

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

ATIKSUDA SCENEDESMUS'DAN BİYOBÜTANOL ÜRETİMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Memduh DÜNDAR
Danışman: Doç. Dr. Melih ONAY

VAN – 2025

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

ATIKSUDA SCENEDESMUS'DAN BİYOBÜTANOL ÜRETİMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Memduh DÜNDAR

Tez Savunma Sınavı Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Zehra ŞAPCI (Başkan)

Doç. Dr. Melih ONAY (Danışman)

Prof. Dr. Edip AVŞAR (Üye)

Bu çalışma Van YYÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FYL-2024-11056 No'lu proje ile desteklenmiştir.

VAN – 2025

KABUL VE ONAY SAYFASI

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Doç. Dr. Melih ONAY danışmanlığında, Memduh DÜNDAR tarafından sunulan “Atıksuda Scenedesmus’dan Biyobütanol 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. Zehra ŞAPCI

İmza:

Üye: Doç. Dr. Melih ONAY

İmza:

Üye: Prof. Dr. Edip AVŞAR

İmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/..... tarih vesayılı 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

Memduh DÜNDAR



ÖZET

ATIKSUDA SCENEDESMUS'DAN BİYOBÜTANOL ÜRETİMİ

DÜNDAR, Memduh

Yüksek Lisans Tezi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Melih ONAY

Ocak 2025, 55 sayfa

Bu tez çalışmasında TAP ve sentetik atıksu içerisinde büyütülen *Scenedesmus sp. 'nin* biyobütanol üretim potansiyeli araştırıldı. Bunun için mikroalgler farklı konsantrasyonlarda üre ve ışık şiddeti altında incelendi. *Scenedesmus sp. 'nin* optik yoğunlukları (OD), biyokütle konsantrasyonları, karbonhidrat miktarları, karbonhidrat yüzdeleri, karbonhidrat verimleri ve biyobütanol konsantrasyonu araştırıldı. Elde edilen sonuçlara göre en yüksek optik yoğunluk değeri 80 mg/L üre miktarında 0.83 iken en düşük değer ise 20 mg/L de 0.12 olarak ölçüldü. Optik yoğunluğun ışık şiddeti altındaki en yüksek değeri 80 $\mu\text{mol/m}^{-2}\text{s}^{-1}$ de 0.83 bulunurken en düşük değeri ise 20 $\mu\text{mol/m}^{-2}\text{s}^{-1}$ de 0.11 olarak ölçüldü. Mikroalglerin farklı üre ve ışık şiddeti altındaki biyokütle konsantrasyon miktarları incelendi. Üre miktarı için en yüksek biyokütle konsantrasyon değeri 80 mg/L de 0.85 g/L değeri bulunurken ışık şiddeti miktarı için en yüksek biyokütle konsantrasyon değeri 80 $\mu\text{mol/m}^{-2}\text{s}^{-1}$ de 0.85 g/L değeri bulundu. Bunun yanın sıra mikroalglerin farklı üre ve ışık şiddeti altındaki karbonhidrat miktarlarını inceledik. En yüksek karbonhidrat değeri üre miktarının 80 mg/L de 0.24 değeri ölçüldü. Aynı şekilde en yüksek karbonhidrat değeri 80 $\mu\text{mol/m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ışık şiddetinde 0.24 g/L olarak ölçüldü. Buna ek olarak, mikroalglerin farklı üre miktarları ve farklı ışık şiddeti miktarlarındaki karbonhidrat yüzdeleri incelendi. En yüksek karbonhidrat yüzdesi 60 mg/L de %30 verim değeri elde edildi. Işık şiddetinde yapılan ölçümde ise en yüksek karbonhidrat değeri 80-100 $\mu\text{mol/m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ışık şiddetlerinde %28 karbonhidrat verimi ölçüldü. 80 mg/L üre ve ışık şiddeti altında biyobütanol miktarı 0.04 olarak bulundu. Sonuç olarak *Scenedesmus sp.* laboratuvar ortamında sentetik atıksuda büyütülerek biyoyakıt üretimi için kullanılabilir fakat bu durum daha büyük ölçekli endüstriyellerde kullanılmasına ihtiyaç duyabilir.

Anahtar kelimeler: Biyobütanol, Işık şiddeti, Karbonhidrat, *Scenedesmus sp.*, Sentetik atıksu, Üre



ABSTRACT

BIOBUTANOL PRODUCTION FROM SCENEDESMUS IN WASTEWATER

DÜNDAR, Memduh

M. Sc. Thesis, Environmental Engineering Department

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Melih ONAY

January 2025, 55 pages

In this thesis study, the biobutanol production potential of *Scenedesmus sp.* grown in TAP and synthetic wastewater was investigated. For this purpose, microalgae were studied under various concentrations of urea and different light intensities. The optical densities (OY), biomass concentrations, carbohydrate amounts, carbohydrate percentage, carbohydrate yield and biobutanol concentration of *Scenedesmus sp.* were investigated. The results showed that the highest optical density value was 0.83 at 80 mg/L urea, and the lowest value was 0.12 at 20 mg/L. The highest value of optical density was found to be 0.83 at 80 $\mu\text{mol}/\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ of light intensity, while the lowest value was measured as 0.11 at 20 $\mu\text{mol}/\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$. The biomass concentrations of microalgae under various urea and light intensities were investigated. The maximum biomass concentration for urea was 0.85 g/L at 80 mg/L, while the highest biomass concentration for light intensity was 0.85 g/L at 80 $\mu\text{mol}/\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Moreover, we examined the carbohydrate amounts of microalgae under different urea and light intensities. The highest carbohydrate value was measured as 0.24 at 80 mg/L of urea. Similarly, the highest carbohydrate value was measured as 0.24 g/L at 80 $\mu\text{mol}/\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$. In addition, the carbohydrate percentages of microalgae at various urea concentrations and light intensities were investigated. The maximum carbohydrate percentage was achieved at 60 mg/L of urea, with a yield value of 30%. In the measurement made in light intensity, the highest carbohydrate value was measured at 80-100 $\mu\text{mol}/\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$, and a 28% carbohydrate yield was measured. At the 80 mg/L of urea, and light intensity, biobutanol concentration was 0.04. In conclusion, *Scenedesmus sp.* can effectively be used for biofuel production in laboratory settings, but, a situation that may necessitate its application in larger-scale industries.

Keywords: Biobutanol, Carbohydrate, Light intensity, *Scenedesmus sp.*, Synthetic wastewater, Urea



TEŞEKKÜR

Emek harcayarak zor şartlarda benim bir başarım olarak kalacak olan bu tez çalışmamı tamamlamış olmam sebebiyle büyük kıvanç duymaktayım. Tabi ki bu süreci tek başımı değil çok değerli çok kıymetli hoca ve arkadaşlarım ile yapmış bulunmaktayım. Bu sebepten ötürü en başta Ülkemiz ve daha sonra kentimizde bulunan Üniversitemiz için oldukça kıymetli ve değerli olan sayın Doç. Dr. Melih ONAY hocama onunla tanıştığıma mutlu olduğumu ve üzerimde bulunan emeklerinden dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Hayatımın başlangıcının ilk anından günümüze dek yol göstericilerim, rol modellerim, en kıymetlilerim olan annem; Emine DÜNDAR ve babam; Şevket DÜNDAR'a şükranlarımı sunarım.

Candan öte bana can olan, sevimli ve güzel yuvamı kurmama vesile olan, hayatıma renk ve güzellik katan yoldaşım ve hayat arkadaşım Ayşe DÜNDAR'a her türlü desteği için çok teşekkür ederim. Burada isimlerinin olmasını çok istediğim yuvamın değerlileri kızım; Hazal DÜNDAR ve oğlum; Yunus Emre DÜNDAR'a hayatımda var oldukları için mutlu olduğumu dile getirmek istiyorum.

Kıymetli çalışma arkadaşlarım olan Sayın İdris KAVAL, Neslihan KAYA, Rıza GEYLAN, Kayahan RAHİMOĞLU ve Meral BAHADIR'a yardımlarından dolayı teşekkür ederim. Yüksek lisans sürecine başlamam ile hayatıma dahil olan ve değerli bir dost olan tez çalışmasında bana her türlü desteği veren arkadaşım Sayın Şehriban ŞAHİN'e çok teşekkür ederim.

Tez çalışmamı FYL-2024-11056 No' lu proje ile destekleyen Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkürlerimi sunarım.

2025

Memduh DÜNDAR



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELER LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ	3
2.1 Enerji Kaynakları.....	3
2.1.1 Yenilenebilir Enerji Kaynakları.....	5
2.1.1.1 Rüzgâr Enerjisi.....	5
2.1.1.2 Güneş Enerjisi	7
2.1.1.3 Jeotermal Enerjisi.....	10
2.1.1.4 Hidrolik Enerji.....	12
2.1.1.5 Dalga Gel-Git Enerjisi.....	13
2.1.1.6 Hidrojen Enerjisi	14
2.1.1.7 Biyokütle Enerjisi.....	15
2.2 Mikroalg.....	20
2.2.1 Mikroalg Yetiştirme Sistemleri	21
2.2.1.1 Açık Sistemler	21
2.2.1.2 Kapalı Sistemler	21
2.2.2 Mikroalg Üretiminde Etkili Olan Faktörler	23
2.2.2.1 Işık	23
2.2.2.2 Sıcaklık.....	24
2.2.2.3 Besin Maddesi	24
2.2.2.4 Ph.....	24
2.2.2.5 Karıştırma	25
2.2.3 <i>Scenedesmus</i>	25
2.2.4 Atıksu.....	27

2.2.4.1	Evsel Atıksu	27
2.2.4.1.1	Atıksu Karakteristikleri	29
2.2.4.2	Endüstriyel Atıksu.....	30
2.2.4.3	Kentsel Atıksu	31
3.	MATERYAL VE METOT	33
2.3	Materyal	33
2.3.1	Mikroalg Suşu.....	33
2.3.2	Kültür Ortamı	33
2.4	Metot	35
2.4.1	<i>Scenedesmus sp.</i> 'nin Büyümesi	35
2.4.2	Atıksuyun Hazırlanması	35
2.4.3	Karbonhidrat ve Biyobütanol Konsantrasyonu Belirlenmesi.....	36
4.	BULGULAR	37
4.1	Farklı Üre Konsantrasyonlarında Optik Yoğunluk (OD) İncelenmesi.....	37
4.2	Farklı Işık Şiddeti Konsantrasyonlarında Optik Yoğunluk (OD) İncelenmesi	39
4.3	Mikroalglerin Biyokütle Miktarları	42
4.3.1	Farklı Üre Miktarlarındaki Biyokütle Miktarları.....	42
4.3.2	Farklı Işık Şiddeti Altındaki Biyokütle Miktarı	43
4.4	Mikroalglerin Karbonhidrat Miktarları.....	44
4.4.1	Farklı Üre Konsantrasyonlarındaki Karbonhidrat Miktarı	44
4.4.2	Farklı Işık Şiddeti Altındaki Biyokütle Miktarı	45
4.5	Mikroalglerin Karbonhidrat Yüzdesi	46
4.5.1	Farklı Üre Konsantrasyondaki Karbonhidrat Yüzdesi	46
4.5.2	Farklı Işık Şiddeti Altında Karbonhidrat Yüzdesi	47
4.6	Çeşitli Konsantrasyonlardaki Üre Miktarı ve Işık Şiddetinde Karbonhidrat Verimleri	48
5.	SONUÇ	49
	KAYNAKLAR.....	51
	ÖZ GEÇMİŞ	55

ÇİZELGELER LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Mikroalg yetiştirme sistemlerinin karşılaştırılması.....	22
Çizelge 3.1 Tap besi yerinin kompozisyonu	33
Çizelge 3.2 Besi yeri ortamının içeriği.....	34
Çizelge 3.3 Sentetik belediye atıksuyu içeriği.....	35
Çizelge 4.1 Farklı üre ve ışık şiddeti miktarlarındaki karbonhidrat verimi.....	48



ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Enerji kaynaklarının sınıflandırılması.....	4
Şekil 2.2 Türkiye'nin belirtilen yıllara göre rüzgâr enerjisine dayalı kurulu gücü	6
Şekil 2.3 Türkiye'nin belirtilen yıllara göre rüzgâr enerjisine dayalı toplam kurulu güç içerisindeki oranı	7
Şekil 2.4 Türkiye'nin güneş enerjisi haritası.....	9
Şekil 2.5 Türkiye'nin belirtilen yıllar arasında jeotermal enerjiden elde edilen kurulu gücü	11
Şekil 2.6 Türkiye'nin Belirtilen yıllar arasında jeotermal enerjiden elde edilen toplam kurulu güç oranı	12
Şekil 2.7 Hidrolik enerji üretim aşaması.....	13
Şekil 2.8 Ham biyokütlenin çevrim aşamaları	15
Şekil 2.9 Biyoyakıtların sınıflandırılması	18
Şekil 2.10 Biyobütanol üretim süreci	20
Şekil 2.11 Mikroalg üretimi için açık sistemler	21
Şekil 2.12 Mikroalg üretimi için kapalı sistemler: fotobiyoreaktörler	22
Şekil 2.13 <i>Scenedesmus</i> sınıflandırılması	26
Şekil 2.14 <i>Scenedesmus</i> türleri	26
Şekil 2.15 Evsel atıksu bileşenlerinin özellikleri.....	28
Şekil 3.1 <i>Scenedesmus</i> sp.'nin şişelerde yetiştirilmesi	35
Şekil 4.1 20 mg/L üre konsantrasyonlarındaki büyüme eğrisi.....	37
Şekil 4.2 40 mg/L üre konsantrasyonlarındaki büyüme eğrisi.....	38
Şekil 4.3 60 mg/L üre konsantrasyonlarındaki büyüme eğrisi.....	38
Şekil 4.4 80 mg/L üre konsantrasyonlarındaki büyüme eğrisi.....	39
Şekil 4.5 100 mg/L üre konsantrasyonlarındaki büyüme eğrisi.....	39
Şekil 4.6 $20 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$ ışık şiddeti konsantrasyonlarındaki büyüme eğrisi.....	40
Şekil 4.7 $40 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$ ışık şiddeti konsantrasyonlarındaki büyüme eğrisi.....	40
Şekil 4.8 $60 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$ ışık şiddeti konsantrasyonlarındaki büyüme eğrisi.....	41

Şekil 4.9 $80 \mu\text{mol}/\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ışık şiddeti konsantrasyonlarındaki büyüme eğrisi.....	41
Şekil 4.10 $100 \mu\text{mol}/\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ışık şiddeti konsantrasyonlarındaki büyüme eğrisi.....	42
Şekil 4.11 Farklı üre miktarlarındaki biyokütle miktar değerleri grafiği.	43
Şekil 4.12 Farklı ışık şiddeti altındaki biyokütle miktarları grafiği.	44
Şekil 4.13 Farklı üre konsantrasyonlarındaki biyokütle miktarları grafiği.	45
Şekil 4.14 Farklı ışık şiddeti altındaki karbonhidrat miktarı grafiği.	46
Şekil 4.15 Farklı üre konsantrasyondaki karbonhidrat yüzdesi grafiği.	47
Şekil 4.16 Farklı ışık şiddeti altında karbonhidrat yüzdesi grafiği.	47



SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
atm	Atmosfer Basıncı
CH ₄	Metan
CO ₂	Karbondioksit
C ₄ H ₉ OH	Bütanol
g	Gram
HCl	Hidroklorik asit
km	Kilometre
K	Kelvin(Sıcaklık Ölçü Birimi)
kg	Kilogram
kw	Kilowatt
L	Litre
M	Kütle
m ²	Metrekare
m	Metre
MW	Megawatt
mL	Mililitre
mg	Miligram
MnSO ₄	Magnezyum Sülfat
nm	Nanometre
NH ₃	Amonyak
NO ₂ ⁻	Nitrit
NO ₃ ⁻	Nitrat
O ₂	Oksijen
s	Saniye
W	Güç

Simgeler**Açıklama** **μm**

Mikromol

 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$

Mikromolfoton

Kısaltmalar**Açıklama****BOİ**

Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı

EİGM

Enerji İşleri Genel Müdürlüğü

KOİ

Kimyasal Oksijen İhtiyacı

OD

Optik Yoğunluk

PBR

Fotobiyoreaktör

PH

Bir Çözeltinin Asitlik veya Bazık Derecesini Tarif

Eden Ölçü Birimidir

rpm

Revolutions Per Minute

SERKA

Serhat Kalkınma Ajansı

TAP

Tris-Asetat-Fosfat

vd

Ve Diğerleri

vb

Ve Benzeri

1. GİRİŞ

Günümüz dünyasında enerji ihtiyacı daha çok tükenebilir kaynaklardan sağlanmaktadır. Tüm dünya ülkelerinde enerji ekonomik gelişmenin bir parçası olduğu için önemsenmektedir. Yenilenemeyen kaynakların bir gün tükeneceği kaygısı nedeniyle birçok ülkede yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimine yönelik gerekli araştırma ve çalışmaların yapılmasına neden olmuştur. Kendini yenileyebilen enerji kaynakları arasında güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, jeotermal enerjisi ve biyokütle enerjisi sayılabilir. Kendini yenileyebilen enerji sayesinde dışa bağımlılığın azaltılması, çevre kirliliğinin azaltılması ve iklim değişikliğinin önlenmesine karşı son derece önem arz etmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında bulunan biyokütle enerjisine son dönemlerde ilgi bir hayli arttığı görülmektedir. Biyokütleden biyoetanol, biyogaz ve biyobütanol gibi birçok biyoyakıt üretilmektedir (Elcik ve Çakmakcı, 2017). Mikroalgler tek/çok hücreli, fotosentez yapabilen, tatlı sularda ve denizlerde yaşayabilen, inorganik maddeleri organik maddelere dönüştürebilen sucul organizmalardır. Mikroalgler birçok üretim sisteminde kullanılmaktadırlar. Bunlar gıda sektörü, arıtma sistemi ve biyoyakıt olarak ifade edilebilir. Mikroalg üretiminde açık havuzlar ve kapalı fotobiyoreaktörler olmak üzere 2 çeşit düzen kullanılmaktadır (Aydın, 2019).

Alkol türevli bir biyoyakıt olan bütanol renksiz, 4 karbonlu, zehirli, molekül formülü C_4H_9OH olan sıvı bir alkoldür. Bütanol üretimi için kullanılan hammaddeler; bitkisel kaynaklar, tarımsal atıklar ve gıda endüstrisi atıkları kullanılmaktadır. Bu atıkların kullanılmasıyla geri dönüşüme katkı sağladığı gibi hem ekonomik hem de yenilenebilir enerji üretimi gibi çevre dostu olarak değerlendirebiliriz. Bunun yanı sıra bütanol benzin ve dizele katılarak kullanılmasında doğaya karbondioksit salınımını azaltıp sera emisyonu azaltılmasına katkı sağlamaktadır (Demirdelen, 2019). Birçok yeşil mikroalg türü bulunmaktadır. Bunlardan biri olan *Scenedesmus* doğrusal veya zikzaklı şekillerde gruplaşmış bazıları 2'li, bazıları 4'lü, 8'li veya 16'lı hücre takımı biçiminde görülmektedirler. *Scenedesmus* atıksu ya da tatlı sularda büyüyebilir ve düzenli olarak yetiştirilebilirler (Kurusakız, 2020).

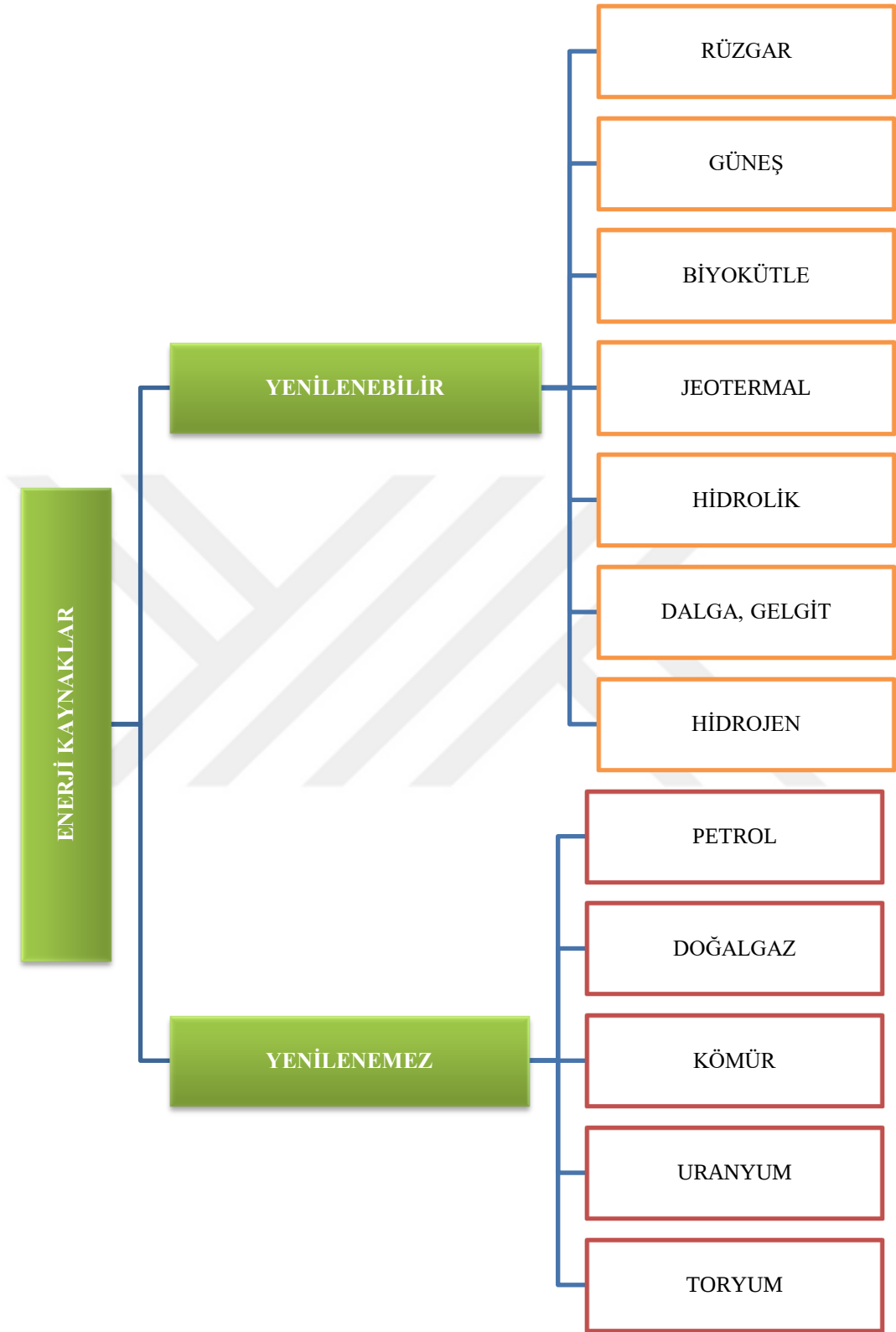
Bu çalışmada sentetik atıksuda *scenedesmus* mikroalg türü kullanılarak biyoyakıt türlerinde biri olan biyobütanol üretimi yapılması planlanmaktadır.



2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ

2.1 Enerji Kaynakları

Genel bir tanım yapılacak olursa iş yapabilme potansiyeline enerji denilmektedir. Yenilebilir enerjinin tanımını yapacak olursak; kaynağını doğadan alan ve kendini sürekli olarak yenileyebilen enerji kaynakları olarak ifade edebiliriz. Serbest halde atmosferde bulunan havadan elde edilen rüzgâr enerjisi, akan suyun barajlarda biriktirilmesi ile potansiyel enerji, yine yeraltı bulunan sıcak sular jeotermal enerji vb. birçok yenilebilir enerji kaynağı örnek olarak verilebilir. Enerji üretiminde yaygın olarak kullanılan fosil yakıtların bir gün tükenebileceği endişesi, bu yakıtların kullanılarak çevre sorunlarına yol açması yenilebilir enerji kaynaklarının kullanılmasını cazip kılmaktadır. Fosil yakıtların çok kullanılması iklim değişikliğine, sera gazlarının atmosferde birikmesine neden olmaktadır. Yenilebilir enerjiler dünyada var olan, kullandıkça tükenmez ve kısa süre içerisinde kendini yenilemektedir (Yakıncı ve Kök, 2017). Şekil 2.1’de Enerji kaynaklarının sınıflandırılması verilmiştir.



Şekil 2.2 Enerji kaynaklarının sınıflandırılması (Koç ve Kaya, 2015).

2.1.1 Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Tükenebilir enerji kaynaklarının bir gün sonlanacağı kaygısıyla birçok ülke yenilebilir enerji kaynakları hakkında araştırma ve çalışma yürütmektedir. Günümüz küresel dünya da enerji talebi ve bunu karşılama isteği kendini yenileyebilen enerji kaynaklarına yoğunluğu arttırmaktadır. Kendini yenileyebilen enerji kaynaklarını açıklayacak olursak;

- Hidrolik enerji,
- Rüzgâr enerjisi
- Güneş enerjisi
- Jeotermal enerjisi
- Biyokütle enerjisidir.

2.1.1.1 Rüzgâr Enerjisi

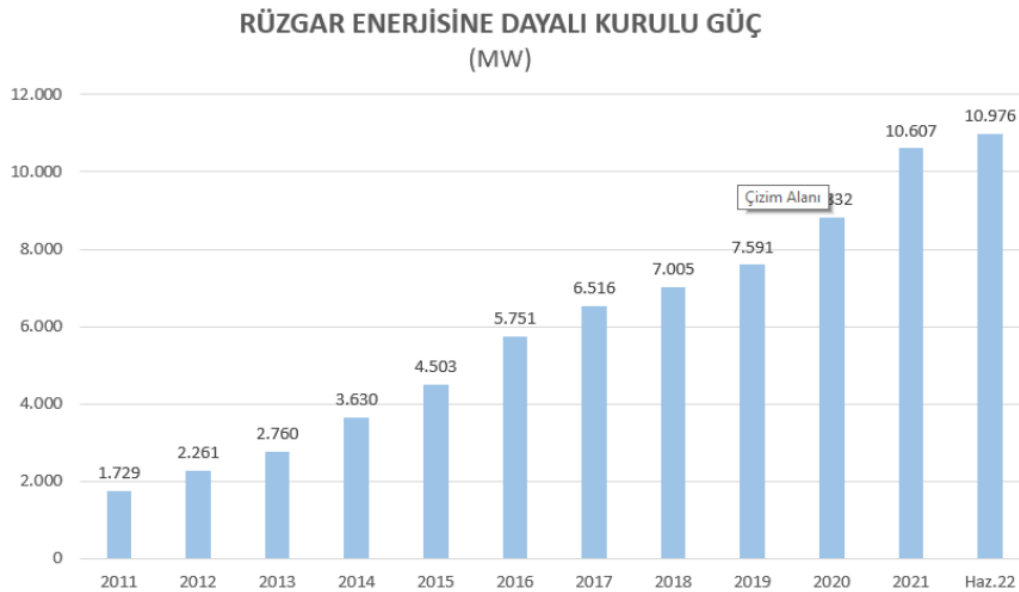
Eski zamanlarda rüzgâr denizlerde yelkenlerle gemileri yürütmek için ve yel değirmenlerinde buğday öğütmek ve su pompalamak için kullanılmıştır. Güneş enerjisinin dünya yüzeyini dünyanın şeklinden dolayı değişik ısınmasından kaynaklı denizlerin ve karaların değişik ısınmalarından farklı basınçlar oluşturmaktadır. Oluşan farklı basınç hava hareketlenmesine sebep olmakta ve yüksek basınçtan alanından alçak basınca alanına doğru yol alan hava hareketine rüzgâr enerjisi denilmektedir (Çukurçayır ve Sağır, 2008). Günümüzde ülkeler bu temiz yenilebilir enerji kaynağından faydalanmaktadırlar. Rüzgâr türbinleri kurularak elde edilen enerji ekonomik kazançta sağlamaktadır. Rüzgâr türbinleri sayesinde sera gazı emisyonlarında azalma olmakta ve atmosfere zehirli gaz salınımına yol açmamaktadır. Rüzgâr enerjisi kullanımının avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Avantajları; tükenmeyen bir enerji kaynağı olması, yakıt masrafı ve hammadde ihtiyacı gereksinimi olmaması, fosil yakıtlar gibi sera gazı etkisine neden olmaması, diğer santrallere nazaran kısa sürede kurulum sağlanabilmesi vb. gibi birden fazla avantajı bulunmaktadır. Dezavantajları sıralayacak olursak; gürültü sebebiyet vermesi, dönen büyük rüzgar türbinlerinin kuşlara zarar verebilmesi, insanların yaşam alanlarına yakın yerlerde göze hoş

gelmemesi, radyo ve TV alıcıları için probleme sebep olması şeklinde ifade edilebilir (Özen vd., 2015).

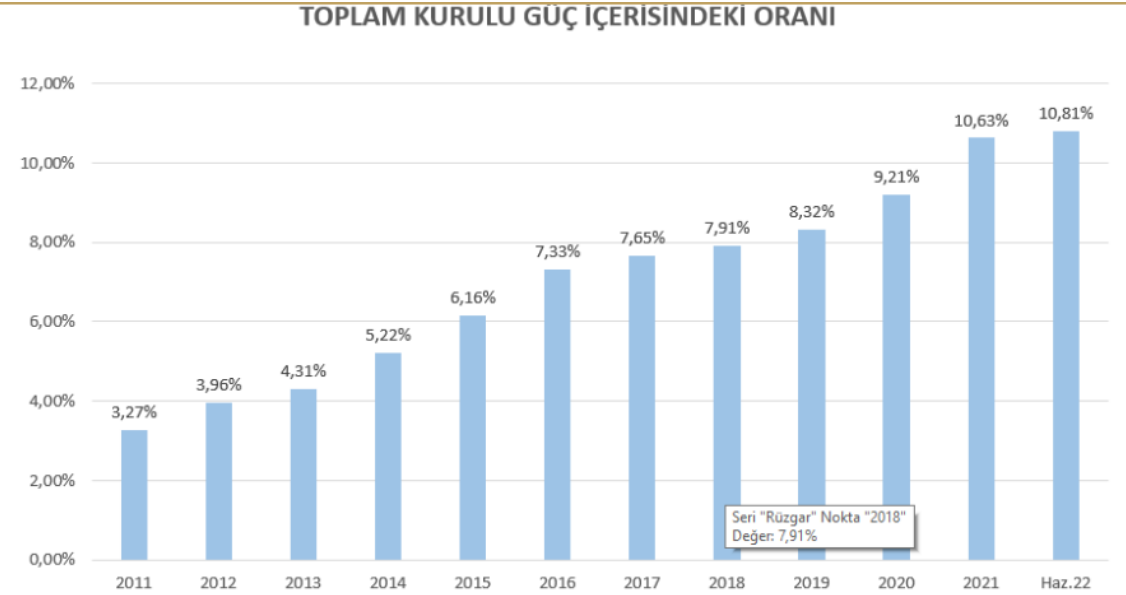
Türkiye'nin Rüzgâr Enerji Potansiyeli

Türkiye de artan enerji talebi karşısında dışa bağımlılığı azaltmak ve yerli tükenmeyen enerji kaynaklarını kullanmak ekonomik açıdan yarar sağlayacaktır. Türkiye enerji talebini çözmek için enerji politikaları uygulamaktadır. Enerji politikaların temel hedefi ekonomik olarak büyümek, güvenilir ve yeterli miktarda enerjiyi yerli kaynaklardan temin etmek, dışa bağımlılığı azaltmak ve bunları yaparken de çevreyi koruyarak bu hedeflerini gerçekleştirmektir. Tüm dünya ülkelerinde olduğu gibi Türkiye’de de tükenmeyen, temiz ve dışa bağımlı olmayan yenilebilir enerji kaynaklarına önem vermektedir. Türkiye’nin üç tarafının denizlerle çevrili olması ve yaklaşık olarak 3500 km kıyı şeridinde sahip olması rüzgâr enerjisi için uygun bir alan oluşturmaktadır (Oskay, 2014). Türkiye’nin Marmara kıyı şeridi ve ege kıyı şeridi sürekli ve düzenli olarak rüzgâr aldığı bilinmektedir (İlkılıç, 2016).

Şekil 2.2 ve Şekil 2.3’te Türkiye’nin rüzgâr enerjisine dayalı kurulan ve güç gelişimleri gösterilmiştir.



Şekil 2.3 Türkiye’nin belirtilen yıllara göre rüzgâr enerjisine dayalı kurulu gücü (EİGM, 2022)



Şekil 2.4 Türkiye'nin belirtilen yıllara göre rüzgâr enerjisine dayalı toplam kurulu güç içerisindeki oranı (EİGM, 2022)

Grafikler incelendiğinde Haziran 2022 yılı itibarı ile rüzgâr enerjisi dayalı üretilen elektrik enerjisi kurulu gücümüz 10.976 MW olduğu bilgisine ulaşılmaktadır. Bunun yanı sıra ikinci grafikte de şu sonuç çıkarılabilir; Türkiye'nin toplam kurulu güç içerisindeki oranı %10.81 olduğu sonucuna varılmaktadır.

2.1.1.2 Güneş Enerjisi

Doğanın yaşam kaynağı olan güneş, çapı yaklaşık olarak 1,4 milyon kilometre ve yeryüzünden yaklaşık olarak 151.106 milyon kilometre mesafede olduğu bilinmektedir. Güneş içerisinde füzyon denilen reaksiyonlar görülmektedir. Güneş içerisindeki bu füzyon hidrojen gazını helyum gazına çevirmesi ve akabinde çıkan ısıma enerjisi olarak açıklanabilir. Bu ısıma atmosferin dış yüzeyine 173.104 kW değerinde iken, dünyamıza ulaşan değer 1.395 kW'a kadar düştüğü tahmin edilmektedir. Dünyaya ulaşan ısımanın az olmasının sebebi atmosferde bulunan gazların ışınmı adsorbe etmeleri ve yolun uzaklığı ile alakalıdır (Karamanav, 2007). Günümüzde yapılan araştırmalar ve teknolojik gelişmeler sayesinde güneş enerjisi birçok alanda kullanılmaktadır. Güneş enerjisinden; elektrik enerjisinin elde edilmesi, aydınlatma da, tarım alanlarında yanı sıra seralarda, konutların ısıtma ihtiyacının karşılanmasında,

sıcak su ısıtılmasında vb. çok fazla alanda kullanımı sağlanmaktadır (Cihan, 2019). Güneş enerjisinin avantaj ve dezavantajlarına bakacak olursak;

Avantajları;

- Tükenmeyen yenilebilir bir enerji kaynağıdır.
- Çevreyi kirleten duman, gaz, karbon monoksit vb. bir atığı oluşmamaktadır.
- Dışa bağımlılığı yoktur.
- İşletme giderleri düşük seviyededir.

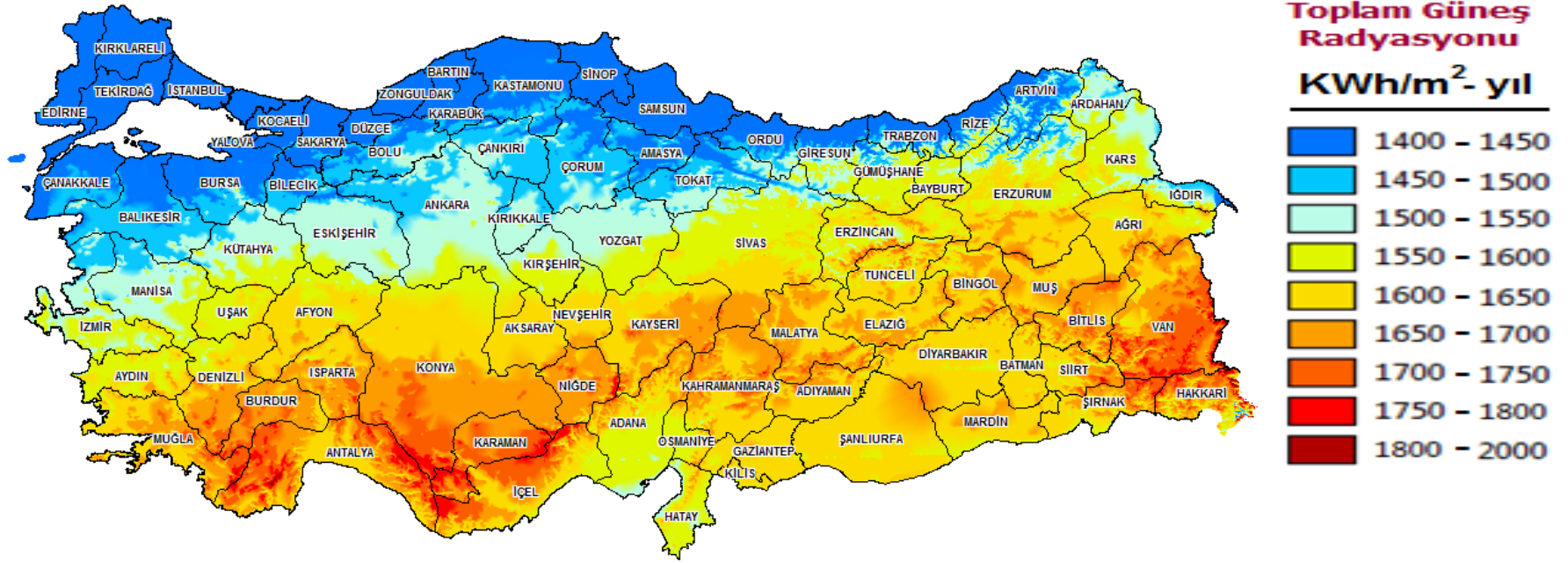
Dezavantajları;

- Birim yüzeye düşen güneş ışıınımı az olduğu için güneş toplayıcı yüzeylere ihtiyaç duymaktadır.
- Uygulama aşamasında karmaşık teknolojiye gerek duymaktadır.
- Kış aylarında güneş ışıınının az olması
- Sürekli olmadığı için depolanması gerekmektedir ve depolama içinde ekonomik maliyet gerekmektedir (Eldem, 2017).

Türkiye'nin Güneş Enerji Potansiyeli

Ülkemiz gerek güneş enerji alanında gerekse de diğer yenilebilir enerji kaynakları alanında yapılan her türlü çalışmaları desteklemek, bunları artırmak ve verimli kullanmak için yenilebilir enerji genel müdürlüğü tarafından takibi ve desteği sağlanmaktadır. (Taşova, 2018). Şekil 2.4'te yenilebilir enerji genel müdürlüğü tarafından Türkiye'nin güneş enerji atlası verilmiştir.

Şekil 2.5 Türkiye'nin güneş enerjisi haritası (EİGM, 2022)



Şekil incelendiğinde güneş enerjisi atlasına göre Türkiye'nin güney tarafının kuzey tarafına göre daha çok güneşlendiği şeklinde yorumlanabilir. Burada Karadeniz bölgesinin ekvatorial bölgeye yakın olması ve nemli havanın fazla olması güneş enerjisi değerinin düşük olmasına neden olmaktadır.

2.1.1.3 Jeotermal Enerjisi

Jeotermal enerji dünyanın alt katmanlarında yer alan yenilebilir enerji kaynakları arasında kabul edilen bir çeşit ısı enerjisidir. Jeotermal enerji tanımını yapacak olursak; Yeraltı derinliklerinde toplanmış olan ısınn bünyesinde çeşitli kimyasallar da ihtiva eden su ve buhardan oluşan bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Dünya üzerinde diri volkanik yerler ve volkanizma alanları jeotermal enerji bakımından önemli potansiyel yerlerdir (Kervankıran, 2012). Bu alanlarını bazıları şunlardır:

- Batı Pasifik kuşağı için Japonya ve doğu Asya Ülkeleri
- Alp Himalaya kuşağı için Türkiye, Çin gibi ülkeler,
- Volkanik kuşağı için Ekvator, Meksika vb. ülkeler,
- Okyanus ortası kuşağı için İzlanda gösterilebilir.

Jeotermal enerji kullanım alanları 2 takıma ayrılmaktadır. Bunlar doğrudan kullanılacak ve doğrudan kullanılmayacak olarak ifade edilebilir. Doğrudan kullanım sağlayacak alanları; seralarda, bölge ısıtmalarında, sulu tarımda ve endüstriyel proseslerde kullanımı sağlanmaktadır. Doğrudan olmayan kullanım alanları ise jeotermal enerjinin elektrik üretimi ile yapılmaktadır (Külekçi, 2009). Jeotermal enerjinin avantajları aşağıda belirtilmiştir;

- Kullanılacak az teknoloji sayesinde jeotermal enerjiye yapılması düşünülen yatırımı elverişli kılmaktadır.
- Çevreyi kirleten karbon monoksit ve kükürt oksitler gibi kirleticiler atılmamakta ve çevre dostu bir yenilebilir enerji kaynağı olması
- Dışa bağımlılığı azaltması, Ülkemiz kaynağı olması, ekonomik olması
- Çok fazla alanda kullanım olanağı sağlaması gibi avantajları ifade edilebilir (Kozak, 2016).

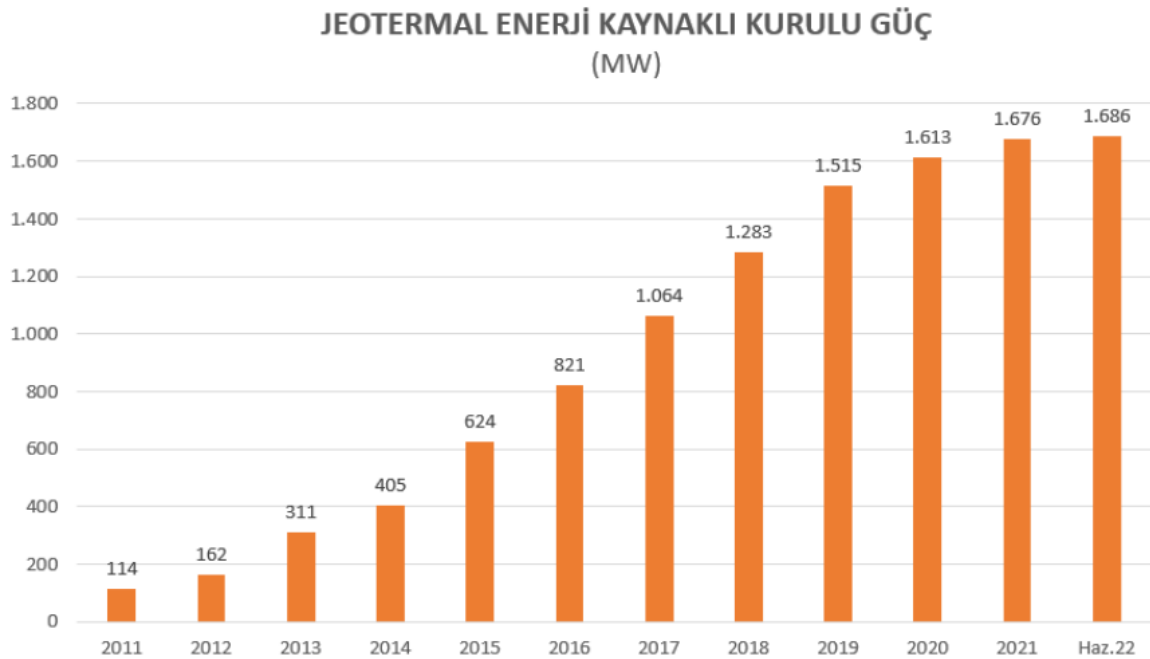
Türkiye'nin Jeotermal Enerji Potansiyeli

Türkiye tektonik hareketleri yoğun olduğu için ülkemiz her tarafına yayılmış değişik sıcaklıklara sahip birçok jeotermal kaynak yer almaktadır. Jeotermal enerji bu ülkemizin sahip olduğu özelliği sayesinde yenilebilir enerji kaynağı olarak avantaj sağlamaktadır. Jeotermal enerji kaynakları akışkan sıcaklıklarına göre üç gruba ayrılmaktadır. Bunlar;

- Yüksek entalpili sahalar ($>180^{\circ}\text{C}$ sıcaklık)
- Orta entalpili sahalar ($70 - 180^{\circ}\text{C}$ sıcaklık)
- Düşük entalpili sahalar ($20 - 70^{\circ}\text{C}$ sıcaklık)

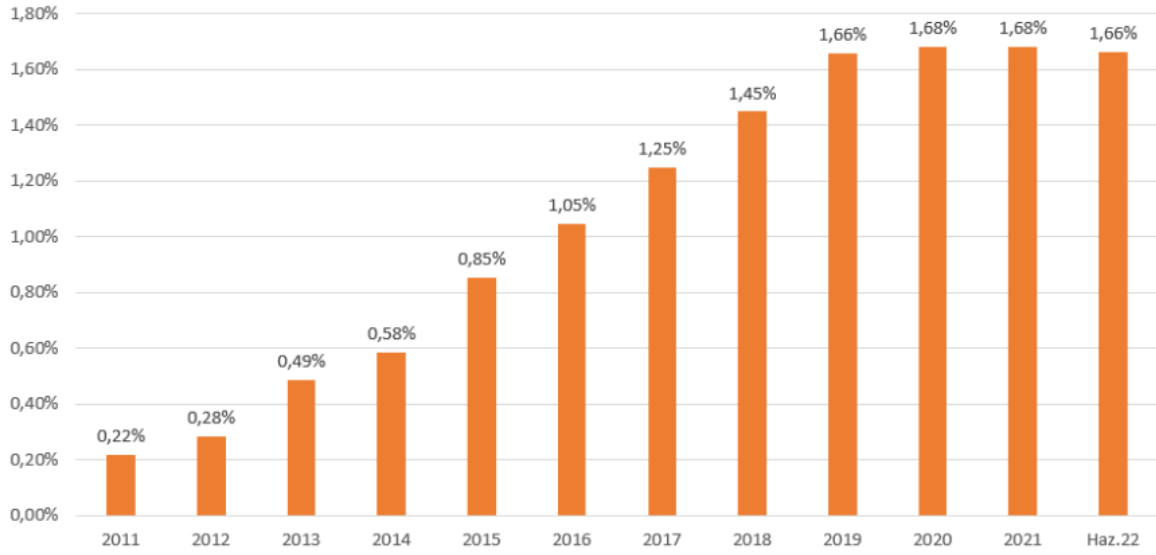
Yüksek entalpili sahalar daha çok elektrik enerjisi kullanımı için yararlanılmaktadır. Orta entalpili sahalarda kurutma işlemleri, konut ısıtılması ve sera alanlarında faydalanılmaktadırlar. Düşük entalpili sahalarda yüzme havuzları ve balık çiftliklerinde kullanımı sağlanmaktadır (Zaim ve Çavşı, 2018).

Şekil 2.5 ve Şekil 2.6'da Türkiye'nin jeotermal enerjiden elektrik üretim potansiyeli gösterilmiştir.



Şekil 2.6 Türkiye'nin belirtilen yıllar arasında jeotermal enerjiden elde edilen kurulu gücü (EİGM, 2022)

TOPLAM KURULU GÜÇ İÇERİSİNDEKİ ORANI



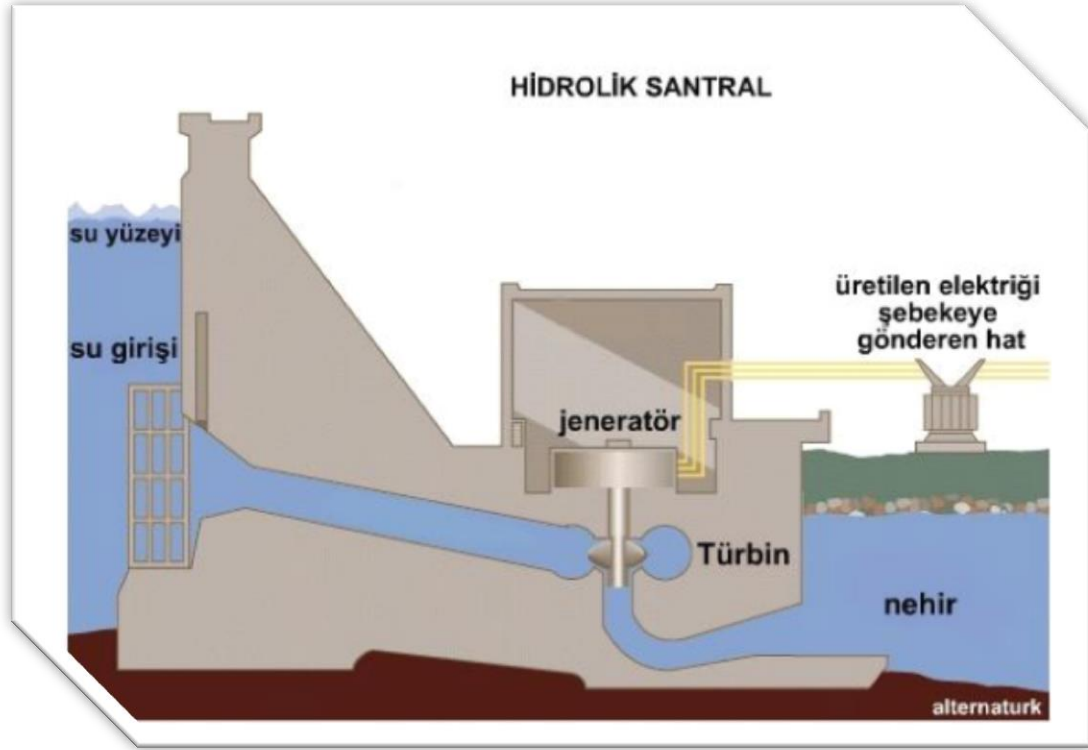
Şekil 2.7 Türkiye'nin belirtilen yıllar arasında jeotermal enerjiden elde edilen toplam kurulu güç oranı (EİGM, 2022)

Şekiller incelendiğinde belirtilen yıllar arasında Haziran 2022 itibari ile 1686 MW olduğu, toplam kurulu güç içerisindeki oranı ise %1.66 olduğu bilgisine ulaşılmaktadır.

2.1.1.4 Hidrolik Enerji

Hidrolik enerji en basit tanımı ile sudan elde edilen enerji demektir. Yüksek araziler ve su bakımından zengin bölgeler üzerine inşa edilen baraj ile suyun birikimini sağlamak daha sonra yığılan bu suyun akış sürati ile meydana bir enerji gelmekte ve bu enerji elektriğe çevrilerek hidrolik enerji elde edilmektedir. Elektrik enerjisini uzun mesafelere aktaran teknoloji keşfedildikten sonra hidrolik enerji daha da yaygın hale gelmiştir. Hidroelektrik santralleri akan suyun gücünü kullanıp, elektrik enerjisine dönüştürürler. Akışkan suların içindeki enerjiyi, suyun akış hızı ve düşüş hızı belirlemektedir. Debisi büyük olan nehirlerde akan su fazla miktarda enerji taşımaktadır. Bir diğer bilgi ise su yüksek bir noktadan düşürüldüğünde yüksek miktarda enerji eldesini mümkün kılmaktadır. Bu şekilde elde edilen enerji için kanal veya borulara alınan su, türbinlere doğru akışa geçer ve elektrik üretiminin sağlanması

için pervane şeklinde kolları olan türbinlerin dönmesini sağlamaktadır. Bu türbinler jeneratörlere bağladır ve mekanik enerjinin elektrik enerjisine dönüşümünü sağlamaktadır (Gedik, 2015). Şekil 2.7’de hidrolik enerji üretim aşamaları gösterilmiştir.



Şekil 2.8 Hidrolik enerji üretim aşaması (Gedik, 2015).

Hidrolik elektrik üretim santraller fosil yakıtlarla çalışan santrallere nazaran hava kirliliğine ve sera gazı etkisine yol açan emisyon gazları oluşturmazlar. Bunun yanı sıra üretim çıktısı atık ürünler oluşturmadiğı için çevresel temiz bir enerji olarak görülmektedir (Gedik, 2015).

2.1.1.5 Dalga Gel-Git Enerjisi

Dalga enerjisi, rzgrların deniz yüzeylerini hareket ettirmesiyle oluşmasını sağlamaktadır. Dalgaların kuvveti rüzgâr etkisinde olduğu için bölgesel olarak farklılık göstermektedir. Ay ve güneşin kütle çekim kuvveti ile dünyayı çekmesinden dolayı denizlerde alçalma ve kabarma oluşması sonucu gel-git enerjisi meydana gelmektedir.

Dalgalardan enerji üretmek her denizde kolay değildir. Bunun sebebi coğrafya ile alakalı olduğu için daha yukarıdaki paralellere ve batı kıyılarına malik olan yerler fazla kârlıdır. Okyanus kıyı dalgaları iç denizlere nazaran daha güçlü ve enerji potansiyeli daha fazladır (Önder, 2021).

Gel-Git enerjisinin avantajları;

- Yenilenebilir enerji kaynakları arasındadır ve doğada sürekli olarak kendini yenileyebilir.
- Temiz enerji kaynakları arasında yer almaktadır. Kullanımı sonucunda doğaya herhangi bir atık ve gazı salınımı bulunmamaktadır.
- Küresel çapta gelgit enerjisinin çok ciddi bir potansiyele sahip olduğu öngörülmektedir (Anonim, 2022).

Dünya Ülkelerinde Gel-Git santralleri kurulu olan yerlere bakacak olursak;

- Fransa da dünyanın ilk gelgit enerji santrali olan “Rance” Gelgit Enerjisi Santralidir. Kurulu gücü 240 MW’dir.
- Güney Kore de kurulu bulunan “Sihwa” Gölü Gelgit Enerji Santrali 254 MW gücündedir.
- Kuzey Amerika’nın ilk gel-git santrali olan “Annapolis Royal Generating Station” kurulu gücü 20 MW gücündedir.
- Çin de bulunan iangxia Gelgit Enerjisi Santrali 3.2 MW gücündedir (Anonim, 2022).

2.1.1.6 Hidrojen Enerjisi

Kimyasal elementlerin olduğu tabloda periyotun birinci elementi olan hidrojen, kâinatta fazla olan, çevreye uygun ve doğada birleşik halde bulunan bir elementtir. Hidrojen gezegenimizin %60’ını oluşturan suyun temel bileşenidir. Hidrojen hayvanlarda, fosil yakıtlarda, insanlarda ve bitkilerde farklı elementlerle birleşik halde bünyelerinde bulunmaktadır. Hidrojen enerjisi günümüzde yakıt veya elektrik enerjisi şeklinde yararlanılmaktadır. Çevre dostu, temiz ve yenilebilir enerji kaynağıdır (Şenaktaş, 2005).

Hidrojen enerjisinin avantajlarını şu şekilde belirtilebilir:

- Hidrojen hem yenilebilir enerji kaynağı hem de herhangi bir enerji kaynağı olarak üretilmesi mümkündür.
- Hidrojen doğal bir yakıt olmayan, birincil enerji kaynaklarından faydalanarak, su, biyokütle ve fosil yakıtlar gibi farklı hammaddelerden üretilen bir yakıttır.
- Hidrojen 3 farklı şekilde depolamak mümkündür. Bunlar; gaz, sıvı ve metal hidrit şeklinde depolanabilir.
- Hidrojen borular ve tankerler ile uzak mesafelere taşınması yapılabilir.
- Hidrojen enerjisinin sera gazı emisyonları nedeniyle küresel ısınma azalımına da katkıda değer etkisi vardır (Gedik, 2015).

2.1.1.7 Biyokütle Enerjisi

Çoğalmakta olan dünya nüfusu ve gün geçtikçe fazlalaşan sanayileşme süreci ile artan enerji ihtiyacının karşılanması için çevreyi kirletmeden ve yenilebilir kaynaklardan olması biyokütle enerjisinin önemini arttırmaktadır. Biyokütle; bitkiler, otlar, yosunlar, denizdeki algler, hayvan dışkıları ve organik atıklardan üretilen enerji “biyokütle enerjisi” olarak tanımlanmaktadır. Günümüzde biyokütle enerji kaynakları kullanılarak biyoetanol, biyobütanol, biyodizel gibi yakıtlar elde edilmektedir. Şekil 2.8’de Biyokütleden elde edilen yakıtlar, çevrim yöntemleri ve uygulama alanları gösterilmiştir (Koçer ve Ünlü, 2007).

Biyokütle	Çevrim Yöntemleri	Yakıtlar	Uygulama Alanları
• Orman Atıklar • Tarım Atıkları • Enerji Bitkileri • Hayvansal Atıklar • Organik Çöpler • Algler • Enerji Ormanları	• Havasız çürütme • Piroлиз • Doğrudan Yakma • Fermantasyon • Gazlaştırma • Hidroliz • Biyofotoliz	• Biyogaz • Etanol • Hidrojen • Metan • Metanol • Sentetik yağ • Dizel	• Elektrik üretimi • Isınma • Su ısıtma • Otomobiller • Uçaklar • Roketler • Ürün kurutma

Şekil 2.8 Ham biyokütlenin çevrim aşamaları (Koçer ve Ünlü, 2007)

Biyokütle enerjisinin avantaj ve dezavantajlarını inceleyecek olursak;

Avantajları:

- Biyokütle enerjisi, çevre dostu, çeşitliliği ve üretim bakımından zengin olan yenilebilir bir enerji kaynağıdır.
- Biyokütle enerjisi yakıt olarak kullanımı tercih edildiğinde atmosferdeki karbondioksit miktarını yükseltmemektedir.
- Biyokütle fosil yakıt kullanılan sistemlerde veya elektrik üreten sistemlerde kullanılabilir.
- Biyokütle enerjisi biyogaz olarak üretimi tercih edildiğinde hayvansal ve bitkisel atıklardan ortaya çıkan diğer atıklar gübre olarak kullanımı yapılabilir.
- Biyokütlenin enerji üretiminde çöplerin kullanılması, çöp alanlarından atıkları azaltmaktadır.
- Biyokütle enerjisi dünyanın her yerinde erişim sağlanabilecek ve kolaylıkla kullanımı sağlanacak enerji kaynağı olarak nitelendirilebilir.
- Ülkemiz için biyokütle enerjisinden enerji üretimi sağlanması enerji tüketiminde dışa bağımlılığı azaltmaktadır (SERKA, 2022).

Dezavantajları;

- Biyokütle enerjisi için ihtiyaç duyulan bitkilerin yetiştirilmesi için fazla miktarda tarım arazisine yanı sıra sulamaya gereksinim duymaktadır. Bu da arazilerin yanlış kullanımına sebebiyet vermektedir.
- Global tarım için kullanılan arazilerin dünya nüfusu için gıda talebini karşılamada yetersiz kalacağı endişesi, bu verimli toprakların biyokütle enerjisi için kullanımına mani olmaktadır.
- Orman arazilerinin biyokütle enerjisi için zarar verilmesi, bu alanlarda yaşayan canlılar için tehlike arz edecektir.
- Biyokütle enerjisi için yetiştirilen bitkilerin üretiminde kullanılan azotlu gübre, sera gazı salınımını artırmakta, toprağın yapısını bozmakta ve su kaynaklarının kirlenmesine yol açmaktadır (SERKA, 2022).

Biyoyakıtlar

Bir hayli zamandır temel enerji kaynağı olarak kullanılan fosil yakıtlar tükenebilecek kaygısı, çevresel zararlı oluşu gibi sebeplerden ötürü yenilebilir güç kaynaklarına ihtiyaç duyulmaktadır. Çevre zararlarını azaltmak, küresel enerji ihtiyacını karşılamak için başta biyoyakıtlar olmak üzere yenilebilir kaynaklara meyletmek durumundayız. Olabilecek organik maddeden elde edilen yakacak olarak biyoyakıtı tanımlayabiliriz (Işık ve Yavuz, 2022). Biyoyakıtların yakıt olarak kullanılmasının avantaj ve dezavantajları şu şekilde sıralanabilir:

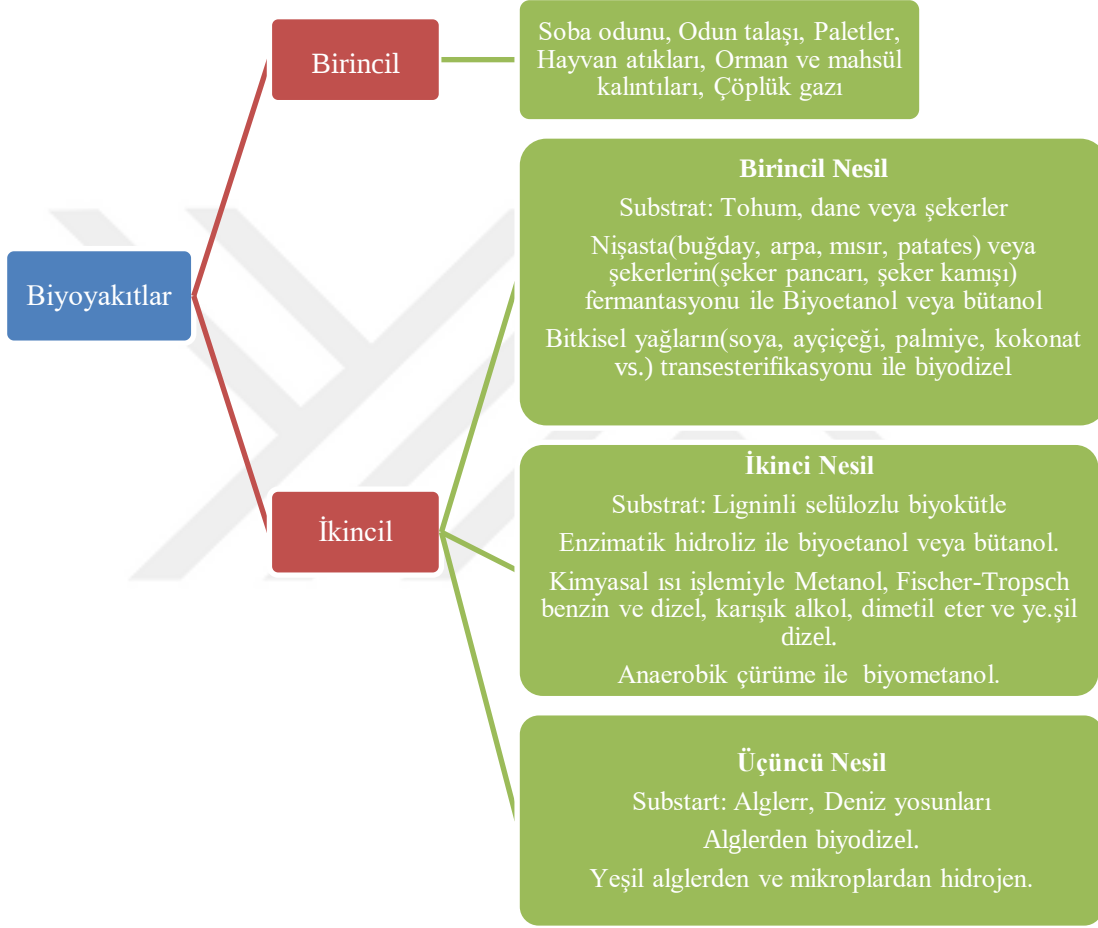
Avantajları;

- Yenilenebilir enerji kaynağıdır.
- Tehlikeli (CH_4 , CO_2 , NO_x , SO_x , toksik eser elementleri) emisyonları azaltır.
- Fosil yakıtlar korunur.
- Yenmeyen biyokütle kullanılır.
- Biyokütle kalıntılarını ve atıkları azaltır.
- Yakıt arzı ve enerji güvenliğinin çeşitlendirilmesi

Dezavantajları;

- Biyokütle hammaddelerinin güvensizliği
- Arazinin yanlış kullanılabilmesi, topraktaki böceklerle karşı ilaçlama yapılması vb. nedenlerden dolayı ekolojiye zarar vermesi
- Biyoyakıtlar hakkında yeterince bilgi sahibi olunmaması,
- Enerjinin yoğunluğu bakımından düşük olması
- Yüksek yatırım maliyeti
- Biyoyakıtlar için yenilenebilir enerji kaynağının eksikliği

Biyoyakıtlar birincil ve ikincil biyoyakıtlar olarak iki sınıfa ayrılmaktadır. Şekil 2.9'da Biyoyakıtların sınıflandırılması verilmiştir.



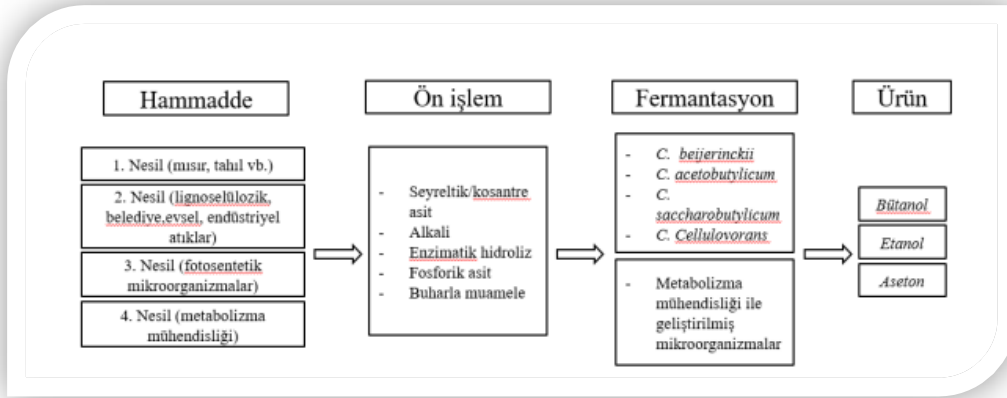
Şekil 2.9 Biyoyakıtların sınıflandırılması (Işık ve Yavuz, 2022)

Biyobütanol

Sıvı biyoyakıtlardan olan Biyobütanol: karbon, hidrojen ve oksijenden oluşan, kaynama noktası 118°C ve erime noktası -89°C olan sıvı bir alkoldür. Bütanol tarım ürünlerinin anaerobik fermantasyon yoluyla ve ham petrolden elde edilmektedir (İlçin, 2020). Bütanol biyoyakıt olarak kullanılmasında avantajları şu şekilde sıralanabilir: yakıtlar grubunda yer alan sıvı yakıtlarla verimli karışım sağlaması, yüksek oktan sayısına sahip olması, az aşındırıcı olması ve çok iyi enerji muhteva etmesidir (Yılmaz, 2016). Biyobütanol benzin ve dizel ile kolay karışabilir özelliğe sahiptir. Bu özellik sayesinde yakıt olarak kullanımı tercih edildiğinde araçların motorları içerisinde değişime gerek duymamaktadır. Biyobütanol ayrıca uzayan zincir şeklinde bir alkol olması, verimli enerji yoğunluğu sayesinde yakıt performansının iyi olmasını sağlamaktadır. Bütanol farmakoloji ve kimya sektöründe uzun yıllardır kullanımı yapılan kayda değer bir meta olmuştur. Biyobütanol günümüzde yüksek oranda üretim potansiyeli bulunan etanol ve dizele göre pek çok avantajı bulunmaktadır. Biyodizeldeki problem araç motorlarında modifikasyon yapılmadan direkt olarak kullanılmamaktadır. Etanoldaki sorun az enerjili olması ve su içerisinde çözünürlüğü verimli yapıda olmasıdır. Belirtilen olumsuzluklar kıyaslandığında biyobütanol verimli nitelikleri sayesinde bu soruna çözüm olabilmektedir (Tekin, 2023).

Biyobütanol Üretimi

Biyobütanol eldesi faal ve önemli bir süreç gerektirmektedir. Biyobütanol elde etme işlemi ham madde, ön işlem, fermantasyon ve ürün eldesi aşamalarından oluşmaktadır. Şekil 2.10'da biyobütanolün üretim aşamaları verilmiştir (Tekin, 2023).



Şekil 2.10 Biyobütanol üretim süreci (Tekin, 2023)

Üretim aşamasında her bir basamak büyük önem taşımaktadır. Şöyle ki; fermantasyon için kullanılacak karbon kaynağı, bu karbon kaynağının fermente edilebilir forma girmesi ve üretimi neticelenecek olan mikroorganizmanın faaliyeti tüm bu süreç boyunca odaklanması gereken yerlerdir (Tekin, 2023).

2.2 Mikroalg

Mikroalgler; her türlü sularda, denizlerde yaşayabilen fotosentez yapma özelliği olan bir veya birden çok hücre yapısına sahip canlılar olarak ifade edebiliriz. Mikroalglerin kimyasal formülü için iki farklı formül mevcuttur, biri $CO_{0.48}H_{1.83}N_{0.11}P_{0.01}$ olarak bir diğeri ise $C_{106}H_{181}O_{45}N_{16}P_1$ olarak kabul görmektedir (Töre ve Işık, 2020). Mikroalgler inorganik maddeleri ve ışığı bünyelerine alarak fotosentez gerçekleştirirler ve inorganik maddelerden organik madde üretirler. Mikroalgler içerik olarak protein, karbonhidrat ve yağ asidi ihtiva etmekte ve bunlar bolca bulunmaktadır. Mikroalgler proteince zengindir ve Potasyum, Sodyum, Magnezyum, Demir gibi maddeleri bol miktarda içermektedir. Mikroalgler tarım, gıda, yem, ilaç, eczacılık ve kozmetik gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Alg türleri prokaryotik (mikroalg) ve ökaryotik (makroalg) olarak sınıflandırmak mümkündür (Eliçin vd., 2013).

2.2.1 Mikroalg Yetiştirme Sistemleri

Kendilerine özgü durumlarından kaynaklı mikroalg türlerinin yetiştirildiği ortamlar farklılık gösterebilmektedir. Mikroalgler açık sistemeler(havuz) ve kapalı sistemler(Fotobiyoreaktör) olmak üzere sınıflandırılırlar. Açık sistemler mikroalg yetiştirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Kapalı sistemler olan fotobiyoreaktörlerde algleri yetiştirilmesi için gerekli olan kimyasal ve fiziksel parametreler kontrol altına tutulabilmektedir (Oktor, 2018).

2.2.1.1 Açık Sistemler

Açık havuzlar en yaygın ve en basit üretim yöntemi olup, büyük ölçekli üretim için düşük maliyetli bir yöntemdir. Açık havuzlar üzerinde iklim koşulları önemli bir rol oynamaktadır. Endüstriyel sektörde yaygın kullanımı olup, mikroalg biyokütlesinin %98'inden fazlasının üretimi açık sistemlerde yapılmaktadır. Yanı sıra açık havuz kullanımı mikroalglerin doğal yaşam süreçlerine benzerlik göstermektedir (Oktor, 2018). Şekil 2.11'de Mikroalg üretim için açık sistemler verilmiştir.

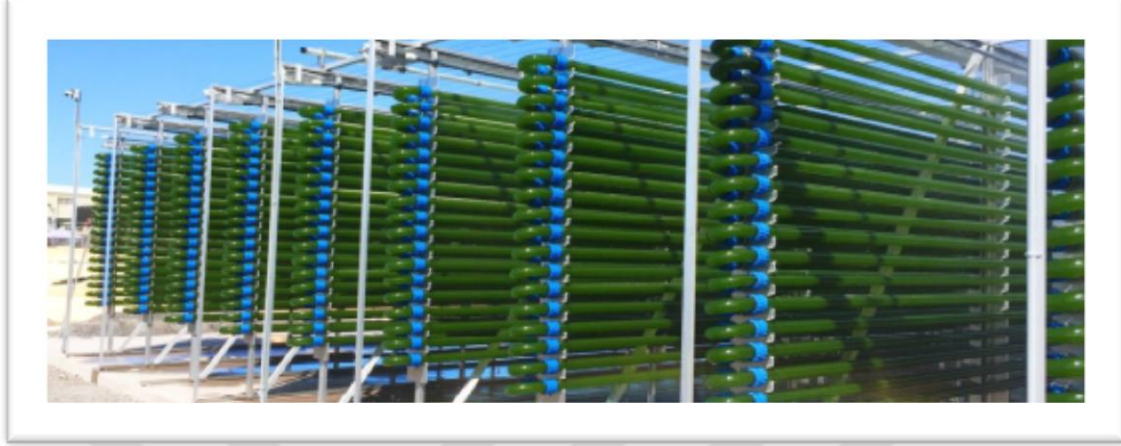


Şekil 2.11 Mikroalg üretimi için açık sistemler (Kargın, 2020)

2.2.1.2 Kapalı Sistemler

Kapalı sistemler açık sistemde yer alan olumsuzlukları gidermek amacıyla örneğin iklim koşulları gibi uygulanmaktadır. Fotobiyoreaktörler mikroalgelere korumalı

bir ortam sağlamaktadır. Yaygın olarak kullanılan sistemlerden bazıları; yatay tübüler, düz plaka, sarmal tübüler fotobiyoreaktörler olarak belirtilebilir (Oktor, 2018).



Şekil 2.12 Mikroalg üretimi için kapalı sistemler: Fotobiyoreaktörler (Gürsu, 2021)

Açık sistemler ve kapalı sistemler mikroalg yetiştiriciliğinde kullanılan sistemler olup, bunların karşılaştırması çizelge 2.1’de detaylı olarak verilmiştir.

Çizelge 2.1 Mikroalg yetiştirme sistemlerinin karşılaştırılması (Töre, 2020)

Yetiştirme Sistemi	Açıklama	Avantajları	Dezavantajları
Açık sistemler	Palet çarklı bir karıştırıcı ile karıştırılan açık tank	Kapalı sistemlere göre daha düşük başlangıç yatırımı, daha ucuz bakım ve daha kolay kurulum.	Düşük verimlilik, olası dış ortam kirliliği ve buharlaşma kayıpları. Büyük miktarda su gerekli.
Kapalı sistemler Fotobiyoreaktörler (PBR)	Sıcaklık, aydınlatma ve besin kaynağı kontrolü	Yüksek kitle transferi ve verimlilik; açık sistemlere göre daha az kirlenme ve daha kolay kontrollü koşullar.	Açık sistemlere göre daha yüksek maliyetli ve daha zor kurulum.
Sütun PBR	Genellikle 0,2 m2 yüzey alanı ve yüksekliği 4 m’ye kadar olan silindirik reaktörlerdir	Düşük kesme kuvvetleri, duvar biyofilm riskinin olmaması, yüksek CO2 kullanım verimliliği ve güneş ışığını kullanma yeteneği.	Yeterli aydınlatma ve karıştırma sağlamak için yüksek enerji gereksinimi.

Çizelge 2.1 Mikroalg yetiştirme sistemlerinin karşılaştırılması (devam)

Tübüler PBR	Yatay, eğimli veya dikey bir şekilde yerleştirilmiş ve güneş ışığına doğru yönlendirilmiş tüplerden oluşan sistem	Yüksek ışık dönüştürme verimliliği.	Fotosentetik verimlilikte azalma. Kabarcık riskinin çok olduğu düz plakalı PBR ile karşılaştırıldığında çok yüksek enerji tüketimi.
Düz Plaka PBR	Yüksek yüzey/hacim oranına sahip olan kübitik şekilli cam reaktör; hava kabarcıkları veya mekanik rotasyonla sağlanan çalkalanma.	Kitle transferi, verimliliği ve ısı transfer kapasitesi tübüler fotobiyoreaktörlerden daha az güç kaynağı gerektirir.	Havalandırma ile ilgili potansiyel kısıtlama.
Membran PBR	Ortam içinden geçen bir membran mikroyapılı hücrelerle tutulur, bir süzme tanına bağlı silindirik PBR.	Düşük derinlemesine hidrodinamik hasar imkanı verir.	Algeonik organizma birikimi nedeniyle membranların tıkanması.
Bağlı (biyofilm) büyüme	Bir destek materyali üzerinde büyüyen alg sistemleri	Diğer sistemlere kıyasla daha yüksek verimlilik, su ve enerji tasarrufu.	Foto inhibisyon oluşabilir.

2.2.2 Mikroalg Üretiminde Etkili Olan Faktörler

Mikroalgler çevre ile etkileşim halindedir. Işık, sıcaklık, besin maddesi, pH ve karıştırma mikroalgleri etkileyen parametreler arasında gösterilebilir. En iyi üretim için bu çevresel parametrelerin mükemmel bir seviyelerde olması gerekmektedir (Eleren ve Öner, 2019).

2.2.2.1 Işık

Işık faktörü fotosentez reaksiyonları sırasında mikroalg gelişimde önemli bir rol oynar. Genel olarak yapılan araştırmalar neticesinde Mikroalgler, fotosentez için 400-700 nm dalga boylarındaki ışığı kullanırlar. Mikroalgler tarafından adsorbe edilen dalga boyu mikroalg türüne göre değişiklik göstermektedir. Işık kullanım verimliliği, mikroalg türünün yetiştirilmesinde iyi bir sonuç almak için her koşulda uygun düzeyde tutulması gerekmektedir. Şöyle ki; aşırı ışık şiddeti hücrelere zarar vererek mikroalg gelişimine, düşük ışık şiddeti de büyümelerine etki etmektedir (Eleren ve Öner, 2019).

2.2.2.2 Sıcaklık

Doğa yaşayan her canlı için sıcaklık önem arz ettiği gibi mikroalgler için de önemli bir parametredir. Yetiştirilen her bir mikroalg türü için optimum sıcaklık değişiklik gösterebilir ve mikroalglerin genellikle 5-35°C sıcaklıklarda gelişim sağladıkları söylenebilir. Yüksek sıcaklık değerlerinde büyüme hızının arttığı gözlenirken, düşük sıcaklık değerlerinde bu durum tam tersi yönde etki edebilmektedir. Bu yüzden her mikroalg türü için optimum sıcaklık tercih edilmelidir (Gürsu, 2021).

2.2.2.3 Besin Maddesi

Tüm canlılar yaşamlarını sürdürebilmek için besin kaynağına gereksinim duymaktadır. Mikroalglerin büyümesi için ana besin kaynakları; karbon, azot ve fosfor bileşikleridir. Bunun yanı sıra potasyum, magnezyum, demir, çinko, kalsiyum, molibden, kobalt, selenyum ve nikel gibi minerallerde eser miktarda gereksinim duyulan besinlerdir. Mikroalgler CO₂/O₂ dönüştürücüsü olan fotosentetik canlılar için gereksinim duydukları karbondioksiti atmosferden veya sanayi tesislerinden temin edebilirler. Bacalardan kaynaklı karbondioksitin azaltılması için birçok araştırma yapılmakta olup, mikroalglerin kullanımı ile azaltılması çevre kirliliğinin önlenmesi için de önem ifade etmektedir. Azot her canlıda olduğu gibi mikroalglerin büyümesinde de önemli bir besindir. Azot mikroalgin büyümesi, çoğalması ve fizyolojik aktiviteleri için gereklidir. Mikroalgler azotu en çok nitrit, nitrat, amonyum ve üre formunda kullanılmaktadırlar (Koçak vd., 2020). Hücre gelişimi ve mikroalg metabolizması için fosfor gereksinim duyulan bir besin kaynağıdır. Fosfor enerji transferi, hücresel sinyal üretimi, fotosentez, solunum vb. faaliyetlerde önemli bir görev üstlenmektedir (Oktor, 2018).

2.2.2.4 Ph

Mikroalgler gelişimi için en uygun pH değeri sağlanmalıdır. Mikroalglerin metabolik aktiviteleri ve besin alımı süreçlerinde pH çok önemli bir etkiye sahiptir. Bir çok araştırma neticesinde elde edilen veriye göre yetiştirilen mikroalg türleri için en

uygun pH değeri 7-9 aralığında olduğu belirtilmiştir. Yüksek pH değerlerinde, hücresel işlemler bozulma göstereceğinden ve yetiştirilen kültürün tümünden zarar tehlikesinden dolayı kültürün en iyi aralıkta tutulması gerekmektedir (Sayaner, 2013).

2.2.2.5 Karıştırma

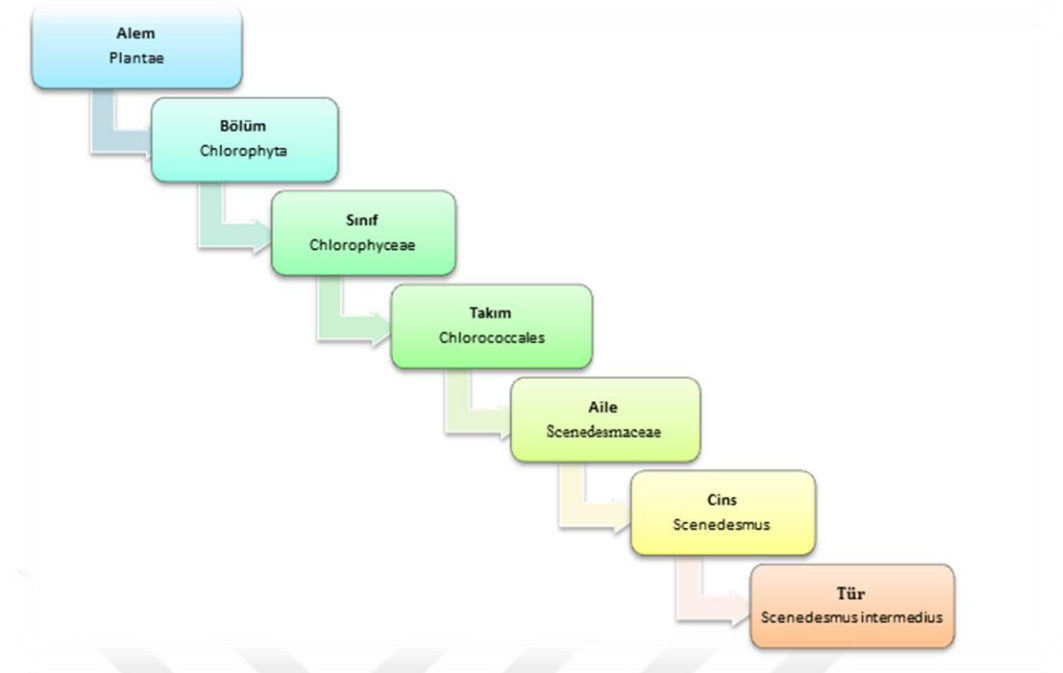
Karıştırma mikroalglerin yetiştirilmesi sürecinde önemli bir etkidir. Çünkü kullanılan ışık, sıcaklık, oksijen ve karbondioksitin homojen dağılımının sağlanması gerekmektedir. Bu dağılımın için optimum karıştırma değeri kullanılması gerekmekte ve bu da mikroalglerin büyümesi için önemli bir parametre evresidir. Mikroalglerin yavaş karıştırılmasında oluşturulan mikroalg kültürü içinde karanlık bölgelerin olmasını, mikroalgin hızlı bir karıştırma yapılmasında ise hücrelerin zarar görmesine sebebiyet verecektir (Gürsu, 2021). Karıştırma aşağıda belirtilen avantajları sağlamaktadır; (Sayaner, 2013)

- Mikroalg hücrelerinin çökmesini engeller,
- Ortamdaki her hücrenin ışık ve besin öğeleri ile buluşmasını sağlar,
- Isı transferine olanak sağlayıp termal tabakalaşmayı engeller,
- Kültür ile hava arasındaki gaz değişimini geliştirir (Sayaner, 2013).

Karıştırma işleminde mekanik karıştırıcılar, pompalar ve gaz dağıtıcı sistemler kullanılmaktadır. Açık sistemlerde genel olarak mekanik karıştırıcılar kullanılırken kapalı sistemlerde pompalar ve/veya gaz dağıtıcılar tercih edilmektedir (Gürsu, 2021).

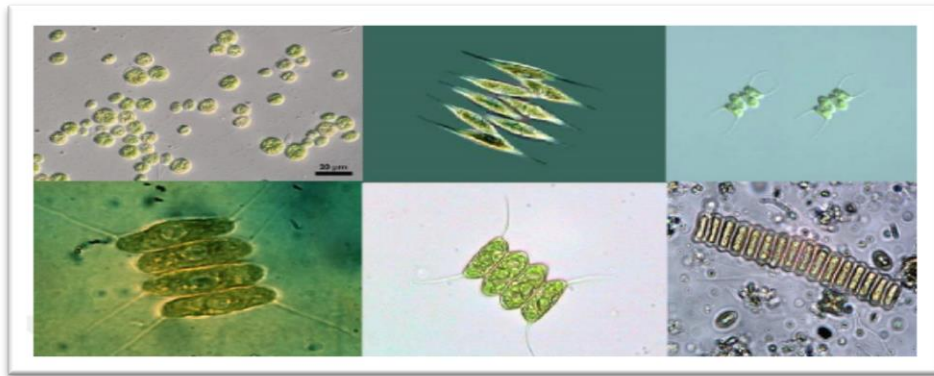
2.2.3 *Scenedesmus*

Algler yedi ana başlık altında incelenebilir. Bunlar; Yeşil Algler, Mavi-Yeşil Algler, Esmer Algler, Kamçılı Algler, Ateş Rengi Algler, Kırmızı algler ve Altın Rengi alglerdir. *Scenedesmus* türü yeşil algler grubunun bir üyesidir. *Scenedesmus* hem tatlı hem tuzlu sular içerisinde yaşamını sürdürebilen tek ve ya çift rakamlı (2, 4, 8, 16'lı) hücre halindedir (Kurusakız, 2020). Şekil 2.13'de *Scenedesmus* sınıflandırılması incelenecek olursa;



Şekil 2.13 *Scenedesmus* sınıflandırılması (Kurusakız, 2020)

Scenedesmus Chlorophyceae sınıfının *Scenedesmaceae* ailesinin bir üyesidir. Hücre içeriği 1 kromatofor, 1 çekirdek ve 1 pirenoid bulunmakta ve göz ve kamçısı bulunmamaktadır. *Scenedesmus* türleri protein açısından verimlidir. Biyokütlesinin protein içeriği %50 ila %53 arasında olduğu bilinmektedir. Biyoteknolojik çalışmalarda sıkça kullanımı sağlanmaktadır (Kurusakız, 2020). Şekil 2.14'te *Scenedesmus* türleri verilmiştir.



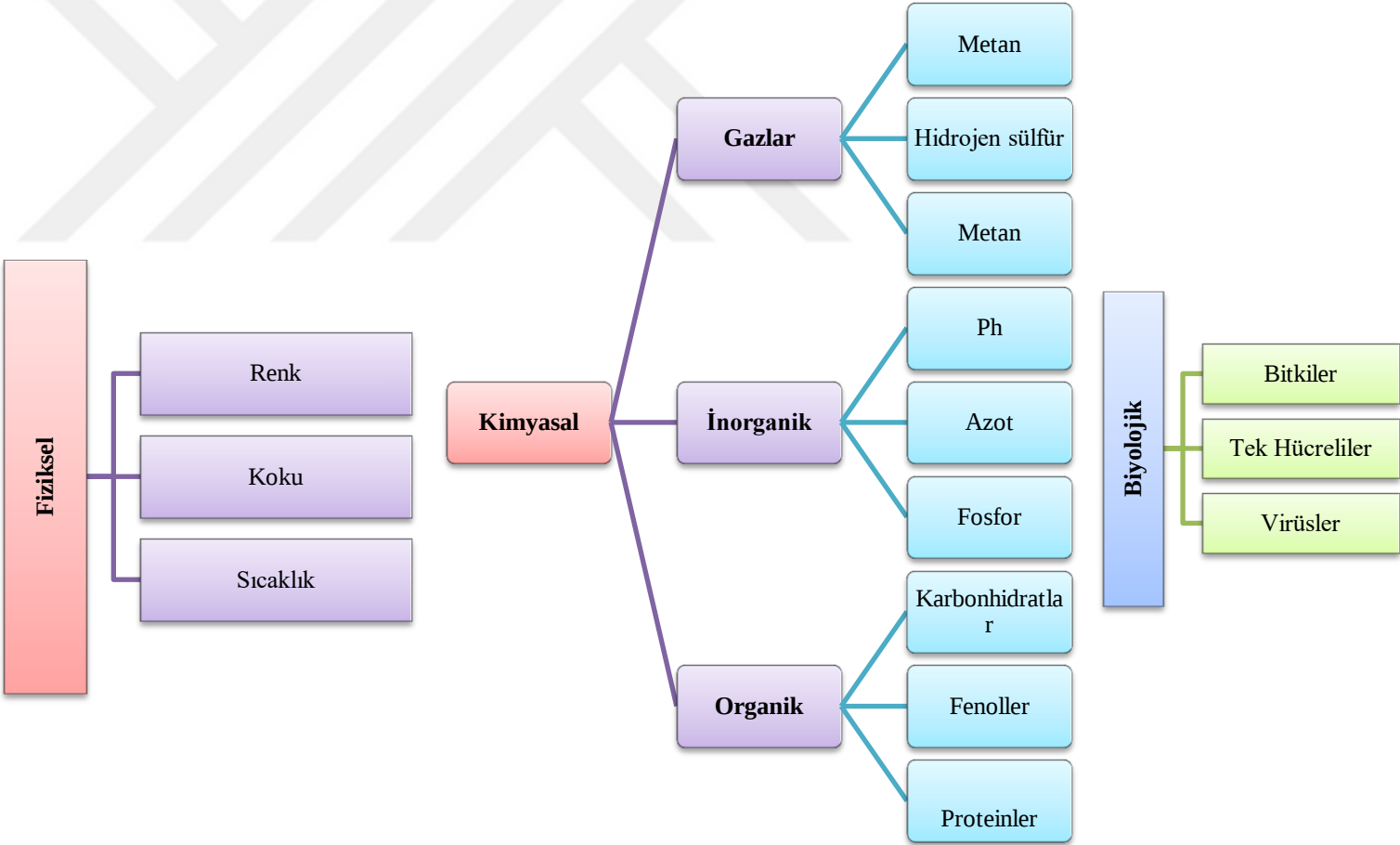
Şekil 2.14 *Scenedesmus* türleri (Kurusakız, 2020)

2.2.4 Atıksu

Atıksu insanoğlunun aktif olarak kullanımı sağladığı evsel, endüstriyel, tarımsal yerlerde kullandığı kirlenmiş sular ile yağmurdan sonra cadde veya sokaklarda biriken sular atıksu olarak ifade edilebilir (Orhan, 2016). Bu atıksular doğrudan çevreye zarar verebilecek sıvılardır. Atıksuyun yönetimi önem taşımakta zira çevreye doğrudan aktarımı hem çevresel zararlara hem de insan sağlığına ciddi risk teşkil etmektedir. Atıksu yönetiminin gayesi bu suların temizlenerek doğaya kazandırılmasını sağlamaktır. Atıksuları üç ayrı başlık altında gösterilebiliriz. Bunlar; Evsel atıksu, Endüstriyel atıksu ve Kentsel atıksulardır (Köymen, 2019).

2.2.4.1 Evsel Atıksu

Yaşamımızda yapmış olduğumuz mutfak işleri, banyo ihtiyaçları, çamaşır yıkama ihtiyacı vb. ihtiyaçlardan oluşan kirlenmiş sular ile insanların yaşam faaliyetlerini sürdürdükleri okullar, evler, hastaneler gibi yerlerden oluşan kirlenmiş sular evsel atıksu olarak tanımlanabilir. Atıksu özellikleri bakımından 3 ayrı grupta belirlenmiştir. Bunlar fiziksel, kimyasal ve biyolojik bileşenlerdir. Atıksu bileşenleri aşağıda belirtilmiştir (Sinan, 2010). Şekil 2.15'te Evsel atıksu bileşenlerinin özellikleri verilmiştir.



Şekil 2.15 Eysel atıksu bileşenlerinin özellikleri (Sinan, 2010)

2.2.4.1.1 Atıksu Karakteristikleri

Atıksu karakteristikleri, suyun kalitesi ve içeriği hakkında bilgi veren çeşitli parametreleri içerir. Temel karakteristikleri şunlardır: Biyolojik oksijen ihtiyacı, kimyasal oksijen ihtiyacı, toplam katı madde, pH değeri, azot ve fosfordur.

Biyolojik Oksijen İhtiyacı(BOİ)

Su ekosistemlerinde organik maddelerin biyolojik olarak parçalanması sırasında tüketilen oksijen miktarını ifade eder. Suyun biyolojik olarak ne kadar kirli olduğunu belirleyen parametredir. Arıtma tesislerinin hem işletilmesi hem de arıtılması süreçlerinde BOİ önemli bir parametredir. Laboratuvar ortamında yapılan BOİ testleri genellikle 20 °C ve 5 gün süreli olacak şekilde yapılmaktadır. 5 günün sonundan alınan numune sonucu BOİ₅ değerini verir (Şen, 2019).

Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)

Su içerisinde mevcut bulunan organik ve inorganik maddelerin kimyasal yöntemlerle oksitlenmesi için gereken oksijen miktarını ifade eder. Kimyasal oksijen ihtiyacı testi, suyun kirlilik seviyesini değerlendirme de kullanılır ve genellikle biyolojik oksijen ihtiyacına göre daha hızlı sonuç verir. Yüksek miktarda çıkan kimyasal oksijen ihtiyacı değerleri suyun kirlenmiş olduğunu ve yüksek oranda organik ve inorganik madde içerdiğini göstermektedir. Bu değer, arıtma süreçlerinin etkinliğini değerlendirmek için önem arz etmektedir (Şen, 2019).

Toplam Katı Madde

Suyun içinde bulunan katı parçacıkların miktarını ifade eder. Katı maddeler atıksu arıtma tesislerinde genellikle giriş kısmında arıtımı yapılarak uzaklaştırılır. Bu şekilde arıtma sistemine gelebilecek olan katı parçalar sisteme zarar vermeden bertarafı sağlanmaktadır (Şen, 2019).

pH Değeri

Suyun asidik veya bazik olup olmadığını gösterir. Atıksuyun pH değeri arıtma sürecinde çok önemli bir etkindir. Genel standartlara göre içme suyu için tavsiye edilen pH değeri 6-8 Aralığında tercih edilmektedir (Şen, 2019).

Azot

Atıksu da azot genellikle amonyak(NH₃), nitrit(NO₂) ve nitrat(NO₃) formlarında bulunmaktadır. Bu azot bileşenleri organik maddelerin bozulması sonucu oluşur ve mikroorganizmalar azotu besin maddesi olarak kullanmaktadır. Azot atıksu arıtma süreçlerinde önemli bir rol oynamaktadır. Azot giderimi genellikle biyolojik arıtma süreçleriyle gerçekleşmektedir (Şen, 2019).

Fosfor

Fosfor genellikle deterjanlar, tarımsal gübreler ve organik maddeler ile atıksuya karışmaktadır. Aşırı fosfor yüklenmesi alg patlamasına yol açarak su kaynaklarının kalitesini bozmaktadır. Fosfor giderimi atıksu arıtma tesislerinde önemli bir süreçtir. Biyolojik arıtma sürecinde mikroorganizmalar fosforu bünyelerine alarak depolamaktadırlar (Şen, 2019).

2.2.4.2 Endüstriyel Atıksu

İnsanoğlunun günümüz teknoloji çağında birçok sanayi ve ticari faaliyet yapan üretim tesislerinden kaynakları kirlenmiş sular endüstriyel atıksu olarak ifade edilebilir. Evsel atıksular ile kıyasladığıında endüstriyel atıksular hem kimyasal hem de fiziksel kirlilik parametreleri evsel atıksulara nazaran daha fazladır. Fabrikalardan çıkan atıksuların arıtılmadan doğrudan nehirlere, gllere vb. yerlere deşarj edilmesi ekolojik sorunlara sebep olmaktadır. Bundan dolayıdır ki, çevresel kirliliğin önlenmesi adına deşarj edilen endüstriyel atıksuların mutlaka arıtılması ve daha sonra deşarj edilmesi gerekmektedir. Endüstriyel atıksular genellikle kimyasallar, ağır metaller vb. kirleticiler

içermektedirler. Endüstriyel atıksuların arıtılması için arıtma tesisleri inşa edilmektedir ve arıtma tesislerinde fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma süreçleri mevcuttur (Köymen, 2019).

2.2.4.3 Kentsel Atıksu

Hızlı şehirleşme süreci neticesinde evsel atıksu, endüstriyel atıksu ve caddelerde biriken yağmur suların bir araya gelmesi ile oluşan sulardır. Yaşanan hızlı şehirleşme sebebiyle çarpık kentleşme ve yetersiz alt yapılara neden olmaktadır. Alt yapının yetersiz olması ile kentlerde karışık gelen atıksular arıtma yükünü arttırmakta ve arıtmanın verimine etki etmektedir. Olması gereken ise kentlerde yağmur ve atıksularının ayrıştırılması ve bu şekilde arıtımın sağlanmasıdır. Temiz ve sağlıklı şehirler için alt yapı problemlerinin üstesinden gelinmeli ve çözüm üretilmelidir. Arıtılan atıksular hem doğa hem de insan sağlığı açısından risk teşkil etmeyecektir (Köymen, 2019).



3. MATERYAL VE METOT

3.1 Materyal

3.1.1 Mikroalg Suşu

Yapılan bu çalışmada *Scenedesmus sp.* suşu kullanılmıştır. 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 TAP besi yerinin kompozisyonu gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 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 besi yeri ortamının içeriğine yer verilmiştir.

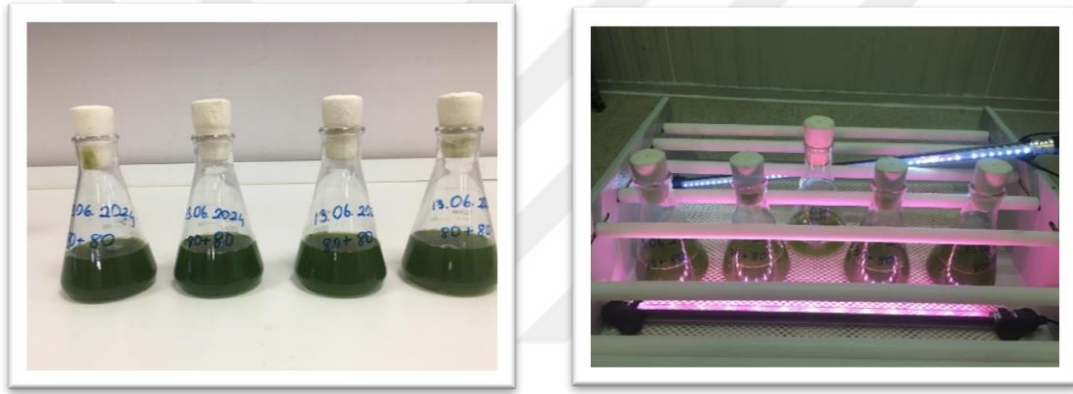
Çizelge 3.2 Besi yeri ortamının içeriği

Stock Solution(SL)	Volume	Component	Concentrasyon in SL	Conc. in Final Medium
Tris base	2.42 g	H ₂ NC(CH ₂ OH) ₃ Tris(hydroxymethyl)- aminomethan		2.00*10 ⁻² M
TAP-salts (Beijerinck salts)	25 mL	NH ₄ Cl MgSO ₄ -7H ₂ O CaCl ₂ -2H ₂ O	15 g. L ⁻¹ 4 g. L ⁻¹ 2 g.L ⁻¹	7.00*10 ⁻³ M 8.30*10 ⁻⁴ M 4.50*10 ⁻⁴ M
Phosphate solution	1 mL	K ₂ HPO ₄ KH ₂ PO ₄	28.8 g*100 mL ⁻¹ 14.4*100 mL ⁻¹	1.65*10 ⁻³ M 1.05*10 ⁻⁴ M
Trace elements Solution (Hutner trace elements)	1 mL	Na ₂ EDTA-2H ₂ O(Titriplex III) ZnSO ₄ -7H ₂ O H ₃ BO ₃ MnCl ₂ -4H ₂ O FeSO ₄ -7H ₂ O CoCl ₂ -6H ₂ O CuSO ₄ -5H ₂ O (NH ₄) ₆ MoO ₃	5.00 g*100 mL ⁻¹ 2.20 g*100 mL ⁻¹ 1.14 g*100 mL ⁻¹ 0.50 g*100 mL ⁻¹ 0.50 g*100 mL ⁻¹ 0.16 g*100 mL ⁻¹ 0.16 g*100 mL ⁻¹ 0.11g*100 mL ⁻¹	1.34* 10 ⁻⁴ M 1.36* 10 ⁻⁴ M 1.84* 10 ⁻⁴ M 4.00* 10 ⁻⁵ M 3.29* 10 ⁻⁵ M 1.23* 10 ⁻⁵ M 1.00* 10 ⁻⁵ M 4.44* 10 ⁻⁵ M
Acetic acid, conc.	1 mL	CH ₃ COOH		

3.2 Metot

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 de yetiştirilmiştir. Polietilen, polipropilen, polistiren ve PVC içinde ayrıca büyütülmüştür. *Scenedesmus sp*'nin şişelerde yetiştirilmesi Şekil 3.1'de gösterildi.



Şekil 3.1 *Scenedesmus sp.*'nin şişelerde yetiştirilmesi

3.2.2 Atıksuyun Hazırlanması

Bu çalışma da belediye atıksuyu sentetik olarak hazırlandı. TAP medium ile atık su (%75 ve %25) oranda karıştırılarak kullanıldı. İçeriği Çizelge 3.3'de belirtilmiştir.

Çizelge 3.3 Sentetik belediye atıksuyu içeriği (Abdelrahman, 2018)

İçerikler	Konsantrasyon (mg/L)
Glukoz ($C_6H_{12}O_6$)	350
Nişasta	200
Üre (CH_4N_2O)	20-100
Potasyum Fosfat KH_2PO_4	40
Amonyum Sülfat ($(NH_4)_2SO_4$)	50
Magnezyum Sülfat ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$)	80
Sodyum Karbonat (Na_2CO_3)	150
Sodyum Klorür (NaCl)	80
Kalsiyum Klorür ($CaCl_2 \cdot 2H_2O$)	20

3.2.3 Karbonhidrat ve Biyobütanol Konsantrasyonu Belirlenmesi

Karbonhidrat hidrolizi için asit hidroliz metodu kullanıldı ve 1M HCl ile alg örnekleri hidroliz edildi. Daha sonra örnekler *Clostridium acetobutylicum* ile fermente edildi ve biyobütanol konsantrasyonu 520 nm de spektroskopik olarak ölçüldü (Onay ve Sapci Ayas, 2024).

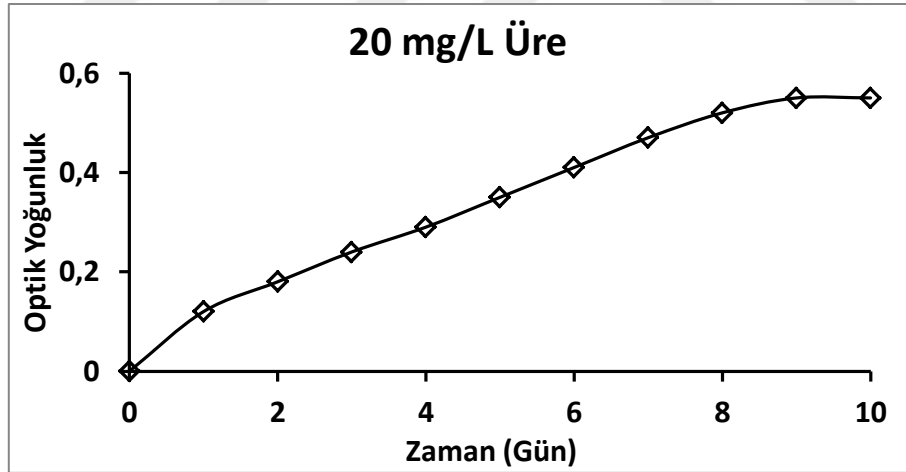


4. BULGULAR

Scenedesmus sp.'den günlük düzenli olarak lmler alındı. Ortam besiyeri olan TAP de üre kullanıldığında etkisini araştırmak için 20, 40, 60, 80 ve 100 mg/L konsantrasyonlarda 5 ayrı üre inceledik. Buna ek olarak ışık şiddeti 20, 40, 60, 80 ve 100 $\mu\text{mol/m}^{-2}\text{s}^{-1}$ olarak alındı ve bunların optik yoğunluk, karbonhidrat miktarı, karbonhidrat yüzdesi ve karbonhidrat verimleri belirlendi. Mikroplastik çalışmalarında büyüme düşük kaldığı için diğer parametreler ile çalışmaya devam edildi.

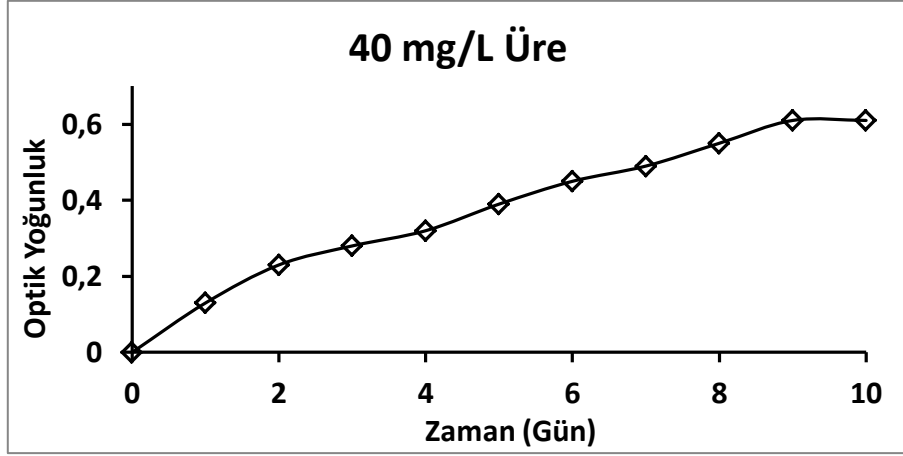
4.1 Farklı re Konsantrasyonlarında Optik Yoğunluk (OY) İncelenmesi

Üre 20 mg/L olduğunda optik yoğunluk altı günün sonunda 0.41 olarak hesaplandı. *Scenedesmus sp.* bu değerden sonra büyümeye devam ederek 10. günün sonunda 0.55 değeri ile durağan faza ulaştı. Üre 20 mg/L olduğundaki *Scenedesmus sp.*'nin büyüme eğrisi şekil 4.1 içerisinde verildi.



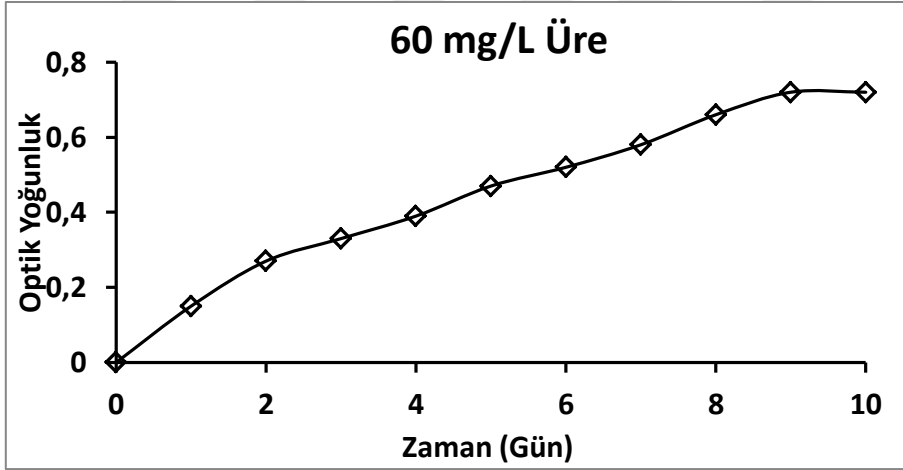
şekil 4.1 20 mg/L re konsantrasyonlarındaki büyüme eğrisi

Üre 40 mg/L olduğunda *Scenedesmus sp.*'nin optik yoğunluk değeri altıncı günün sonunda 0.45 olarak hesaplandı. *Scenedesmus sp.* bu değerden sonra da büyümeye devam ederek 10. günün sonunda 0.61 değeri ile durağan faza ulaştı. Üre 40 mg/L olduğundaki *Scenedesmus sp.*'nin büyüme eğrisi şekil 4.2 içerisinde verildi.



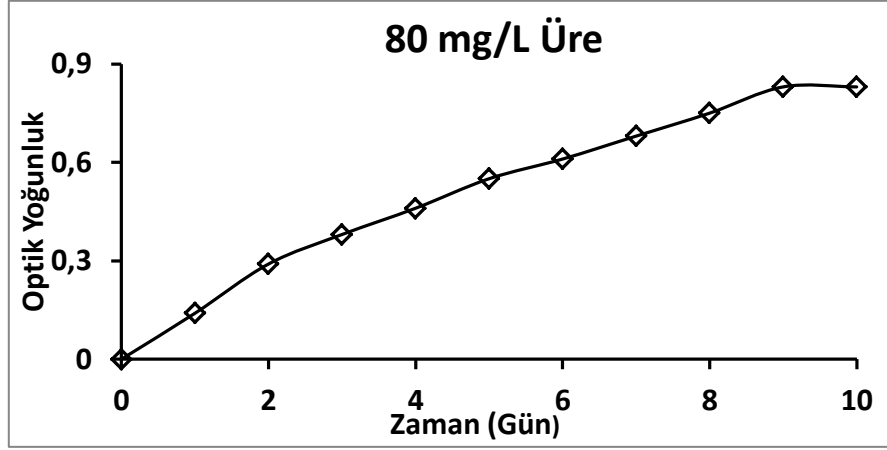
Şekil 4.2 40 mg/L üre konsantrasyonlarındaki büyüme eğrisi

Üre 60 mg/L olduğunda *Scenedesmus sp.*'nin optik yoğunluk değeri altıncı günün sonunda 0.52 olarak hesaplandı. *Scenedesmus sp.* bu değerden sonra da büyümeye devam ederek 10. günün sonunda 0.72 değeri ile durağan faza ulaştı. Üre 60 mg/L olduğundaki *Scenedesmus sp.*'nin büyüme eğrisi Şekil 4.3 içerisinde verildi.



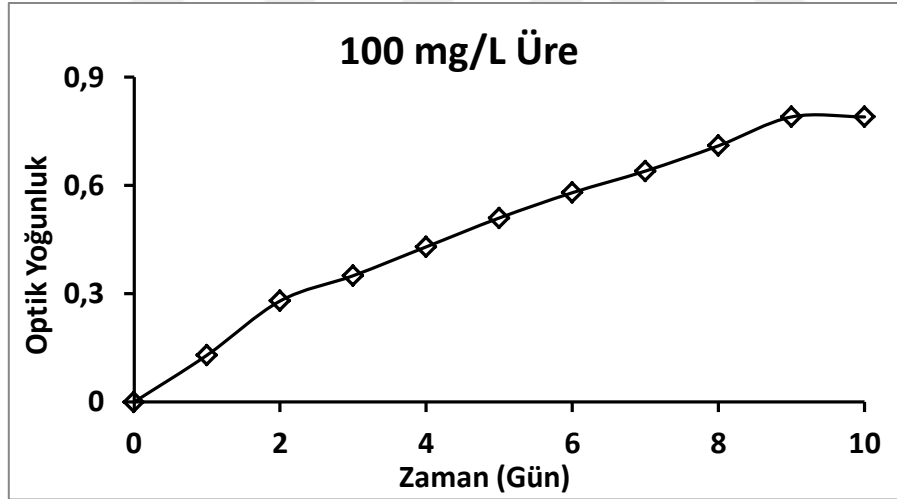
Şekil 4.3 60 mg/L üre konsantrasyonlarındaki büyüme eğrisi

Üre 80 mg/L olduğunda *Scenedesmus sp.*'nin optik yoğunluk değeri altıncı günün sonunda 0.61 olarak hesaplandı. *Scenedesmus sp.* bu değerden sonra da büyümeye devam ederek 10. günün sonunda 0.83 değeri ile durağan faza ulaştı. Üre 80 mg/L olduğundaki *Scenedesmus sp.*'nin büyüme eğrisi Şekil 4.4 içerisinde verildi.



Şekil 4.4 80 mg/L üre konsantrasyonlarındaki büyüme eğrisi

Üre 100 mg/L olduğunda *Scenedesmus sp.*'nin optik yoğunluk değeri altıncı günün sonunda 0.58 olarak hesaplandı. *Scenedesmus sp.* bu değerden sonra da büyümeye devam ederek 10. günün sonunda 0.79 değeri ile durağan faza ulaştı. Üre 100 mg/L olduğundaki *Scenedesmus sp.*'nin büyüme eğrisi Şekil 4.5 içerisinde verildi.

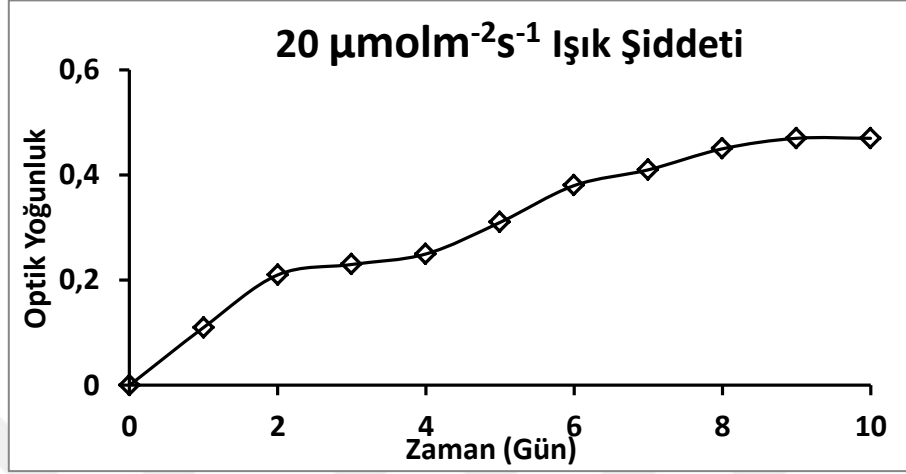


Şekil 4.5 100 mg/L üre konsantrasyonlarındaki büyüme eğrisi

4.2 Farklı Işık Şiddeti Konsantrasyonlarında Optik Yoğunluk (OY) İncelenmesi

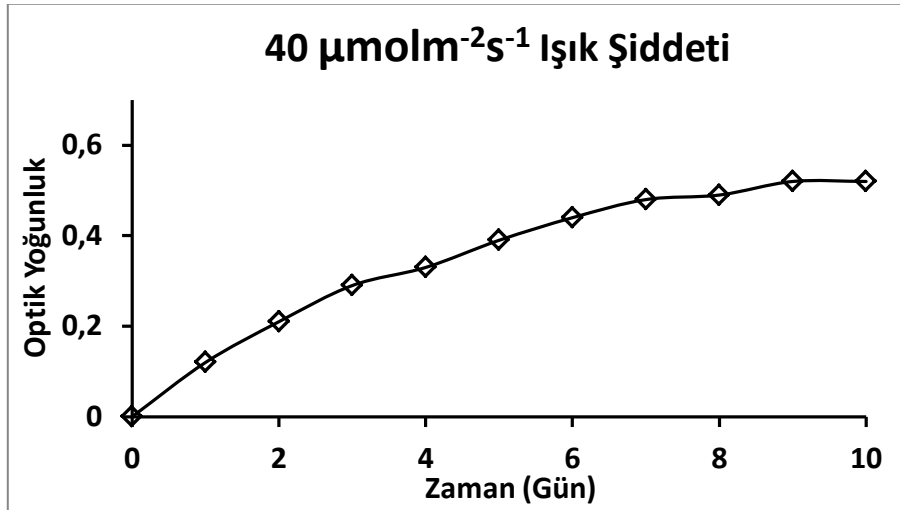
Işık şiddeti 20, 40, 60, 80 ve 100 $\mu\text{mol/m}^2\text{s}^{-1}$ konsantrasyonlarda kullanılarak *Scenedesmus sp.*'nin büyümesine etkisi incelendi. Işık şiddeti 20 $\mu\text{mol/m}^2\text{s}^{-1}$ olduğunda *Scenedesmus sp.*'nin optik yoğunluk değeri altı günün sonunda 0.31 olarak hesaplandı. *Scenedesmus sp.* bu değerden sonra da büyümeye devam ederek 10. günün sonunda

0.47 değeri ile durağan faza ulaştı. Işık şiddeti $20 \mu\text{mol}/\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ olduğundaki *Scenedesmus sp.*'nin büyüme eğrisi Şekil 4.6 içerisinde verildi.



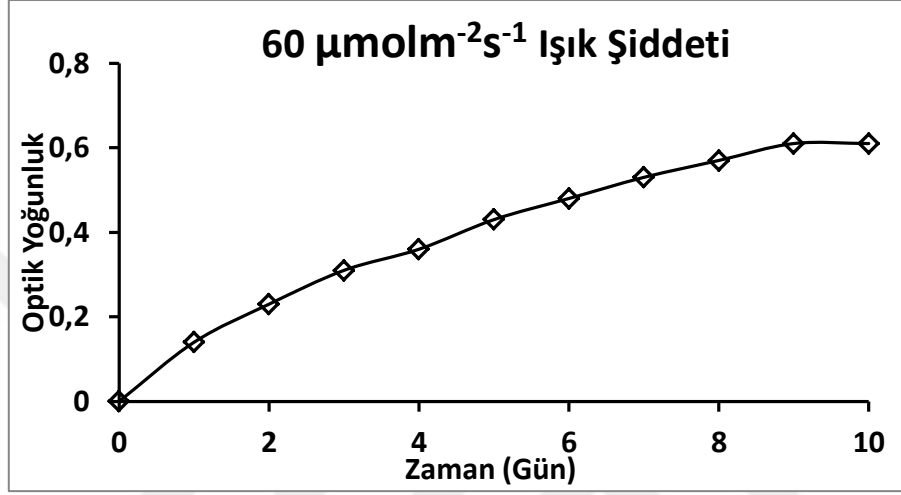
Şekil 4.6 $20 \mu\text{mol}/\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ışık şiddeti konsantrasyonlarındaki büyüme eğrisi

Işık şiddeti $40 \mu\text{mol}/\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ olduğunda *Scenedesmus sp.*'nin optik yoğunluk değeri altı günün sonunda 0.44 olarak hesaplandı. *Scenedesmus sp.* bu değerden sonra da büyümeye devam ederek 10. günün sonunda 0.52 değeri ile durağan faza ulaştı. Işık şiddeti $40 \mu\text{mol}/\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ olduğundaki *Scenedesmus sp.*'nin büyüme eğrisi Şekil 4.7 içerisinde verildi.



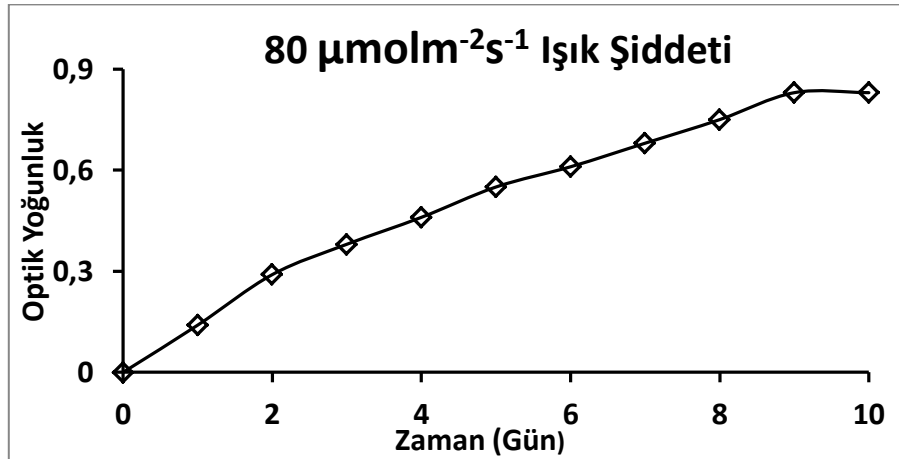
Şekil 4.7 $40 \mu\text{mol}/\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ışık şiddeti konsantrasyonlarındaki büyüme eğrisi

Işık şiddeti $60 \mu\text{mol}/\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ olduğunda *Scenedesmus sp.*'nin optik yoğunluk değeri altı günün sonunda 0.48 olarak hesaplandı. *Scenedesmus sp.* bu değerden sonra da büyümeye devam ederek 10. günün sonunda 0.61 değeri ile durağan faza ulaştı. Işık şiddeti $60 \mu\text{mol}/\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ olduğundaki *Scenedesmus sp.*'nin büyüme eğrisi Şekil 4.8 içerisinde verildi.



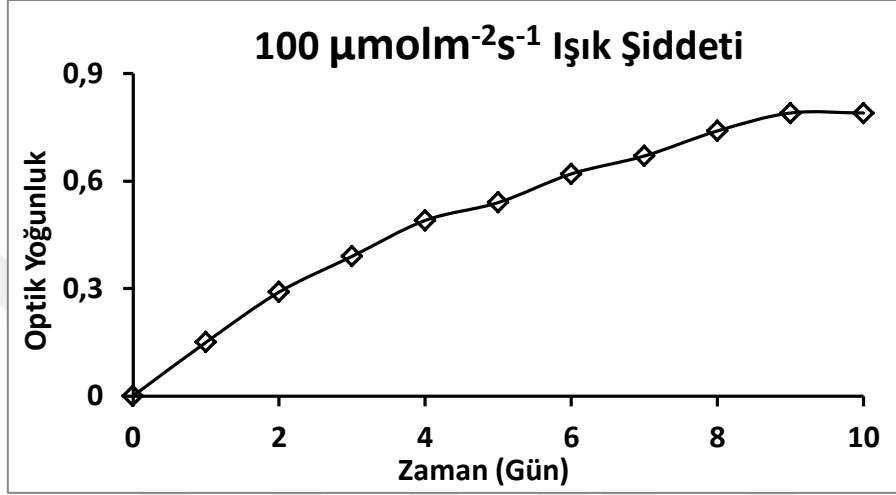
Şekil 4.8 $60 \mu\text{mol}/\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ışık şiddeti konsantrasyonlarındaki büyüme eğrisi

Işık şiddeti $80 \mu\text{mol}/\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ olduğunda *Scenedesmus sp.*'nin optik yoğunluk değeri altı günün sonunda 0.61 olarak hesaplandı. *Scenedesmus sp.* bu değerden sonra da büyümeye devam ederek 10. günün sonunda 0.83 değeri ile durağan faza ulaştı. Işık şiddeti $80 \mu\text{mol}/\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ olduğundaki *Scenedesmus sp.*'nin büyüme eğrisi Şekil 4.9 içerisinde verildi.



Şekil 4.9 $80 \mu\text{mol}/\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ışık şiddeti konsantrasyonlarındaki büyüme eğrisi

Işık şiddeti $100 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$ olduğunda *Scenedesmus sp.*'nin optik yoğunluk değeri altı günün sonunda 0.62 olarak hesaplandı. *Scenedesmus sp.* bu değerden sonra da büyümeye devam ederek 10. günün sonunda 0.79 değeri ile durağan faza ulaştı. Işık şiddeti $100 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$ olduğundaki *Scenedesmus sp.*'nin büyüme eğrisi Şekil 4.10 içerisinde verildi.

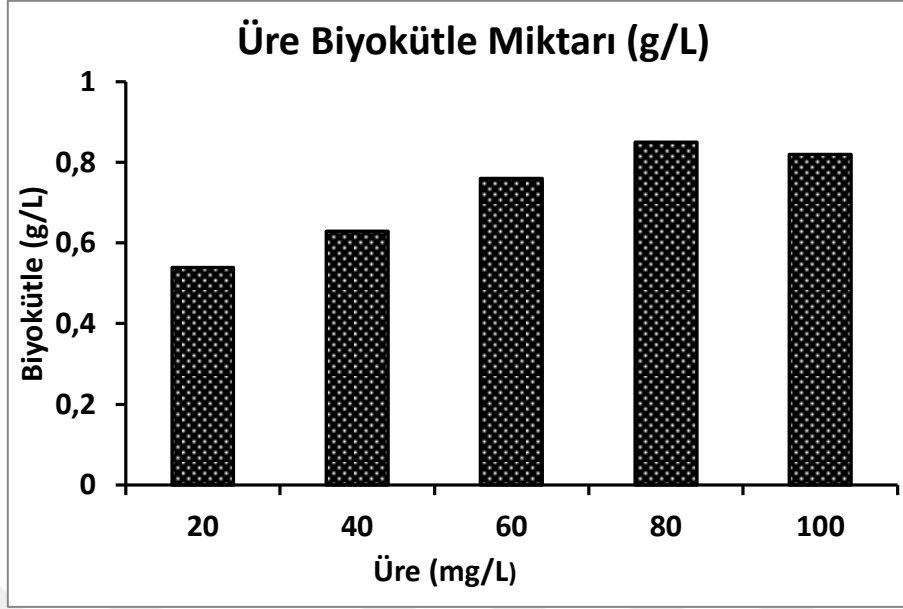


Şekil 4.10 $100 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$ ışık şiddeti konsantrasyonlarındaki büyüme eğrisi

4.3 Mikroalglerin Biyokütle Miktarları

4.3.1 Farklı Üre Miktarlarındaki Biyokütle Miktarları

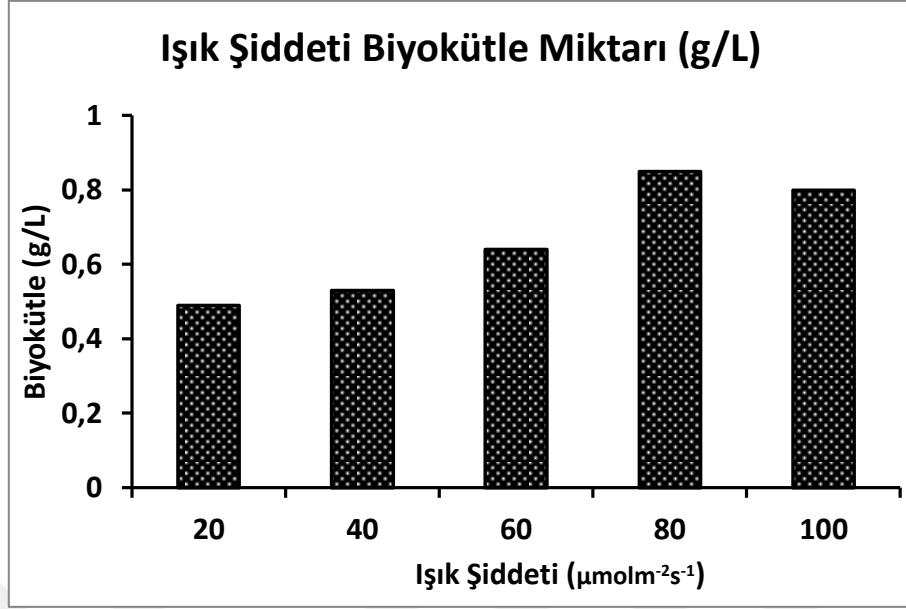
Üre miktarı 20 mg/L iken biyokütle miktarı 0.54 g/L, üre miktarı 40 mg/L iken biyokütle miktarı 0.63 g/L, üre miktarı 60 mg/L iken biyokütle miktarı 0.76 g/L, üre miktarı 80 mg/L iken biyokütle miktarı 0.85 ve son olarak üre miktarı 100 mg/L olduğunda biyokütle miktarı 0.82 g/L olduğu görüldü. Buna göre en yüksek değer üre değeri 80 mg/L iken biyokütle miktarının 0.85 değerine ulaştığı sonucuna varıldı. Farklı Üre miktarlarındaki biyokütle miktar değerleri Şekil 4.11 içerisinde verildi.



Şekil 4.11 Farklı üre miktarlarındaki biyokütle miktar değerleri grafiği

4.3.2 Farklı Işık Şiddeti Altındaki Biyokütle Miktarı

Işık şiddeti $20 \mu\text{mol/m}^2\text{s}^{-1}$ iken biyokütle miktarı 0.49 g/L , Işık şiddeti $40 \mu\text{mol/m}^2\text{s}^{-1}$ iken biyokütle miktarı 0.53 g/L , Işık şiddeti $60 \mu\text{mol/m}^2\text{s}^{-1}$ iken biyokütle miktarı 0.64 g/L , Işık şiddeti $80 \mu\text{mol/m}^2\text{s}^{-1}$ iken biyokütle miktarı 0.85 g/L ve son olarak Işık şiddeti $100 \mu\text{mol/m}^2\text{s}^{-1}$ iken biyokütle miktarı 0.8 g/L olduğu görüldü. Buna göre en yüksek değer Işık şiddeti $80 \mu\text{mol/m}^2\text{s}^{-1}$ iken biyokütle miktarı 0.85 g/L olduğu sonucuna varıldı. Farklı ışık şiddeti altındaki biyokütle miktarları Şekil 4.12 içerisinde verildi.

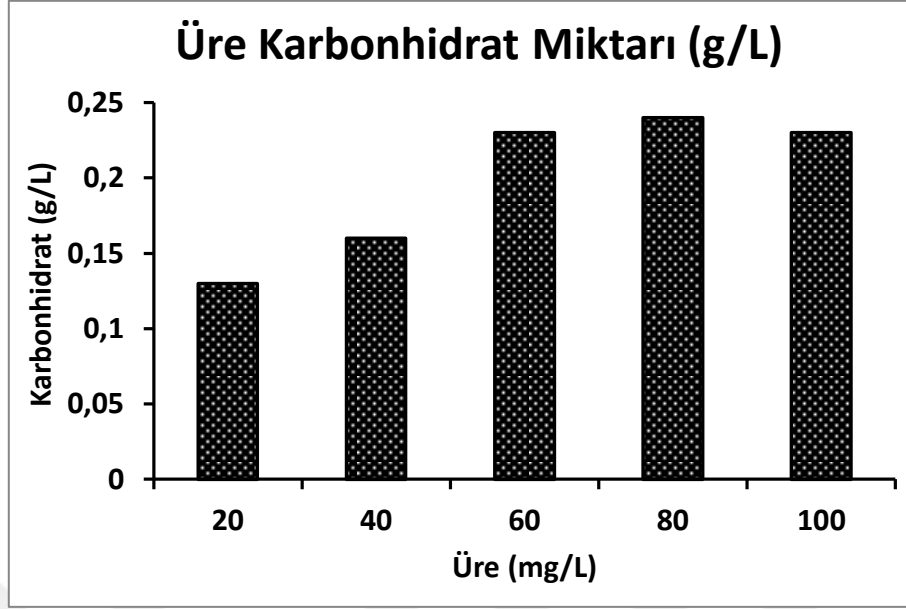


Şekil 4.12 Farklı ışık şiddeti altındaki biyokütle miktarları grafiği

4.4 Mikroalglerin Karbonhidrat Miktarları

4.4.1 Farklı Üre Konsantrasyonlarındaki Karbonhidrat Miktarı

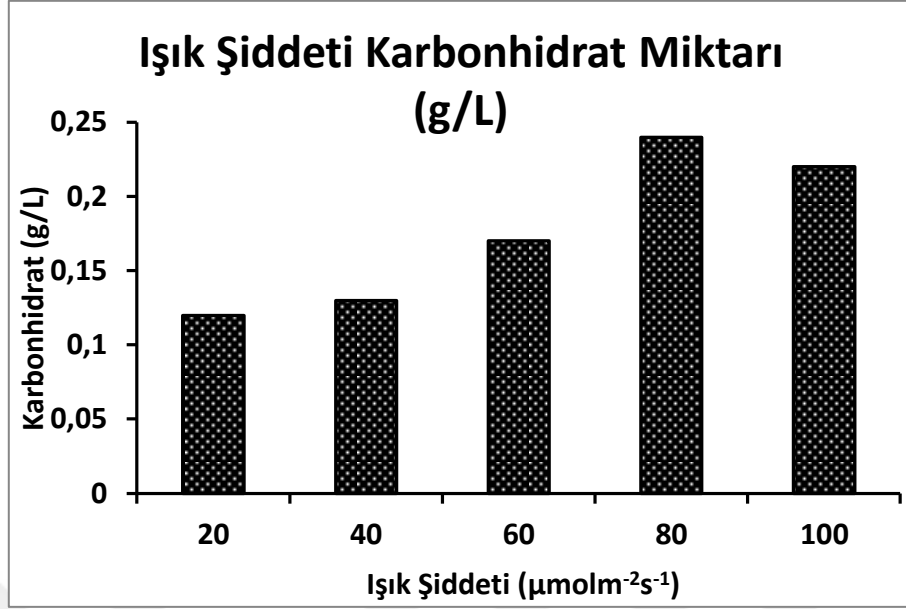
Üre miktarı 20 mg/L iken karbonhidrat miktarı 0.13 g/L, Üre miktarı 40 mg/L iken karbonhidrat miktarı 0.16 g/L, Üre miktarı 60 mg/L iken karbonhidrat miktarı 0.23 g/L, Üre miktarı 80 mg/L iken karbonhidrat miktarı 0.24 g/L ve son olarak Üre miktarı 100 mg/L iken karbonhidrat miktarı 0.23 olduğu görüldü. Buna göre en yüksek değer Üre miktarı 80 mg/L iken karbonhidrat miktarı 0.24 g/L olduğu sonucuna varıldı. Farklı üre konsantrasyonlarındaki karbonhidrat miktarları Şekil 4.13 içerisinde verildi.



Şekil 4.13 Farklı üre konsantrasyonlarındaki biyokütle miktarları grafiği

4.4.2 Farklı Işık Şiddeti Altındaki Biyokütle Miktarı

Işık şiddeti $20 \mu\text{mol/m}^{-2}\text{s}^{-1}$ iken karbonhidrat miktarı 0.12 g/L , Işık şiddeti $40 \mu\text{mol/m}^{-2}\text{s}^{-1}$ iken karbonhidrat miktarı 0.13 g/L , Işık şiddeti $60 \mu\text{mol/m}^{-2}\text{s}^{-1}$ iken karbonhidrat miktarı 0.17 g/L , Işık şiddeti $80 \mu\text{mol/m}^{-2}\text{s}^{-1}$ iken karbonhidrat miktarı 0.24 g/L ve son olarak Işık şiddeti $100 \mu\text{mol/m}^{-2}\text{s}^{-1}$ iken karbonhidrat miktarı 0.22 olduğu görüldü. Buna göre en yüksek değer Işık şiddeti $80 \mu\text{mol/m}^{-2}\text{s}^{-1}$ iken karbonhidrat miktarı 0.24 g/L olduğu sonucuna varıldı. Farklı Işık şiddeti altındaki Biyokütle miktarı Şekil 4.14 içerisinde verildi.

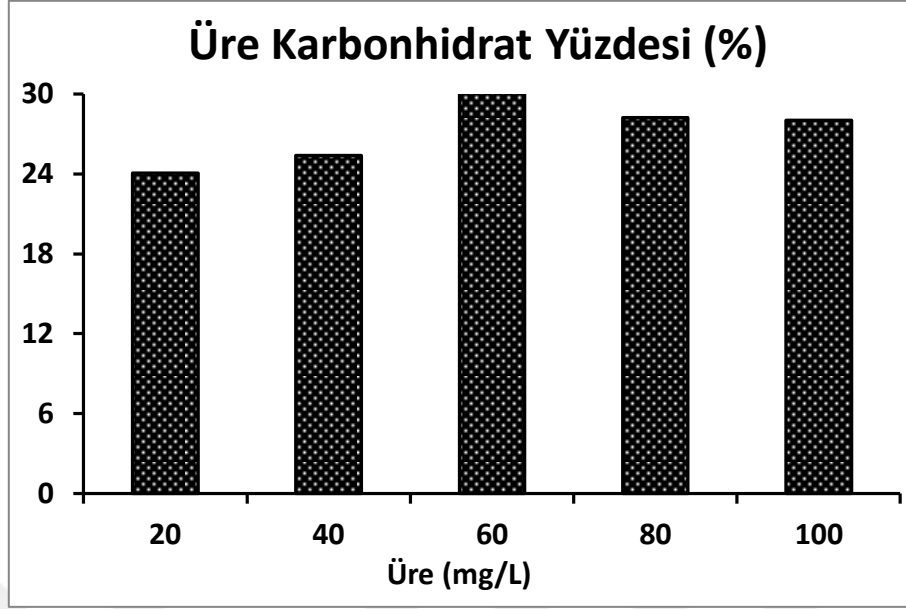


Şekil 4.14 Farklı ışık şiddeti altındaki karbonhidrat miktarı grafiği

4.5 Mikroalglerin Karbonhidrat Yüzdesi

4.5.1 Farklı Üre Konsantrasyondaki Karbonhidrat Yüzdesi

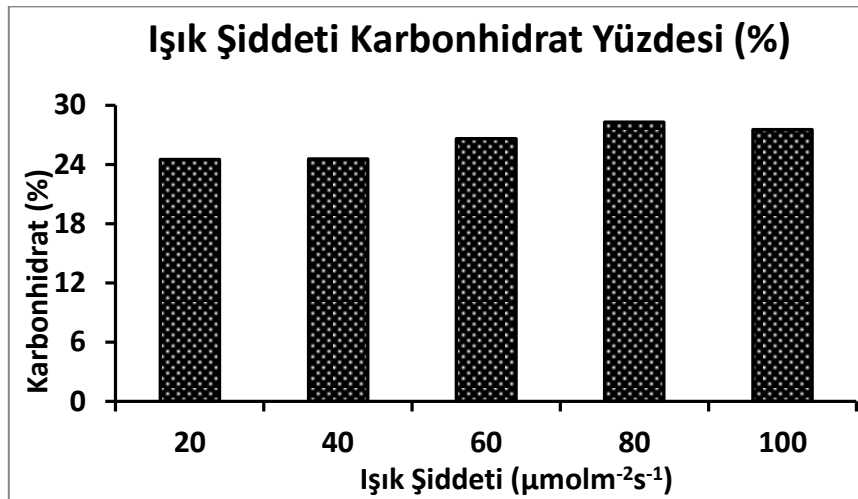
Üre miktarı 20 mg/L iken karbonhidrat yüzdesi %24, Üre miktarı 40 mg/L iken karbonhidrat yüzdesi %25, Üre miktarı 60 mg/L iken karbonhidrat yüzdesi %30, Üre miktarı 80 mg/L iken karbonhidrat yüzdesi %28 ve son olarak Üre miktarı 100 mg/L iken karbonhidrat yüzdesi %28 olduğu görüldü. Buna göre en yüksek değer Üre miktarı 60 mg/L iken karbonhidrat yüzdesi %30 olduğu sonucuna varıldı. Farklı üre konsantrasyondaki karbonhidrat yüzdesi Şekil 4.15 içerisinde verildi.



Şekil 4.15 Farklı üre konsantrasyondaki karbonhidrat yüzdesi grafiği

4.5.2 Farklı Işık Şiddeti Altında Karbonhidrat Yüzdesi

Işık şiddeti $20 \mu\text{mol/m}^{-2}\text{s}^{-1}$ iken karbonhidrat %24, Işık şiddeti $40 \mu\text{mol/m}^{-2}\text{s}^{-1}$ iken karbonhidrat %25, Işık şiddeti $60 \mu\text{mol/m}^{-2}\text{s}^{-1}$ iken karbonhidrat %27, Işık şiddeti $80 \mu\text{mol/m}^{-2}\text{s}^{-1}$ iken karbonhidrat %28 ve son olarak Işık şiddeti $100 \mu\text{mol/m}^{-2}\text{s}^{-1}$ iken karbonhidrat %28 olduğu görüldü. Buna göre en yüksek değer Işık şiddeti 80-100 $\mu\text{mol/m}^{-2}\text{s}^{-1}$ iken karbonhidrat %28 olduğu sonucuna varıldı. Farklı ışık şiddeti altında karbonhidrat yüzdesi Şekil 4.16 içerisinde verildi.



Şekil 4. 16 Farklı ışık şiddeti altında karbonhidrat yüzdesi grafiği

4.6 Çeşitli Konsantrasyonlardaki Üre Miktarı ve Işık Şiddetinde Karbonhidrat Verimleri

Üre miktarı 20 mg/L de karbonhidrat verimi 0.0241 g/gün sonucu bulundu. Üre miktarı 40 mg/L iken karbonhidrat verimi 0.0241g/gün sonucunu bulduk. Sırasıyla üre miktarı 20-40-60-80-100 mg/L değerine bakıldı. En yüksek sonucu üre miktarı 60 mg/L de karbonhidrat verimi 0.0303 g/gün sonucuna varıldı. Farklı üre miktarları ve farklı ışık şiddeti miktarlarındaki karbonhidrat verimi Çizelge 6.6.1 içerisinde verildi.

Benzer şekilde bunu ışık şiddeti için de uyguladık. Işık şiddeti $\mu\text{mol/m}^2\text{s}^{-1}$ iken karbonhidrat verimini 0.0245 g/gün olduğu sonucunu vardık. Işık şiddeti 20-40-60-80-100 $\mu\text{mol/m}^2\text{s}^{-1}$ değerlerinde sırasıyla incelendi. Bu inceleme sonucunda en yüksek karbonhidrat verimi ışık şiddeti 80 $\mu\text{mol/m}^2\text{s}^{-1}$ iken çıkan 0.0282 g/gün değerinde olduğu sonucuna varıldı. Farklı üre miktarları ve farklı ışık şiddeti miktarlarındaki karbonhidrat verimi Çizelge 4.1 içerisinde verildi.

Çizelge 4. 1 Farklı üre ve ışık şiddeti miktarlarındaki karbonhidrat verimi

Üre Miktarı (mg/L)	Karbonhidrat Verimi (g/gün)
20	0.0241
40	0.0254
60	0.0303
80	0.0282
100	0.0280
Işık Şiddeti ($\mu\text{mol/m}^2\text{s}^{-1}$)	Karbonhidrat Verimi (g/gün)
20	0.0245
40	0.0245
60	0.0266
80	0.0282
100	0.0275

5. SONUÇ

Bu tez çalışmasında bir mikroalg türü olan *Scenedesmus sp.* TAP besiyerinde ve atıksu içerisinde farklı konsantrasyonlarda üre ve ışık şiddetinde büyütülerek mikroalglerin optik yoğunlukları, biyokütleleri, karbonhidrat konsantrasyonları, yüzdeleri ve verimleri incelendi.

Üre miktarlarının başlangıç konsantrasyonlarında 20 mg/L, 40 mg/L, 60 mg/L, 80 mg/L, 100 mg/L optik yoğunluk değerleri incelendiğinde en yüksek optik yoğunluk değerinin 80 mg/L de 9. günün sonunda 0.83 değeri ile durağan faza geçerek elde edilen değer olarak belirlendi.

Işık şiddeti miktarlarının başlangıç konsantrasyonlarında 20 $\mu\text{mol/m}^2\text{s}^{-1}$, 40 $\mu\text{mol/m}^2\text{s}^{-1}$, 60 $\mu\text{mol/m}^2\text{s}^{-1}$, 80 $\mu\text{mol/m}^2\text{s}^{-1}$, 100 $\mu\text{mol/m}^2\text{s}^{-1}$ optik yoğunluk değerleri incelendiğinde en yüksek optik yoğunluk değerinin 80 $\mu\text{mol/m}^2\text{s}^{-1}$ de 9. günün sonunda 0.83 değeri ile durağan faza geçerek elde edilen değer olarak belirlendi.

Mikroalglerin farklı üre miktarları ve farklı ışık şiddeti miktarlarındaki biyokütle konsantrasyonundaki miktarları incelendi. Mikroalglerin biyokütle konsantrasyonları üre miktarı için sırasıyla 20 mg/L, 40 mg/L, 60 mg/L, 80 mg/L ve 100 mg/L de biyokütle miktarları incelendiğinde en yüksek biyokütle değerinin üre miktarı 80 mg/L de 0.85 g/L değeri ile elde edildi. Mikroalglerin biyokütle konsantrasyonları ışık şiddeti miktarı için sırasıyla 20 $\mu\text{mol/m}^2\text{s}^{-1}$, 40 $\mu\text{mol/m}^2\text{s}^{-1}$, 60 $\mu\text{mol/m}^2\text{s}^{-1}$ 80 $\mu\text{mol/m}^2\text{s}^{-1}$ ve 100 $\mu\text{mol/m}^2\text{s}^{-1}$ de biyokütle miktarları incelendiğinde en yüksek biyokütle değerinin ışık şiddeti 80 $\mu\text{mol/m}^2\text{s}^{-1}$ de 0.85 g/L değeri ile elde edildi.

Mikroalglerin farklı üre konsantrasyonlardaki karbonhidrat miktarları incelendiğinde üre miktarları sırasıyla 20 mg/L, 40 mg/L, 60 mg/L, 80 mg/L ve 100 mg/L de karbonhidrat miktarları incelendiğinde en yüksek karbonhidrat değerinin üre miktarı 80 mg/L de 0.24 g/L değeri ile elde edildi. Mikroalglerin farklı ışık şiddeti konsantrasyonundaki karbonhidrat miktarları incelendiğinde ışık şiddeti miktarları sırasıyla 20 $\mu\text{mol/m}^2\text{s}^{-1}$, 40 $\mu\text{mol/m}^2\text{s}^{-1}$, 60 $\mu\text{mol/m}^2\text{s}^{-1}$ 80 $\mu\text{mol/m}^2\text{s}^{-1}$ ve 100 $\mu\text{mol/m}^2\text{s}^{-1}$ de karbonhidrat miktarları incelendiğinde en yüksek karbonhidrat değerinin ışık şiddeti 80 $\mu\text{mol/m}^2\text{s}^{-1}$ de 0.24 g/L değeri ile elde edildi.

Mikroalglerin farklı üre konsantrasyonundaki karbonhidrat yüzdesi incelendiğinde üre miktarları sırasıyla 20 mg/L, 40 mg/L, 60 mg/L, 80 mg/L ve 100

mg/L de karbonhidrat yüzdeleri incelendiğinde en yüksek karbonhidrat yüzdesi üre miktarının 60 mg/L de olduğu %30 değeri ile elde edildi. Mikroalglerin farklı ışık şiddeti konsantrasyonundaki karbonhidrat yüzdesi incelendiğinde ışık şiddeti miktarları sırasıyla 20 $\mu\text{mol/m}^2\text{s}^{-1}$, 40 $\mu\text{mol/m}^2\text{s}^{-1}$, 60 $\mu\text{mol/m}^2\text{s}^{-1}$ 80 $\mu\text{mol/m}^2\text{s}^{-1}$ ve 100 $\mu\text{mol/m}^2\text{s}^{-1}$ de karbonhidrat yüzdeleri incelendiğinde en yüksek karbonhidrat yüzdesi ışık şiddeti 80-100 $\mu\text{mol/m}^2\text{s}^{-1}$ iken karbonhidrat %28 değeri ile elde edildi.

Son olarak farklı üre miktarlarındaki karbonhidrat verimlerine baktığımızda 60 mg/L üre miktarında 0.0303 g/gün bulunurken, farklı ışık şiddetinde büyütülen mikroalgleri ele aldığımızda en yüksek karbonhidrat verimi 80 $\mu\text{mol/m}^2\text{s}^{-1}$ ışık şiddetinde 0.0282 g/gün olarak bulundu. Bu sonuçlar aslında geçmişte yapılan deneyler ile uyumlu bulunmuştur. Bir çalışmada *Chlorella zofingiensis* indol-3-asetik asit ve hidrojen peroksit ortamında büyütülmüş ve maksimum biyobütanol miktarı 0.084 bulunmuştur (Onay, 2020). Diğer bir çalışmada *Micractinium sp.* 0.2 mg/L absisik asitte büyütülmüş ve biyobütanol miktarında %77 bir artış saptanmıştır (Onay ve Sapci Ayas, 2024).

En yüksek değerler incelendiğinde 80 mg/L üre miktarı ve 80 $\mu\text{mol/m}^2\text{s}^{-1}$ ışık şiddetinde büyütülen mikroalg örnekleri alınarak biyobütanol konsantrasyonu incelendi. Biyobütanol konsantrasyonu 0.04 g/L olarak bulundu.

KAYNAKLAR

- Abdelrahman, M. A. (2018). *Comparison of ultrafiltration and self-forming dynamic membranes in membrane bioreactors for municipal wastewater treatment*. Istanbul Technical University Graduate School of Science Engineering and Technology, Istanbul, Turkey.
- Anonim. (2022). Sektörüm akıllı işler dergisi gelgit enerjisi. Erişim tarihi: 04.10.2022. Erişim adresi: <https://www.sektorumdergisi.com/gelgit-enerjisi/>.
- Cihan, E. (2019). *Yenilenebilir enerji ve Türkiye’de güneş enerjisi*, Yüksek lisans tezi. Hasan Kalyoncu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Gaziantep, Türkiye.
- Çukurçayır, M. A., Sağır, H. (2008). Enerji sorunu, çevre ve alternatif enerji kaynakları. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 20, 257-278.
- Demirdelen, S. (2019). *IBE fermantasyonundan bütanol ve izopropanol saflaştırma prosesinin tasarımı ve kontrolü*, Yüksek lisans tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- EİGM. (2022). T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022 güneş. Erişim tarihi: 26.08.2022. Erişim adresi: <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-gunes>.
- EİGM. (2022). T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022 jeotermal. Erişim tarihi: 17.08.2022. Erişim adresi: <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-jeotermal>.
- EİGM. (2022). T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022 rüzgâr. Erişim tarihi: 17.08.2022. Erişim adresi: <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-ruzgar>.
- Elcik, H., Çakmakçı, M. (2017). Mikroalg üretimi ve mikrolaglerden biyoyakıt eldesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(3), 795-820.
- Eldem, M. (2017). Güneş enerjisi. *TMMOB EMO Ankara Şubesi Haber Bülteni*, 5, 7-10.
- Eliçin, K., Koç, C., Gezici M., Gürhan, R. (2013). Biyoyakıt amaçlı Nannochloropsis Salina mikroalg türünün bazı yetiştirme parametrelerinin belirlenmesi. *Tarım Makinaları Bilim Dergisi* 2013, 9(2), 99-107.
- Gürsu, E. (2021). *Chlamydomonas Sp. arktik mikroalg ’inden biyodizel ve biyoetanol üretimi prosesinin Chemcad tasarımı ve Teknoekonomik analizi*, Bitime tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Biyomühendislik Bölümü, İstanbul, Türkiye.
- Işık, S., Yavuz, S. (2022). *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi Özel Sayı 34*, 193-201.
- İlçin, K. (2020). *İzopropanol-Bütanol-Etanol (IBE)’ün dizel ve biyodizel yakıtları ile karışımlarının bir dizel motorunda yanma ve emisyon karakteristiklerine etkisi*, Yüksek lisans tezi. Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Batman, Türkiye.
- İlkılıç, Z. (2016). Türkiye’de Rüzgâr enerjisi ve Rüzgâr enerji sistemlerinin gelişimi. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 6(2/2), 1-13.
- Karamanav, M. (2007). *Güneş enerjisi ve güneş pilleri*, Yüksek lisans tezi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Sakarya Türkiye.
- Kargın, H. (2020). Akuakültürde mikroalg üretim sistemleri ve fotobiyoreaktörler dünyada ve ülkemizde kullanımı. *Mediterranean Fisheries and Aquaculture Research*, 3(3), 112-130.
- Kervankıran, İ. (2012). Afyonkarahisar ilinde jeotermal enerji kullanımı ve sorunları. *Marmara Coğrafya Dergisi*, (25), 108-126.

- Koç, E., Kaya, K. (2015). Enerji kaynakları–yenilenebilir enerji durumu. *Mühendis ve Makina*, 56(668), 36-47.
- Koçak, O., Hıraoğlu, İ., Bulut, S. (2020). *Bioethanol production from chlamydomonas reinhardtii and its bioprocess design via superpro Designer*. Yıldız Technical University Faculty Of Chemical and Metallurgical Engineering, Turkey.
- Koçer, N., Ünlü, A. (2007). *Doğu anadolu bölgesinin biyokütle potansiyeli ve enerji üretimi, doğu anadolu bölgesi araştırmaları 2007*. Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye.
- Kozak, M. (2016). Konut ısıtmacılığın da jeotermal yenilenebilir enerji kaynağının kullanılmasının araştırılması. *Yekarum*, 3, 2.
- Köymen, S. (2019). *Aksaray ili evsel atıksu karakteristiğine etki eden faktörlerin incelenmesi*, Yüksek lisans tezi. Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray, Türkiye.
- Kurusakız, M. (2020). *Scenedesmus intermedius ve Scenedesmus planctonicus alg türlerinde azota bağlı lipid içeriğindeki değişimlerin incelenmesi*, Yüksek lisans tezi. Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale, Türkiye.
- Külekçi, Ö. C. (2009). Yenilenebilir enerji kaynakları arasında jeotermal enerjinin yeri ve Türkiye açısından önemi. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 1(2), 83-91.
- 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*, 11, 297-304.
- Oktor, K. (2018). Mikroalglerin çevre teknolojilerindeki yeri. *Çevre Bilim ve Teknoloji*, 337-338.
- Onay, M. (2020). The effects of indole-3-acetic acid and hydrogen peroxide on Chlorella zofingiensis CCALA 944 for bio-butanol production. *Fuel* 273, 117795.
- Onay, M., Şapcı Ayas, Z. (2024). Coproduction of Biofuel and Pigments from Micractinium sp. Using UV-Induced Mutagenesis and Adding Absciscic Acid and Salicylic Acid for Biorefinery Concepts. *Arabian Journal for Science and Engineering* 49, 7929-7944.
- Orhan, G. (2016). *Evsel atıksu arıtma tesislerinde kimyasal ve fiziksel risk faktörlerinin incelenmesi*, İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık tezi. T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü.
- Oskay, C. (2014). Sürdürülebilir kalkınma çerçevesinde rüzgâr enerjisinin önemi ve Türkiye’de rüzgâr enerjisi yatırımlarına yönelik teşvikler. *Niğde Üniversitesi İİBF Dergisi*, 7(1), 76-94.
- Önder, H. (2021). *Yenilenebilir enerjinin makroekonomik değişkenler üzerindeki etkisi*, Yüksek lisans tezi. Bartın Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bartın, Türkiye.
- Özen, A., Şaşmaz, M. Ü., Bahtiyar E. (2015). Türkiye’de yeşil ekonomi açısından yenilenebilir bir enerji kaynağı: rüzgâr enerjisi. *KMÜ Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 17(28), 85-93.
- Sayaner, O. (2013). *Mikroalg yetiştiriciliği yoluyla baca gazı kaynaklı karbondioksit azaltımı*, Yüksek lisans tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- SERKA. (2022). T.C. Serhat Kalkınma Ajansı Tra2 bölgesi biyokütle enerjisi atlası, 2022 biyokütle enerjisi. Erişim tarihi: Aralık 2022. Erişim adresi:

<https://www.serka.gov.tr/assets/upload/dosyalar/tra2-bolgesi-biyokutle-enerji-atlasi.pdf>.

- Sinan, R. K. (2010). *Evsel atıksu arıtma tesislerinde ön arıtım ve biyolojik arıtım çıkış parametrelerinin YSA ile tahmini*, Yüksek lisans tezi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, Türkiye.
- Şen, Ş. (2019). *Bazı organik ve inorganik maddelerin evsel nitelikli atık su arıtımında kullanımının araştırılması*, Yüksek lisans tezi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, Türkiye.
- Şenaktaş, B. (2005). *Hidrojen enerjisi, üretimi ve uygulamaları*, Yüksek lisans tezi. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, Türkiye.
- Şişman Aydın, G. (2019). Mikroalg teknolojisi ve çevresel kullanımı. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 4(1), 81-92.
- Taşova, M. (2018). Türkiye'nin güneş enerjisi parametre değerleri ve güneş enerjisinden faydalanma olanakları. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 7(3), 10-17.
- Tekin, N. (2023). *Zirai atıkların ve mikroalg biyokütlenin biyobütanol üretiminde kullanım kapasitelerinin belirlenmesi*, Doktora tezi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Torunoğlu Gedik, Ö. (2015). *Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynakları ve çevresel etkileri*, Yüksek lisans tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Töre, A. K. (2020). *Sentetik biyogaz çamurunda Algal biyokütle üretimi ve Nutrient gideriminde sıcaklığın etkisi*, Yüksek lisans tezi. Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray, Türkiye.
- Töre, A. K., Işık, M. (2020). Mikroalglerle biyogaz çamurunun arıtımı, *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 3(1), 34-42.
- Yakıncı, Z. D., Kök, M. (2017). Yenilenebilir enerji ve toplum sağlığı. *İnönü Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksek Okulu Dergisi*, 5(1), 43-55.
- Yıldırım, O., Nuri, F. İ. (2018). Yenilenebilir enerji ve sürdürülebilir kalkınma ilişkisi. *Uluslararası Bankacılık Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi*, 1(1), 105-143.
- Yılmaz, S. (2016). *Elma posasının biyobütanol üretiminde kullanılması üzerine bir araştırma*, Yüksek lisans tezi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Zaim, A., Çavşı, H. (2018). Türkiye'deki jeotermal enerji santrallerinin durumu. *Mühendis ve Makina*, 59(691), 45-58.



ÖZ GEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Memduh DÜNDAR

Eğitim Bilgileri

Lisans

Üniversite : Kahramanmaraş Sütçü İmam
Üniversitesi

Fakülte : Mühendislik-Mimarlık Fakültesi

Bölüm : Çevre Mühendisliği

Mezuniyet Yılı : 2016





VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
LİSANSÜSTÜ TEZ ORJİNALLİK RAPORU

Tarih. 10/01/2025

Tez başlığı ATIKSUDA SCENEDESMUS'DAN BİYOBÜTANOL ÜRETİMİ

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışmamın, kapak sayfası, giriş, ana bölümler ve sonuç bölümlerinden oluşan toplam 48 (Kırk sekiz) 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 kelimeden 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

Doç. Dr. Melih ONAY
DANIŞMAN
UYGUNDUR

ENSTİTÜ ONAYI
UYGUNDUR