2023. Erişim adresi: https://www.turkseker.gov.tr/data/dosyalar/Faaliyet_Raporlari2024_08_23_15_57_05_438.pdf.
- Ünlü, Ö. Ü. D. (2019). Fosil yakıtlara çevre dostu yenilenebilir bir alternatif: Biyoyakıtlar. **Uluslararası Enerji Ekonomi ve Güvenlik Kongresi**, İstanbul, Türkiye.
- Üstün, G. E., Genç, B. (2015). Dünya’da ve Türkiye’de biyoyakıtların durumu. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 29(2), 157-164.
- Vandamme, K., Foubert, I., Muylaert, K. (2013). Flocculation as a low-cost method for harvesting microalgae for bulk biomass production. *Trends in Biotechnology Magazine*, 31(4), 233-239.
- Vidal, G., Carvalho, A., Mendez, R., Lema, J. M. (2000). Influence of the content in fats and proteins on the anaerobic biodegradability of dairy wastewaters. *Bioresource Technology*, 74(3), 231-239.
- Yalçın, H., Gürü, M. (2002). **Su teknolojisi**. Palme Yayıncılık:Ankara, Türkiye.
- Yolcan, O. O. (2023). World energy outlook and state of renewable energy: 10-year evaluation. *Innovation and Green Development Magazine*, 2, 1-6.
- Zhang, X., Hu, Q., Sommerfeld, M., Puruhito, E., Chen, Y. (2010). Harvesting algal biomass for biofuels using ultrafiltration membranes. *Bioresource Technology Magazine*, 101(14), 5297-5304.
- Zhao, G., Chen, X., Zhou, Ş., Feng, H., Chen, W. N., Lau, R. (2013). Ultrasound assisted extraction of carbohydrates from microalgae as feedstock for yeast fermentation. *Bioresour Technol Magazine*, 128, 337-344.

ÖZ GEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Şehriban ŞAHİN

Eğitim Bilgileri

Lisans

Üniversite : Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi

Fakülte : Mühendislik Fakültesi

Bölüm : Çevre Mühendisliği

Mezuniyet Yılı : 2020

VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
LİSANSÜSTÜ TEZ ORJİNALLİK RAPORU

Tarih. 10/01/2025

**Tez başlığı: SENTETİK ATIKSUDA SCENEDESMUS'DAN BİYOETANOL
ÜRETİMİ**

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışmamın, kapak sayfası, giriş, ana bölümler ve sonuç bölümlerinden oluşan toplam 66 (Altmış altı) sayfalık kısmına ilişkin, 10/01/2025 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre tezimin benzerlik oranı **%10 (On)** dur.

Uygulanan filtreler aşağıda verilmiştir:

- Kabul ve onay sayfası hariç,
- Teşekkür hariç,
- İçindekiler hariç,
- Simge ve kısaltmalar hariç,
- Gereç ve yöntemler hariç,
- Kaynakça hariç,
- Alıntılar hariç,
- Tezden çıkan yayınlar hariç,
- 7 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç (Limit match size to 7 words)

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Lisansüstü Tez Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılmasına İlişkin Yönergeyi inceledim ve bu yönergede belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini bilgilerinize arz ederim.

10/01/2025

Adı soyadı: Şehriban ŞAHİN

Öğrenci no: 21910001326

Anabilim dalı: Çevre Mühendisliği ABD

Programı: Tezli Yüksek Lisans

Statüsü: (X) Yüksek lisans () Doktora

Doç. Dr. Melih ONAY
DANIŞMAN
UYGUNDUR

ENSTİTÜ ONAYI
UYGUNDUR