

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

**DÜZ-PANEL HAVA KALDIRMALI FOTOBİYOREAKTÖRÜN TASARIMI VE
ÇEŞİTLİ DALGABOYLARINDA LED IŞIK İLE MİKROALGLERDEN
YÜKSEK BİYODİZEL ÜRETİMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Murat Onur ÇELİKTAŞ
DANIŞMAN: Dr. Öğr. Üyesi Melih ONAY

VAN-2020

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

**DÜZ-PANEL HAVA KALDIRMALI FOTOBİYOREAKTÖRÜN TASARIMI VE
ÇEŞİTLİ DALGABOYLARINDA LED IŞIK İLE MİKROALGLERDEN
YÜKSEK BİYODİZEL ÜRETİMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Murat Onur ÇELİKTAŞ

Bu çalışma YYÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı tarafından FYL-2018-7252 No'lu proje olarak desteklenmiştir

VAN-2020

KABUL VE ONAY SAYFASI

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Dr. Öğr. Üyesi MELİH ONAY danışmanlığında Murat Onur ÇELİKTAŞ tarafından sunulan “**Düz-Panel Hava Kaldırma Fotobiyoreaktörün Tasarımı Ve Çeşitli Dalgaboylarında Led Işık İle Mikroalglerden Yüksek Biyodizel Üretimi**” isimli bu çalışma Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili hükümleri gereğince **27.11.2020** tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile başarılı bulunmuş ve Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Zehra ŞAPCI AYAS

İmza:

Üye : Doç Dr. Edip AVŞAR

İmza:

Üye : Dr. Öğr. Ü. Melih ONAY

İmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun **10.01.2020** tarih ve **2020/2-I** sayılı kararı ile onaylanmıştır.



TEZ BİLDİRİMİ

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)

MURAT ONUR ÇELİKTAŞ

ÖZET

DÜZ-PANEL HAVA KALDIRMALI FOTOBİYOREAKTÖRÜN TASARIMI VE ÇEŞİTLİ DALGABOYLARINDA LED IŞIK İLE MİKROALGLERDEN YÜKSEK BİYODİZEL ÜRETİMİ

ÇELİKTAŞ, Murat Onur

Yüksek Lisans Tezi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Melih ONAY

Ocak 2020, 61 sayfa

Üçüncü nesil biyoyakıt kaynağı olan mikroalglerin reaktör sistemlerinde büyütülmesi son zamanlarda yaygın olarak çalışılmaktadır. Bu çalışmada ilk önce mikroalg büyümesini artırabilmek ve daha fazla biyokütle elde ederek sanayi için kontrollü ürün eldesi için 1L'lik düz panel hava kaldırmalı fotobiyoreaktörün tasarımı yapıldı. *Gloeocystis vesiculosa* 901 düz panel hava kaldırmalı fotobiyoreaktörde Bold Basal Besiyeri (BBM) içerisinde farklı dalga boyunda (beyaz, mor, mavi, yeşil, sarı, turuncu ve kırmızı) büyütüldü. En yüksek biyokütle 0.62 g/L değeri ile kırmızı ışıkta ve 0.59 g/L ile de beyaz ışıkta bulundu. Özütlenen örneklerin yağ miktarlarına baktığımızda kırmızı ışık 0.14 g/L ile en fazla yağ miktarına sahipti. Yağ yüzdesi en yüksek olan dalga boyu ise %23.13 ile mavi ışık oldu. En yüksek yağ verimine sahip olan kırmızı ışık alınarak 0.1 N KOH ile transesterleşti ve biyodizel verimi %87 olarak hesaplandı. Ayrıca mikroalg örneklerinin maksimum azot giderim verimi kırmızı ışık altında % 81.6 ve beyaz ışık altında da % 80.5 olarak bulundu. Sonuç olarak *Gloeocystis vesiculosa* 901 düz panel hava kaldırmalı fotobiyoreaktörde kırmızı ışık (630-750 nm) dalga boyunda büyütülerek maksimum biyokütle, yağ ve biyodizel verimi elde edilebilir. Lab ölçekli olan bu çalışma gelecek çalışmalarda üretim amacı için daha büyük fotobiyoreaktörlerin tasarımı ile devam edilebilir.

Anahtar kelimeler: Biyodizel, Düz panel fotobiyoreaktör, *Gloeocystis vesiculosa*, LED, Yağ.



ABSTRACT

DESIGN OF FLAT-PANEL AIRLIFT PHOTOBIOREACTOR AND HIGH BIODIESEL PRODUCTION FROM MICROALGAE WITH LED AT VARIOUS WAVELENGTHS

ÇELİKTAŞ, Murat Onur
M.Sc. Thesis, Environmental Engineering
Supervisor: Asst. Prof. Dr. Melih ONAY
January 2020, 61 pages

Growth of microalgae, the third generation biofuel resource, in reactor systems has been recently studying intensively. In this study, firstly, 1L flat-panel airlift photobioreactor was designed to increase growth of microalgae and to obtain high amount of biomass for controlled production in the industry. *Gloeocystis vesiculosa 901* was grown at the flat-panel airlift photobioreactor in Bold Basal Medium (BBM) at the various wavelengths (white, purple, blue, green, yellow, orange and red). The highest biomass values were 0.62 and 0.59 g/L at the red and the white, respectively. In addition, the red had the highest lipid concentration with 0.14 g/L among lipid samples extracted from microalgae. The maximum lipid percentage was 23.13 % at the blue light. The red light sample with the maximum lipid productivity was transesterified with 0.1 N of KOH and biodiesel productivity was found as 87 %. Also, the maximum nitrogen removal percentage values were 81.6 % and 80.5 % at the red and the white, respectively. In conclusion, the maximum biomass, lipid and biodiesel productivity can be achieved when *Gloeocystis vesiculosa 901* is grown in the flat-panel airlift photobioreactor at the red wavelength (630-750 nm). This study at the lab scale can be developed via designs of large scale photobioreactors at the next studies for the goal of the production.

Keywords: Biodiesel, Flat-panel photobioreactor, *Gloeocystis vesiculosa*, LED, Lipid.



ÖN SÖZ

Bu tez çalışmasında, engin bilgi ve tecrübeleri ile bana yardımcı olan ve hiçbir zaman desteğini benden esirgemeyen danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Melih ONAY'a teşekkür ederim. Tez çalışmamda düzeltmeleriyle yardımlarını esirgemeyen Doç. Dr. Zehra ŞAPCI AYAS ve Doç. Dr. Edip AVŞAR'a, laboratuvar çalışmalarım süresince deney düzeneklerimin kurulmasında bana yol gösteren Arş. Gör. Erdinç ALADAĞ'a, meslektaşım Said Nur Gazioğlu'na ve bütçe olarak FYL-2018-7252 No'lu proje kapsamında bu tezin gerçekleşmesini sağlayan Van YYÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı'na teşekkürlerimi sunarım.

2020

Murat Onur ÇELİKTAŞ



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
ÇİZİLGELER LİSTESİ	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ	5
2.1. Enerji kaynakları.....	5
2.1.1. Yenilenebilir enerji kaynakları	6
3. MATERYAL ve YÖNTEM	19
3.1. Materyal.....	19
3.1.1. Düz panel hava kaldırmalı reaktörün tasarımı.....	19
3.1.2. Mikroalglerin büyütülmesi	19
3.1.3. Işık kaynağının özellikleri	20
3.2. Yöntem	21
3.2.1. Optik yoğunluk ölçümü	21
3.2.2. Biyokütle analizi.....	21
3.2.3. Azot ve fosfat giderim verimi.....	22
3.2.4. Toplam yağ analizi	22
3.2.5. Biyodizel verimi	22
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	23
4.1. Düz panel hava kaldırmalı reaktörün tasarımı.....	23
4.2. Mikroalg kültürlerinin sürdürülmesi	36
4.3. Reaktör sistemi için mikroalg örneklerinin hazırlanması.....	37
4.4. Reaktör sistemi içerisinde mikroalg örneklerinin büyütülmesi	38
4.5. Mikroalg örneklerinin büyüme eğrileri	40
4.6. <i>Gloeocystis vesiculosa</i> 901'in biyokütle analiz hesaplamaları.....	45
4.7. <i>Gloeocystis vesiculosa</i> 901'in azot ve fosfat giderim hesaplamaları	47
4.8. <i>Gloeocystis vesiculosa</i> 901'in yağ miktarı, yüzdesi ve veriminin belirlenmesi..	48
4.9. <i>Gloeocystis vesiculosa</i> 901'in biyodizel verimi.....	50
5. SONUÇ.....	53

	Sayfa
KAYNAKLAR.....	55
ÖZ GEÇMİŞ.....	61



ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Farklı mikroalg üretim sistemlerinin karşılaştırılması (Elçik ve Çakmakçı, 2017).....	15
Çizelge 3.1. Bold Basal Medium (BBM) ve kompozisyonu.....	20
Çizelge 3.2. Çalışmada kullanılan ışık kaynağının renkleri, dalga boyları ve RGB kodları.....	21
Çizelge 4.1. <i>Gloeocystis vesiculosa</i> 901'in biyokütle analiz sonuçları.....	46
Çizelge 4.2. <i>Gloeocystis vesiculosa</i> 901'in azot giderim miktarları ve yüzdeleri.	48
Çizelge 4.3. <i>Gloeocystis vesiculosa</i> 901'in fosfat giderim miktarları ve yüzdeleri.....	48
Çizelge 4.4. <i>Gloeocystis vesiculosa</i> 901'in yağ miktarı, yüzdesi ve verim.	50
Çizelge 4.5. <i>Gloeocystis vesiculosa</i> 901'in biyodizel verimi.	51

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Enerji Kaynaklarının Sınıflandırılması (Koç ve Şenel, 2013).....	5
Şekil 2.2. Enerji Kaynakları (Uyar, 2017).	5
Şekil 2.3. Hidroelektrik Enerji Üretimi Akım Şeması (Anonim, 2018).	7
Şekil 2.4. Tipik Hidroelektrik Santrali (Anonim, 2018).	7
Şekil 2.5. Türkiye Güneş Enerji Potansiyeli Atlası (Anonim, 2018).....	8
Şekil 2.6. Türkiye Global Radyasyon Değerleri ve Güneşlenme Süreleri (Anonim, 2018).....	9
Şekil 2.7. Türkiye PV Tipi-Alan Üretebilecek Enerji Durumu (Anonim, 2018).....	10
Şekil 2.8. Teknolojiye Göre Yenilenebilir Enerji Tüketimi(2017-2023 Yılları) (Anonim, 2017).....	11
Şekil 2.9. Teknolojiye Göre Yenilenebilir Enerji Tüketimi(2017-2023 Yılları) (Anonim, 2017).....	12
Şekil 2.10. Biyolojik Kökenli Yakıtlar (Karaosmanoğlu, 2007).....	13
Şekil 2.11. Tipik mikroalg üretim sistemlerinin şematik şekilleri.	14
Şekil 4.1. Düz panel hava kaldırmalı fotobiyoreaktör'ün CoralDRAW kullanılarak önden ve yandan görünüş.	24
Şekil 4.2. Düz panel hava kaldırmalı fotobiyoreaktör'ün tamamlandıktan..... sonra önden ve yandan görünüşü.	25
Şekil 4.3. Alüminyum ön parça'nın çizimi ve tasarımdan sonraki görünümü.	26
Şekil 4.4. Alüminyum arka parça'nın çizimi ve tasarımdan sonraki görünümü.	27
Şekil 4.5. Polimetil metakrilat (PMMA) arka parça'nın çizimi ve tasarımdan sonraki görünümü.	28
Şekil 4.6. Polimetil metakrilat (PMMA) ön parça'nın çizimi ve tasarımdan sonraki görünümü.	29

Şekil	Sayfa
Şekil 4.7. Silikon conta arka parça'nın çizimi ve tasarımdan sonraki görünümü.....	30
Şekil 4.8. Silikon conta ön parça'nın çizimi ve tasarımdan sonraki görünümü.	31
Şekil 4.9. Polimetil metakrilat (PMMA) reaktör haznesinin çizimi ve tasarımdan sonraki görünümü.	32
Şekil 4.10. Polimetil metakrilat (PMMA) akrilik iç çita parçası çizimi ve tasarımdan sonraki görünümü.	33
Şekil 4.11. Silikon conta iç çita parçası çizimi ve tasarımdan sonraki görünümü.	34
Şekil 4.12. Polimetil metakrilat (PMMA) akrilik üst kapağı parçasının çizimi ve tasarımdan sonraki görünümü.....	35
Şekil 4.13. Silikon üst kapak contası parçası çizimi ve tasarımdan sonraki görünümü.	36
Şekil 4.14. Deneylerde kullanılmak üzere kültürlenmiş mikroalg örneklerinden bazıları.	37
Şekil 4.15. Farklı dalga boylarında çalkalamalı inkübatör içerisinde büyütülen mikroalg örnekleri	38
Şekil 4.16. Farklı dalga boylarında büyütülen mikroalg örnekleri ve reaktör sistemi (Üst sağdan sola: Beyaz, Mor, Mavi; Alt sağdan sola: Yeşil, Sarı, Turuncu ve Kırmızı).....	39
Şekil 4.17. <i>Gloeocystis vesiculosa</i> 901'in beyaz ışık altında büyüme eğrisi.	40
Şekil 4.18. <i>Gloeocystis vesiculosa</i> 901'in mor ışık altında büyüme eğrisi.	41
Şekil 4.19. <i>Gloeocystis vesiculosa</i> 901'in mavi ışık altında büyüme eğrisi.....	41
Şekil 4.20. <i>Gloeocystis vesiculosa</i> 901'in yeşil ışık altında büyüme eğrisi.	42
Şekil 4.21. <i>Gloeocystis vesiculosa</i> 901'in sarı ışık altında büyüme eğrisi.....	43
Şekil 4.22. <i>Gloeocystis vesiculosa</i> 901'in turuncu ışık altında büyüme eğrisi.....	43
Şekil 4.23. <i>Gloeocystis vesiculosa</i> 901'in kırmızı ışık altında büyüme eğrisi.	44
Şekil 4.24. Düz panel hava kaldırmalı fotobiyoreaktörde farklı dalga boylarındaki ışıkların <i>Gloeocystis vesiculosa</i> 901 üzerine büyüme etkileri.	45

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
GWH	Giga Watt saat
Mtoe	Milyon ton eşdeğer petrol (Million Tonnes of Oil Equivalent)
MW	Mega Watt
L	Litre
Mm	Milimetre
Nm	Nanometre
pH	Bir Çözeltinin Asitlik Veya Bazlık Derecesini Tarif Eden Ölçü Birimidir.

Kısaltmalar	Açıklama
FBR	Fotobiyoreaktör
R	Kırmızı
G	Yeşil
B	Mavi
BBM	Bold Basal Medium
CCALA	Culture Collection of Autotrophic Organisms
PV	Güneş Pili



1. GİRİŞ

Tüm dünyanın temel problemleri arasında çevre ve enerji konuları en önde yer almaktadır. Çevresel problemlerin önüne geçmek tüm dünya ülkelerinin temel gayesi olmalıdır. En önemli çevresel problemlerin başında küresel ısınma, iklim değişikliği ve çevre kirliliği yer almaktadır. Kullanmakta olduğumuz petrol türevli yakıtlar çevreye zarar vererek küresel ısınmanın artmasını sağlamaktadır.

Bu sebeple çevre kirliliğinin önüne geçmek ve ülkemizin dışa bağımlılığını azaltmak adına fosil yakıtların yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını arttırmamız gerekmektedir (Amin, 2009).

Çevresel tehditlerin en başında gelen küresel ısınma, atmosferdeki sera gazlarının artışı ile gerçekleşmektedir. Petrol türevli yakıtların yanması sonucu atmosferde sera gazını arttıran kimyasallar açığa çıkmaktadır. Sera gazları atmosferin dengesini bozarak yerkürenin sıcaklık artışına neden olur. Bu artış küresel çapta ılıman havanın oluşmasını sağlar (Watanabe ve ark., 1996; Benemann, 1997; Amin, 2009). Enerji aşağıda belirtildiği gibi farklı hallerde ve şekillerde bulunabilmektedir.

- Kimyasal Enerji,
 - Nükleer Enerji
 - Mekanik Enerji
 - Termal Enerji
 - Jeotermal Enerji,
 - Hidrolik Enerji,
 - Güneş Enerjisi,
 - Rüzgar,
 - Elektrik enerjisi
-
- Kullanışlarına göre enerji kaynakları
 1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları
 2. Fosil türevli yakıtlar olarak ikiye ayrılırlar.

Fosil yakıtlar yakın zamanda miktarlarında ciddi bir azalma yaşanacağı için yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak geleceğimiz için umut verici çalışmalara yoğunlaşmamamız gerekmektedir (Şenel, 2012).

Sürdürülebilir yakıtlar ülke ekonomisine büyük katkıda bulunmaktadır. Ayrıca yerli kaynakların kullanımını arttırarak sürdürülebilir enerji arzının sağlanması ve çevreye verilen zararın en aza indirilmesi açısından da önemlidir. Fosil yakıtlar dünyamızda dominant şekilde kullanılmasına rağmen sürdürülebilirliğe olan talep gün geçtikçe artmaktadır. Yerküremizde petrol kaynaklı yakıtlar dominant şekilde kullanılırken kömür bazlı yakıtlar ve temiz enerji sınıfında sayılan doğalgaz en çok tüketilen yakıtlardır (Karagöl ve Kavaz, 2017).

Bu çalışmamızda yenilenebilir enerji kaynaklarından mikroalgler kullanılarak yüksek biyodizelin oluşması hedeflenmiştir.

Biyoenjerji, yenilenebilir enerji kaynakları arasında çok önemli bir noktada yer almaktadır. International Energy Agency(IEA) yaptığı modellemelerde biyoenjerji düşük karbonlu küresel enerji sisteminin temel bir bileşeni olduğunu belirtmiştir. Ayrıca Biyoenjerji sistemleri etkin bir şekilde kullanıldığı vakit havacılık, deniz taşımacılığı ve uzun mesafeli deniz taşımacılığında karbon yayılımını azaltmak veya kaldırmak için önemli bir etkiye sahip olduğu belirtilmektedir.

Ayrıca sürdürülebilir biyoenjerji sistemleri etkin bir şekilde kullanılabilirse tüm sektörlerin enerji arzını karşılamada önemli bir kaynak olduğu belirtilmektedir. Her geçen gün artan ulaştırma sektöründe atmosfere salınan karbon oranını azaltmak için de biyoenjerji sistemleri gerekli çözümleneleri yaparak düşük karbon salınımını yaparak önemli bir özelliğini daha ortaya koymaktadır.

Bu sebeple biyoenjerjinin düşük karbon salınımı gerçekleştirilmesi ve yenilenebilir enerji kaynağı olması sebebiyle önemli çalışmalar yaparak sürdürülebilir bir enerji sistemini etkin hale getirmemizde büyük fayda yer almaktadır (Anonim, 2017).

Biyoyakıtlar üç gruba ayrılabilir.

Birinci kısımda kanola, aspir, şeker, nişasta, hayvansal yağ veya bitkisel yağ ham maddelerinden üretilen bitkisel kaynaklı yakıtlar bulunmaktadır. İkinci kısımda ise bitkilerin tarım alanlarında bulunmayan bunların artıklarından elde edilen hammadde kökenli yakıt türleri bulunmaktadır. İkincil yakıtların elde edilebilir ve kullanımı

hammadde sikkıntısından dolayı oldukça zordur. Üçüncül kısmı ise mikroalgler oluşturmaktadır.

Bu çalışmada, düz panelde fotobiyoreaktörün tasarımı yapılmış olup çeşitli dalga boyları ile led ışık kullanılarak yüksek biyodizelin üretimi amaçlanmıştır.

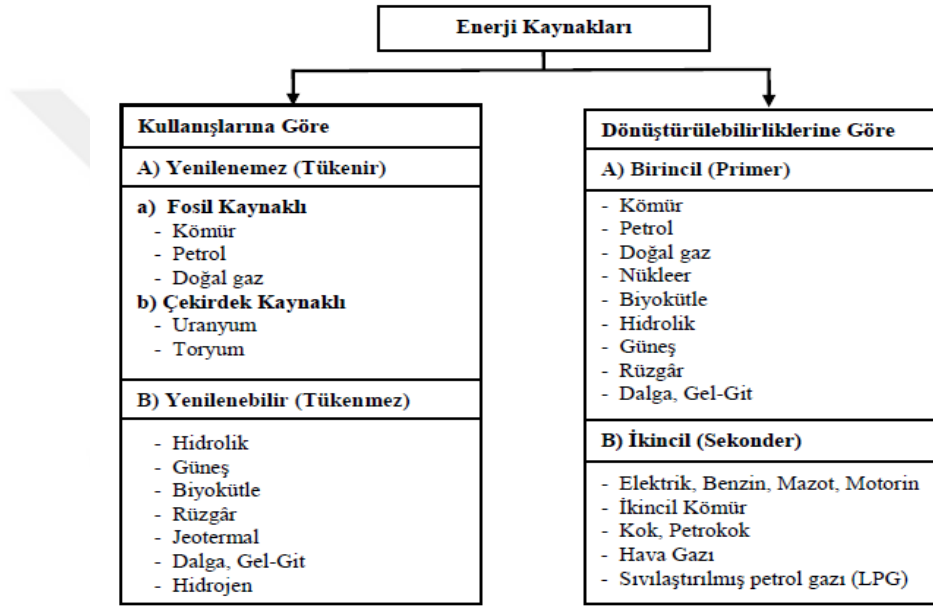




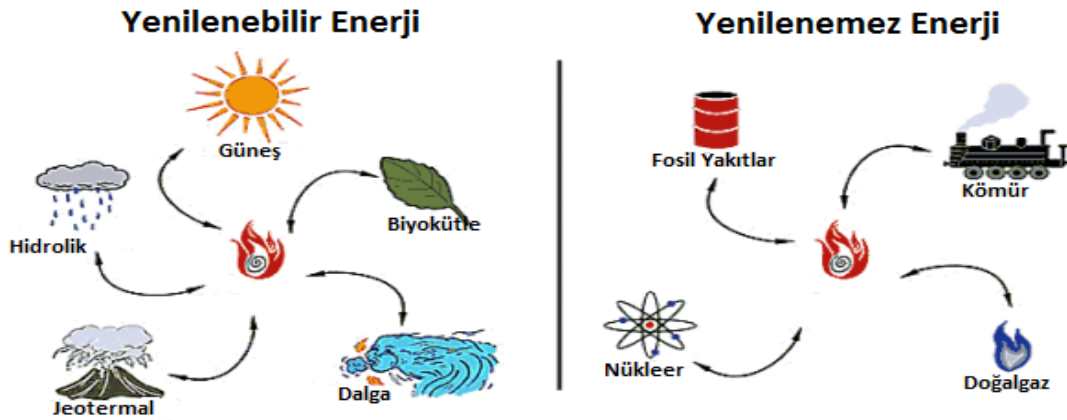
2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ

2.1. Enerji Kaynakları

Bir maddenin iş yapabilme yeteneğine enerji demek mümkündür. Enerji kaynağı ise herhangi bir yöntemle enerjinin üretilmesini sağlayan kaynaklara denir.



Şekil 2.1. Enerji Kaynaklarının Sınıflandırılması (Koç ve Şenel, 2013).



Şekil 2.2. Enerji Kaynakları (Uyar, 2017).

2.1.1. Yenilenebilir enerji kaynakları

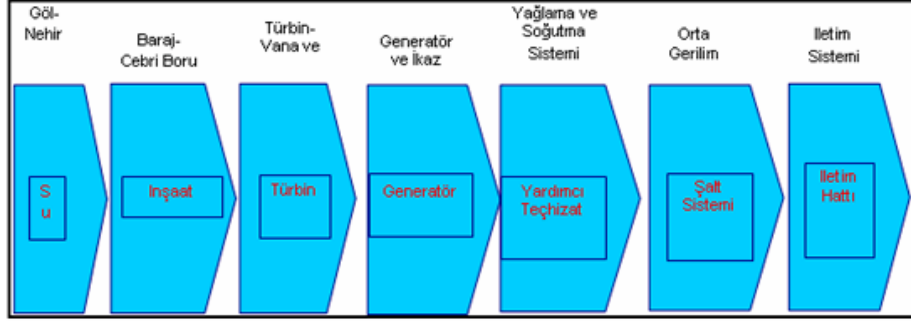
Yenilenebilir enerji kaynakları karbon salınımını en aza indirerek çevre kirliliğinin önüne geçmektedir. Ayrıca enerji ihtiyacını yenilenebilir enerji kaynaklarından sağladığı için dışa bağımlılığı en aza indirerek ekonomik olarak da oldukça önemli bir yer tutmaktadır.

2.1.1.1. Hidrolik enerji

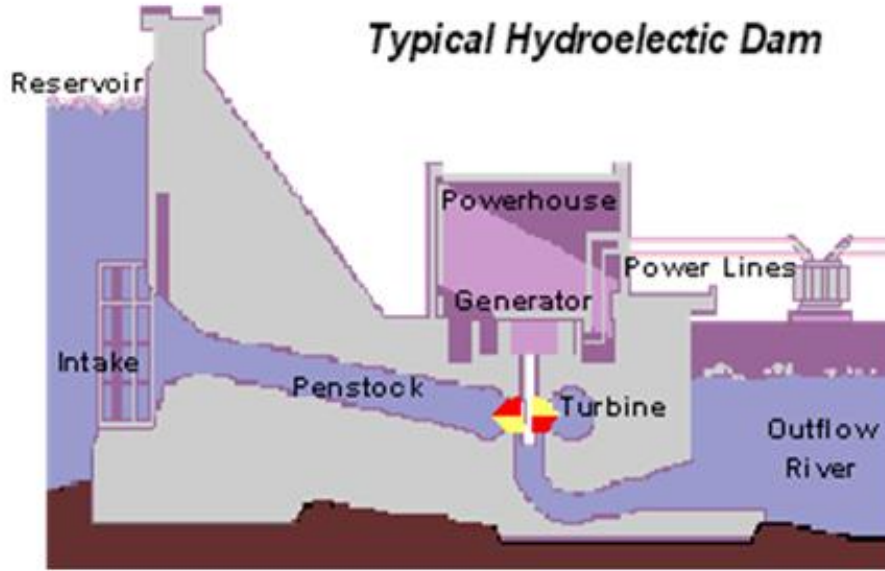
Hidrolik kökenli kaynaklar tarihte bilinen en eski enerji türleri arasında yer almaktadır. Hidrolik enerji adından da anlaşılacağı üzere enerji ihtiyacını sudan sağlamaktadır. Potansiyel enerjinin kinetik enerjiye dönüşmesi ile yüksek miktarda enerji elde edilmektedir. Yani yüksekten gelen su kütlesinin su türbinlerini döndürerek oluşan enerji olarak da tanımlamak mümkündür. Yenilenebilir enerji kaynağı olan hidrolik enerji suyun döngüsel bir şekilde hareket etmesi sebebiyle sürekli yenilenmektedir. Güneş ısı ile buharlaşan su, soğuk hava ile yoğunlaşan su kütlesi yağmura ve kara dönüşür. Bu şekilde yüksek noktalarda bulunan su kütlesi nehir, ırmak ve dere aracılığı ile denizlere doğru akmaktadır.

Suyun içinde bulunan potansiyel enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren santrallere Hidroelektrik santrallar (HES) denir.

Suyun akışı veya düşüşü akan su içindeki enerjiyi tayin etmektedir. Geniş su kaynakları yüksek miktarda enerji içermektedir. Akış ve düşüş yolu ile elde edilen enerji kanal sistemleri yardımı ile veya borular vasıtasıyla türbinlere yollanır. Bu türbinler dönerek mekanik işlemlerin tamamlanmasının ardından elektrik enerjisinin oluşumu sağlanır (Anonim, 2018).



Şekil 2.3. Hidroelektrik Enerji Üretimi Akım Şeması (Anonim, 2018).



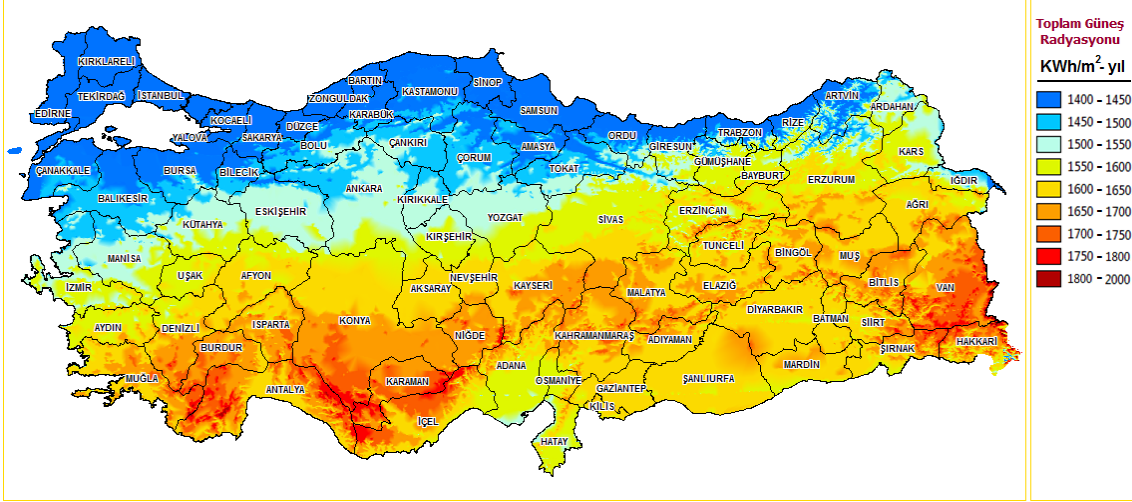
Şekil 2.4. Tipik Hidroelektrik Santrali (Anonim, 2018).

2.1.1.2. Güneş enerjisi

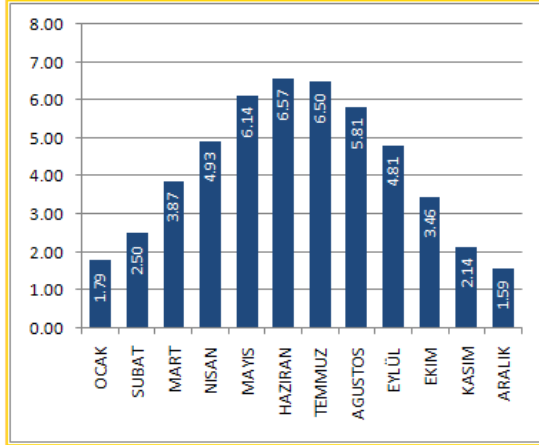
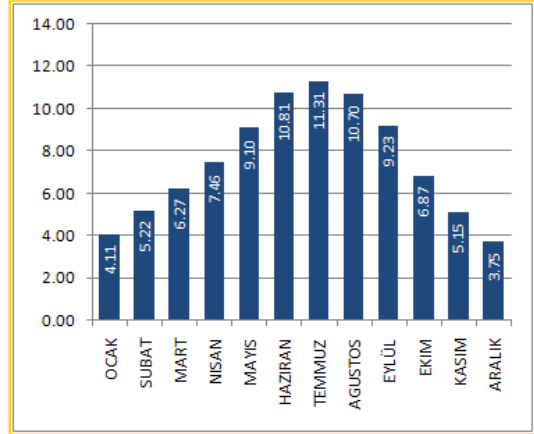
Gelecekte en fazla kullanılacak enerji türlerinden biri olarak gösterilmektedir. Güneş enerjisinin doğrudan yada dolaylı olarak 2 şekilde elektrik üretilmektedir (Uğurlu, 2009). Son yıllarda artan teknolojik gelişmeler sayesinde güneş enerjisinin kullanım alanı da artmaktadır. Güneş enerjisinden enerji üretmek dünya üzerinde 1970 yılından itibaren artarak devam etmiştir. Dünya üzerinde kurulan ilk güneş santrali de ABD’de kurulmuştur. Güneş enerjisinden ciddi miktarda enerji üretmek mümkündür. Fakat bunun için geniş arazileri kullanmak gerekir. Ayrıca güneş

enerjisinden enerji üretmek için çok ciddi ilk yatırım maliyeti gerekmektedir. Bu sebeple yatırılan yatırımın geri dönüşünün hızlandırılması için güneşlenme sürelerinin çok fazla olduğu yerlere kurularak verimin artırılması esas alınmalıdır (Çepik, 2015)

Güneşten enerji üretmekten ziyade binaların ve evlerin ısıtma sisteminde kullanılması da mümkündür. Bu şekilde pasif bina ısıtması olarak adlandırılan sistemi kullanılabilir. Bu sistem ile güneş ışınlarından gelen ısıyı içerde tutmak amaçlanır. Binanın yerinin, pencere büyüklüğünün ve yerinin bulunduğu enlem dikkate alınarak güneş enerjisinden maksimum şekilde faydalanmayı sağlar. Bina ısıtmasının diğer bir yöntem ise iyi izole edilmiş güneş panellerini çatıya kurup su sirkülasyonu ile sıcak su tüketimi de karşılanabilir (Uğurlu, 2009).



Şekil 2.5. Türkiye Güneş Enerji Potansiyeli Atlası (Anonim, 2018).

TÜRKİYE Global Radyasyon Değerleri (KWh/m²-gün)**TÜRKİYE Güneşlenme Süreleri (Saat)**

Şekil 2. 6. Türkiye Global Radyasyon Değerleri ve Güneşlenme Süreleri (Anonim, 2018).

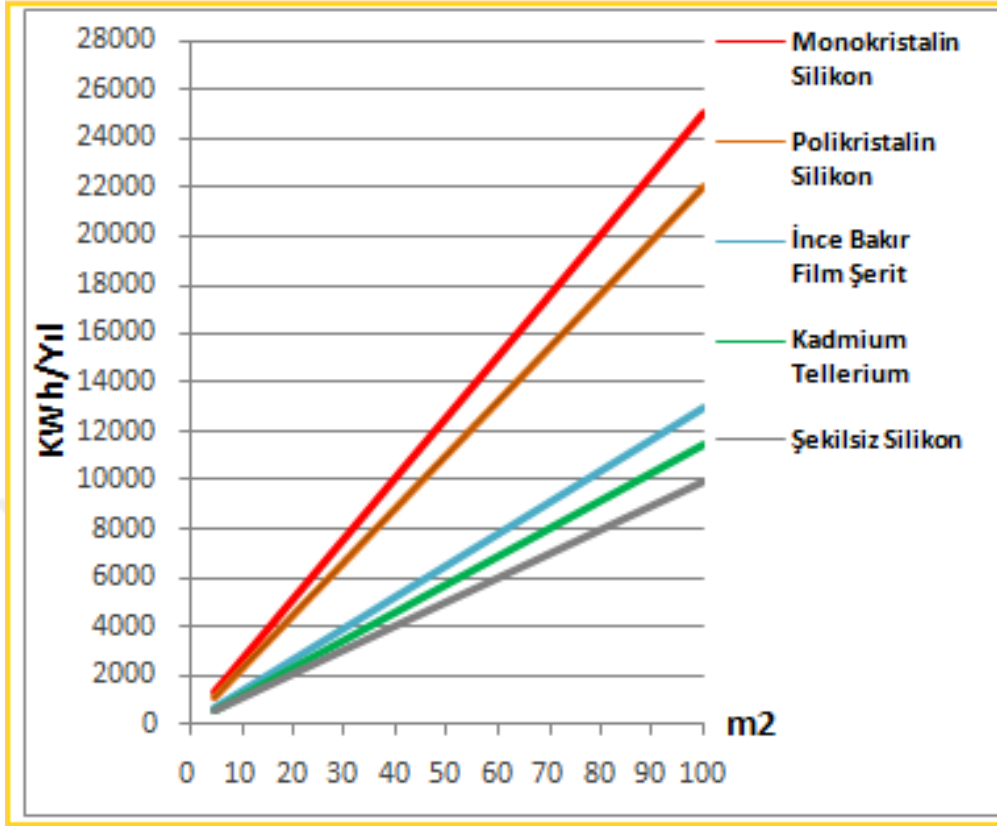
2.1.1.2.1 Fotovoltaik dönüşüm, PV hücre ve güneş pili

Güneş pili (PV) güneş enerjisinden elektrik üretiminde önemli bir teknolojik sistemdir. Bu sistem ile güneş ışığı ile doğrudan elektrik üretmek mümkündür. 2000 yılından sonra güneş pilinin maliyetleri düşürülerek kullanım ağırları arttırılmıştır. Gelişen teknoloji ile kristal silisyum hücreler güneş pilleri arasında en çok tercih edilirduruma gelmiştir. Fotovoltaik hücreler çevreyi kirletmeden herhangi bir mekanizmaya ihtiyaç duymadan sessiz bir şekilde güneşten elektrik elde etmek mümkündür (Vural, 2010).

Fotovoltaik sistemler elektrik dağıtım şebekelerine bağlı kalarak veya şebekeden bağımsız da çalıştırılabilir. Fotovoltaik sistemler uydularda, navigasyon sistemlerinde , baz istasyonlarında ve sokak aydınlatması gibi birçok alanda kullanım alanı bulmaktadırlar (Vural, 2010).

Güneş enerjisinin kullanımı Türkiye’de büyük bir ivme kazanarak devam etmektedir. Yaklaşık olarak 7500000 metrekarelik alana güneş toplayıcısı yerleştirilmiştir. Türkiye güneş toplayıcısı konusunda ileri ülkeler arasında bulunmaktadır. Ayrıca evlerimizin sıcak su ihtiyacını karşılamada yaygın olarak güneş enerjisi kullanılmaktadır. Fotovoltaik pillerin kullanımı endüstriyel kuruluşlar tarafından da sıkça tercih edilmektedir (Uğurlu, 2009).

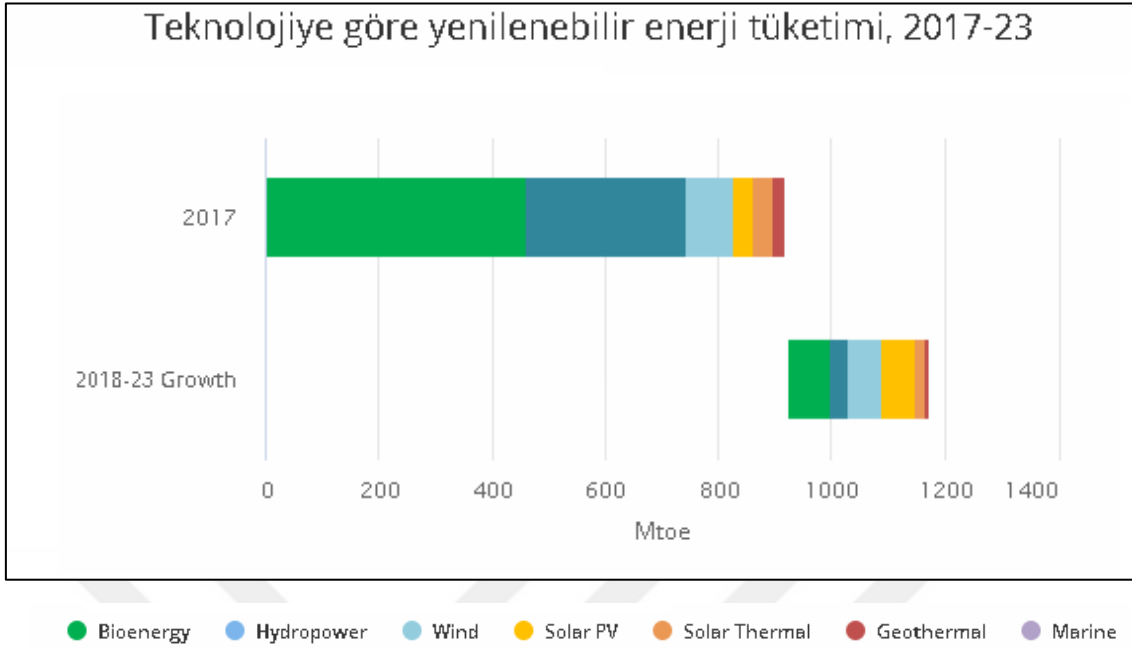
TÜRKİYE PV Tipi-Alan-Üretilebilecek Enerji (KWh-Yıl)



Şekil 2.7. Türkiye PV Tipi-Alan Üretilebilecek Enerji Durumu (Anonim, 2018).

2.1.1.3. Rüzgar enerjisi

Rüzgar enerjisi güneş kaynaklı bir enerjidir. Rüzgardan elde edilen kinetik enerjisinin önce mekanik enerjisine sonra da elektrik enerjisine dönüşümü sağlanarak günlük kullanıma uygun hale getirilebilir. Rüzgar enerjisi son zamanlarda gelişmekte olan ülkeler arasında oldukça popüler olmakla beraber yapılan yatırımı kısa sürede amorti etmesi sebebiyle ticari manada çok elverişlidir (Vural, 2010).



Şekil 2.8. Teknolojiye Göre Yenilenebilir Enerji Tüketimi(2017-2023 Yılları) (Anonim, 2017).

2.1.1.3.1. Rüzgâr enerjisinin sağladığı avantajlar

Bu enerji çeşidi yenilenebilir enerji kaynağı olduğundan fosil kaynakların kullanımını azaltarak çevreci bir tutum sergileyerek ortaya çıkabilecek sera gazını azaltmaktadır.

Rüzgâr gücü elektrik üretmede verimlidir. Diğer elektrik üretim santrallerine göre rüzgâr santrallerinin projeleri daha basittir. Ve türbin bakım maliyetleri diğer elektrik santrallerine göre daha düşüktür. Dünya da teşvikler ve daha az faizli krediler rüzgâr santrali yatırımının önünü açmıştır (Vural, 2010).

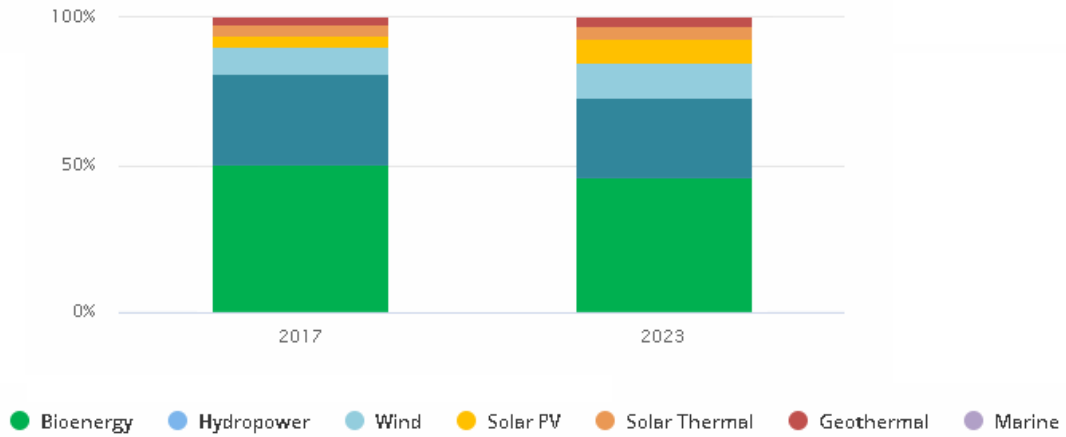
2.1.1.3.2. Rüzgâr enerjisinin dezavantajları

Bu tip enerjinin en büyük sorunu rüzgârın ne zaman eseceğini bilememek ve bu yüzden istenilen zamanda istenilen miktarda enerji üretiminin zor olmasıdır. Bu durum enerji ihtiyacının fazla rüzgar miktarının az olduğu zamanlarda sorun olarak karşımıza çıkabilir. Rüzgâr santralleri çevreye görüntü kirliliği vermekle birlikte kuş ölümlerine yol açması, gürültü yapması, radarlarda parazitler oluşturması gibi

olumsuzluklar göstermektedirler. Rüzgâr türbinleri kurulduğu alanlarda ulusal elektrik hatları zayıftır. Bu da elektriğin taşınmasında sorun oluşturabilmektedir (Vural, 2010).

2.1.1.4. Jeotermal enerji

Bu enerji tipi bir hidrotermal kütle sistemi olup bol miktarda mineral ve gazları içeren bölgelerden elde edilmektedir. Ayrıca granit sistemli kabuklarda jeotermal enerji kaynağı olarak gösterilebilir (Külekçi, 2009). Ege ve Marmara bölgesinde yüksek entalpili olan bölgelerimizdir. İç Anadolu ve Doğu Anadolu Bölgelerimizde ise orta ve düşük entalpili kaynaklarımız mevcuttur. Dünya da jeotermal enerji potansiyeli 12.594 Megawatt olduğu düşünülmektedir. Jeotermal enerji birden fazla alanda kullanılabilen bir enerjidir. İzlanda'da da 1943 yılından beri konutların ısıtılmasında kullanılmaktadır. Türkiye de de jeotermal kaynakların kullanılmasına yönelik 1960'lardan bu yana bir araştırma söz konusudur. Jeotermal enerji 1980'lerin başından bu yana elektrik üretiminde kullanılmaktadır. Bu enerjinin konutlarda kullanımı Türkiye'de gün geçtikçe artmaktadır (Uğurlu, 2009).

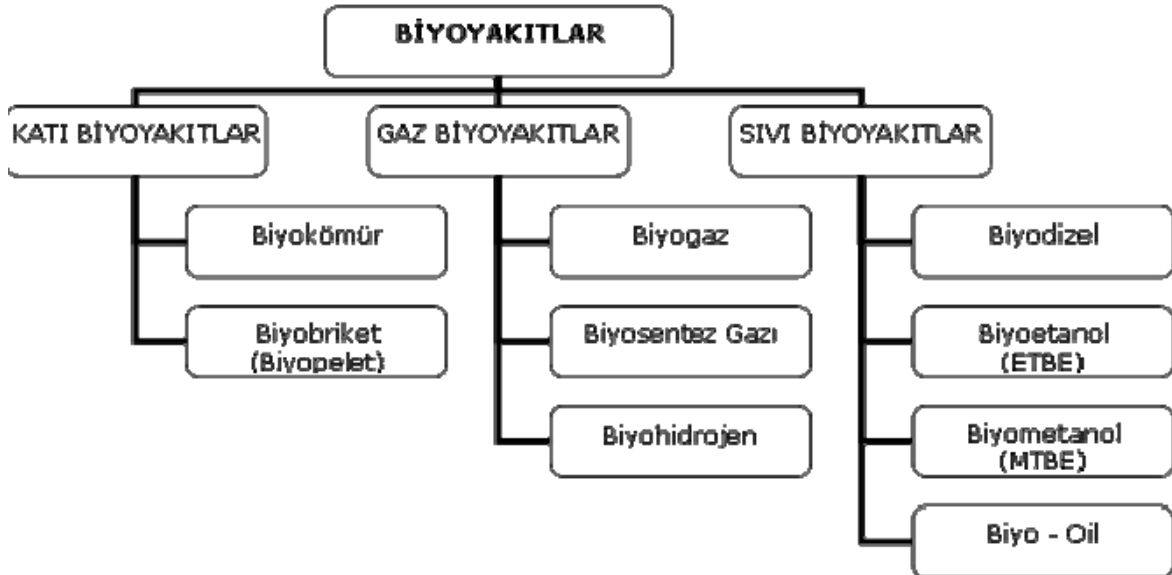


Şekil 2.9. Teknolojiye Göre Yenilenebilir Enerji Tüketimi(2017-2023 Yılları) (Anonim, 2017).

2.1.1.5. Biyoyakıtlar

Artan tüketim alışkanlığı petrol türevli yakıtlara da olan ilgiyi bir hayli arttırmıştır. Ayrıca petrol türevli yakıtların dünya pazarında hızlı artışı yeni enerji kaynaklarının arayışını da zorunluluk haline getirmektedir. Biyoyakıtlar da yeni enerji kaynaklarının en başında gelmektedir. Biyoyakıt yenilenebilir enerji kaynağıdır. Son dönemlerde biyoyakıtlardan enerji üretimi çevreci amaçlar doğrultusunda artmaya devam etmektedir.

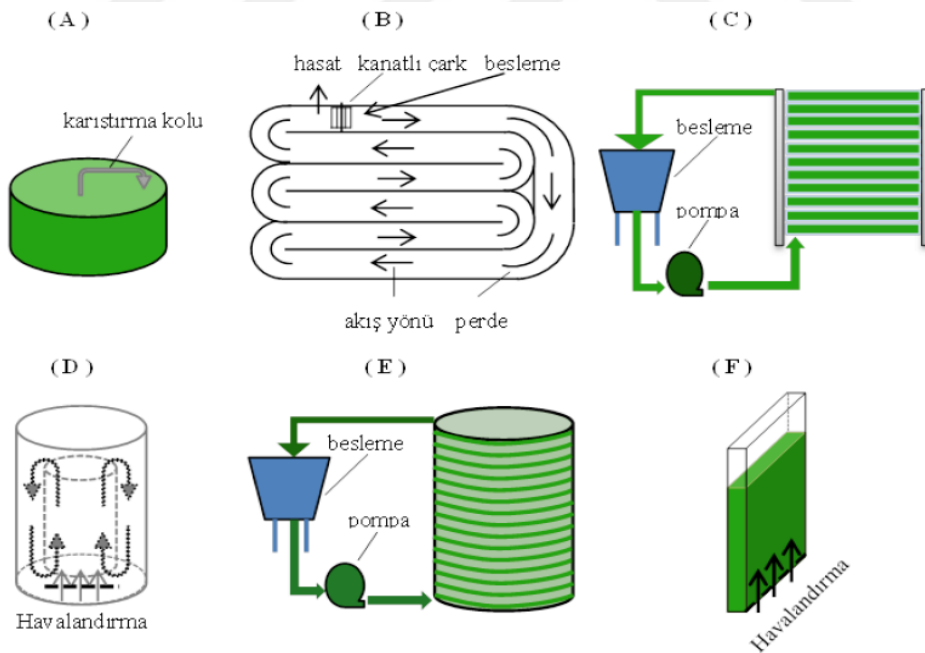
Yüzyıllardan bu yana alternatif enerji kaynakları durumun şartlarına göre değişiklik göstermiştir. İçinde bulunduğumuz bu yüzyılda ise biyokütle alternatif enerji kaynağı olarak öne çıkmaktadır. Biyokütle kısaca enerji elde etmek için bitkisel ve hayvansal kaynaklı enerji potansiyellerinin içindeki organik bileşiklerin kullanımı olarak açıklanabilir. Biyokütle herhangi bir enerji kaynağına dönüşüm sağlayabilir. Bunun için biyokütle kaynağı çeşitli yöntemlerle işlenerek enerji haline getirilebilir (Taşyürek ve Acaroğlu, 2007).



Şekil 2.10. Biyolojik Kökenli Yakıtlar (Karaosmanoğlu, 2007).

2.1.1.5.1. Mikroalgler

Mikroalgler sucul ortamlarda yaşamlarını sürdürebilen canlılardır. Ototrofik, Heterotrofik ve fotosentez üretebilen canlılardır (Zhu, 2015). Bu canlılar uygun yaşam koşulları sağlandığı vakit çok hızlı bir şekilde çoğalabilmektedirler. Mikroskobik canlılar olmasına rağmen olumsuz koşullarda çok direnç gösterebilirler (Mata ve ark., 2010). Mikroalglerin kimyasal formülü bazı kaynaklarda $CO_{0.48}H_{1.83}N_{0.11}P_{0.01}$ olarak, bazı kaynaklarda ise $C_{106}H_{181}O_{45}N_{16}P_1$ olarak ifade edilmektedir (Bernards ve Hu., 2014; Medeiros ve ark., 2015). Mikroalglerin çok fazla çeşidi olduğu tahmin edilmektedir. Bazı kaynaklara göre 50000'den fazla türün olduğundan bahsedilmektedir. Ancak bugüne kadar 30000'e yakın tür belirlenebilmiştir (Mata ve ark., 2010). Mikroalgler içerilerinde bulunan klorofil yardımı ile fotosentezi oluştururlar. Bu esnada CO_2 ve suyu kullanarak biyokütle oluşumunu sağlarlar (Pragya N. ve ark. 2013; Zhu L. 2015).



Şekil 2.11. Tipik mikroalg üretim sistemlerinin şematik şekilleri.

A) Dairesel karıştırılmalı havuz B) Yarış pisti tipi havuz C) Yatay tübüler fotobiyoreaktör D) Hava kaldırmalı reaktör E) Sarmal tübüler fotobiyoreaktör F) Düz plaka fotobiyoreaktör (Elçik ve Çakmakçı, 2017).

Çizelge 2.1. Farklı mikroalg üretim sistemlerinin karşılaştırılması (Elçik ve Çakmakçı, 2017).

Üretim sistemi	Avantaj	Dezavantaj
Yarış pisti tipi havuz	Maliyet nispeten daha azdır Takibi ve kullanımı oldukça kolaydır. Tarıma elverişli olmayan bölgelere uygulanabilir.	Verimi düşük seviyede seyretmektedir. Yetiştirilen bölge gereksinimi yüksektir. CO ₂ ihtiyacı düşüktür. Yetiştirilen mikroalg çeşidi az seviyededir.. Sistem içerisinde nispeten su buharlaşma riski vardır. Bakteri ve maya kontaminasyonu meydana gelebilir.
Tübüler fotobiyoreaktör	Yüzey alanı büyüktür. Biyokütle üretim verimi yüksektir. Bakteri ve maya kontaminasyonu azdır. Belirsizlik azdır. Yüksek karalara ihtiyaç duymaz.	Işıktan etkilenir ve sıcaklık önemli bir parametredir. Mikroalgler yüzeye tutunma eğilimindedir. Açık sistemlere göre kurulumu maliyetlidir.
Düz plaka fotobiyoreaktör	Verim yüksektir. Sterilizasyonu kolaydır. Yüzey alanı büyüktür. Sistemde O ₂ azdır. Doğal güneş ışığı kullanılabilir. Bakteri ve maya kontaminasyonu nadirdir. Yüksek karalara ihtiyaç duymaz.	Mikroalgler yüzeye tutunma eğilimindedir. Sıcaklık kontrolü zordur. Pahalı bir sistemdir. Düşük parametrelerde lab ölçekli olarak kullanılabilir.
Hava kaldırmalı fotobiyoreaktör	Karışıktır. Kurulumu zordur. Yüksek kara alanlarına ihtiyaç duymaz. Enerji tüketimi azdır. Kütle transferi yüksektir. Sterilizasyonu kolaydır. Bakteri ve mayalara karşı kontaminasyonu limitlidir.	Aydınlatma alanı düşüktür. Reaktör tasarımı komplikedir. Lab ölçekli olarak kullanılmak zorundadır. Sistem pahalıdır.

Onay (2015) tarafından Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyokimya Anabilim Dalında yürütülen tez çalışmasında termal sulardan mikroalgler izole edilmiş ve bunların benzer bölgeleri sekanslanarak bu mikroalglerin karakterizasyonu yapılmıştır. Üç adet suş elde edilerek bunların farklı özütleme metodları ve yardımcı özütleme metodları kullanılarak yağ miktarları ölçülmüştür.

Micractinium sp. ME05'in lipid içeriği % 27.3 ± %2.6 ve biyodizel verimi % 89 ± %3.1 olarak bulunmuştur.

Derakhshandeh (2018) tarafından Eskişehir Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Bölümünde mikroalg biyokütlesinden yağ oluşumu incelenmiştir. Değerlendirilen türler içinde lipid içeriği en yüksek çıkan, % 47,32 ile *Scenedesmus quadricauda* türü olmuştur.

Demir (2015) tarafından Gazi Üniversitesinde 260 L mikroalg kültür çözeltilisinden 45 g kuru alg kütlesi temin edilmiştir. Kuru alg hücreleri ekstraksiyona tabi tutulmuş ve bünyelerindeki yağ alınmıştır. Kuru alg hücrelerinden ortalama % 63,7 yağ verimi elde edilmiştir. Her ne kadar kuru alg kütlelerinden yağ verimi yüksek olarak görünse de kültür çözeltilisinden elde edilen kuru alg miktarı oldukça düşüktür. Bir biyokütle kaynağı olan mikroalgler kullanılarak biyodizel üretimi incelenmiştir. Çalışmaya *Chlorella vulgaris*, *Phormidium sp.* ve *Chroococcus sp.* olarak isimlendirilen üç farklı mikroalg türü ile başlanmış ve bu türlerden en hızlı büyüyen türün *Chroococcus sp.* olduğu tespit edilmiştir.

Tüccar (2011) tarafından Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalında *Chlorella vulgaris*'in kültürel özelliklerini incelemek ve mikroalg biyodizelinin motorda alternatif yakıt olarak kullanılabilirliğini araştırmak için için ciddi bir çalışma yürütülmüştür. Mikroalg biyodizeli dizel yakıtıyla %5, %10, %20 ve %50 hacimsel oranlarında karıştırılmıştır. Hazırlanan karışımların ve saf biyodizelin yakıt özellikleri belirlenmiş ve mikroalg biyodizeli kullanan bir motorun performans özellikleri ve egzoz emisyonları analiz edilmiştir. Yakıt analiz deneyleri, düşük Setan sayısı dışında Mikroalg biyodizelinin Avrupa Biyodizel Standartlarını (EN 14214) karşıladığını göstermiştir. Motor deneylerinden alınan veriler ışığında mikroalg biyodizelinin motorun tork ve fren gücünü az da olsa düşürdüğü ancak motorun emisyon değerlerini iyileştirdiği belirlenmiştir

Akın (2017) tarafından Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyokimya Bölümünde yürütülen çalışmada özgün ve ısı dirençli bir mikroalg suşu olan *Scenedesmus sp. METUNERGY1402 (ME02)*, biyokimyasal ve genetik yaklaşımlar aracılığıyla değerli yağ üretimi açısından değerlendirilmiştir. Bu çalışmada, *Scenedesmus sp. ME02* suşunun etkili bir şekilde büyümesi için optimize edilmiş

besiyeri geliştirilmiştir. Biyokimyasal ve fizyolojik açıdan bakıldığında, mikroalg kültürünün yetiştirilmesinde, sıcaklık kritik bir parametredir ve dış mekân biyoreaktörleri için sıcaklık kontrolü ek maliyete sebep olmaktadır. Daha önce *Scenedesmus sp.* ME02 suşunun 25-50°C dereceleri arasında yaşayabildiği rapor edilmiştir. Bu çalışmada buna ek olarak, bu türün 10°C kadar düşük bir sıcaklığa dahi dayanabildiği gösterilmiştir. Günlük sıcaklık değişiminin *Scenedesmus sp.* ME02 suşunun biyokütle ve yağ üretimine etkisi incelenmiş ve diğer sıcaklık rejimleriyle karşılaştırılmıştır. *Scenedesmus sp.* ME02 suşuna ait farklı sıcaklıklardaki yağ asidi metil ester (FAME) profili bu çalışmada araştırılmıştır. Ekonomik olarak önemli olan yağ asidi metil esterlerinde (palmitik, stearik, oleik, linoleik ve linolenik asitler) anlamlı değişimler gözlemlenmiştir. Yağ asidi kompozisyonundaki değişimlerin genetik temelini incelemek amacıyla, yağ asidi desaturaz-2 (fad2) geni tespit edilmiş ve bir kısmı *Scenedesmus sp.* ME02 suşundan başarıyla klonlanmıştır. Son olarak, *Scenedesmus sp.* ME02 suşuna genetik mühendisliği teknikleri kullanılarak başarılı ve kalıcı bir transformasyon gerçekleştirilmiştir. Günlük sıcaklık değişimi olan laboratuvar ölçekli kesikli kültür ortamı düzeneği ilk kez bu çalışmada rapor edilmiş ve bu sayede, aşırı uç sıcaklıklarda dış mekân kültivasyon çalışmalarına ışık tutulmuştur.

Manav (2004) tarafından Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyomühendislik Anabilim Dalında yürütülen çalışmada, siyanobakteri/mikroalglerin biyokütle artışı ve ticari değeri olan metabolitlerinin üretimine etki eden parametrelerin optimizasyon çalışmalarına temel oluşturacak verilerin toplanması, bu verilerin biyoreaktör tasarımı için kullanılması amaçlanmıştır. Model organizma olarak, siyanobakteri olan *Spirulina platensis* seçilmiştir. Üretimler 2 L'lik kültür kaplarında ve panel tip reaktörlerde fotoototrofik olarak gerçekleştirilmiştir. Üretimlerde standardizasyonu sağlamak için öncelikle inokulum yaşı belirlenmiştir. Daha sonra farklı ışık dalga boyu aralıkları, sıcaklıklar ve inokulum konsantrasyonlarının biyokütle, biliprotein, klorofil-a ve protein miktarları üzerine etkileri incelenmiştir. En iyi biyokütle artışının sağlandığı inokulum konsantrasyonu kullanılarak aydınlatma süresinin etkisi incelenmiştir. Panel tip reaktörlerde yapılan çalışmalar ile de farklı ışık yollarının ve karıştırmanın kültür verimi üzerine etkileri incelenmiştir.

Van Dyne ve ark. (1995) tarafından yapılan bir çalışmada biyodizel üretiminin sağlayacağı makroekonomik etkiler incelenmiş bu yakıtın üretiminin etkilerinin nasıl olabileceği hakkında hipotezler oluşturulmuştur.

Peterson ve Hustrulid (1998) tarafından yapılan makalede kolzadan üretilen biyodizelin karbon zincirindeki durumu irdelenmiş, normal dizel ile üretilen arasındaki farklar ortaya konulmuş ve biyodizelin daha fazla avantaja sahip olduğu gösterilmiştir.

Körbitz (1999), “makalesinde biyodizelin tarihsel gelişiminin yanında avantaj ve dezavantajlarını ortaya koymuş ve bunun kullanılabilirliği hakkında söylemler geliştirmiştir.



3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Düz panel hava kaldırmalı reaktörün tasarımı

Bu çalışmada düz panel hava kaldırmalı fotobiyoreaktörün (FBR) tasarımı yapıldı. Düz panel hava kaldırmalı fotobiyoreaktörün genel tasarımı ilerleyen bölümlerde detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Fotobiyoreaktörde ana bileşen olarak pleksi glass malzeme polimetil metakrilat (PMMA) kullanılarak tasarım gerçekleştirildi. FBR'nin et kalınlığı 32 mm'dir. FBR'nin sıvı kalınlığı ise 20 mm'dir. Bu kısımda mikroalglerin büyümeleri sağlandı. Reaktörün arka yüzeyine sıcaklık kontrolü ve dağılımı için alüminyum panel yerleştirildi. Alüminyum panel ışığın oluşturmuş olduğu ısıyı azaltmak için kullanılmıştır. Reaktörün toplam hacim 1,3 L ve işletme hacmi ise 1 L dir. Reaktör, hava kompresörü, karbondioksit tüpü ve 1 vvm hava debisi ile havalandırıldı. %99 saflıktaki CO₂ gazı, pH değerlerinin sabit tutulması amacıyla JBL Proflora marka pH kontrolcüsü ile sisteme verildi.

3.1.2. Mikroalglerin büyütülmesi

Bu çalışmada mikroalg olarak *Gloeocystis vesiculosa 901* kullanıldı ve mikroalgler Culture Collection of Autotrophic Organisms (CCALA) Çekya'dan elde edildi. Mikroalgler 24 ± 2 °C'de kültürlenme işlemine tabi tutuldular. Bunun için ilk önce hücreler pasajlandı ve pedri kaplarında çalkalamalı inkübatörde (JSSI-200CL) inkübasyona bırakıldılar. Daha sonra sıvı besiyerine alınarak büyümeleri sıvı besiyerinde sürdürüldüler. 300 mL'lik erlanmayer flaskler içerisinde 200 mL çalışma hacmi ile mikroalgler büyütülerek düz panel hava kaldırmalı fotobiyoreaktör içerisine alındılar. Mikroalglerin büyütülmesi ve kültürlenmesi işleminde Bold Basal Medium (BBM) içerisinde yapıldı. Bold Basal Medium'un içeriği Çizelge 3.1. içerisinde verildi.

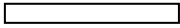






Çizelge 3.1. Bold Basal Medium (BBM) ve kompozisyonu

Kimyasal adı	BBM (mg/L)	Kimyasal adı	BBM (mg/L)
Tris base (H ₂ NC(CH ₂ OH) ₃)	-	ZnSO ₄ ·7H ₂ O	8.82
NaNO ₃	250	MnCl ₂ ·4H ₂ O	1.44
KNO ₃	-	MoO ₃	0.71
K ₂ HPO ₄	75	CuSO ₄ ·5H ₂ O	1.57
KH ₂ PO ₄	175	Co(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	0.49
MgSO ₄ ·7H ₂ O	75	H ₃ BO ₃	11.42
CaCl ₂ ·2H ₂ O	25	EDTA	50
Fe citrate	-	KOH	31
Citric acid	-	FeSO ₄ ·7H ₂ O	4.98
Ammonium Ferric citrate green	-	H ₂ SO ₄ (konsantre)	1
EDTANa ₂	-	Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O	-
NaHCO ₃	-	Na ₂ EDTA·2H ₂ O	-
Na ₂ CO ₃	-	CoCl ₂ ·6H ₂ O	-
NH ₄ Cl	-	(NH ₄) ₆ MoO ₃	-
NaCl	25	Acetik asit (konsantre)	-

3.1.3. Işık kaynağının özellikleri

Aydınlatma için 2 adet P10 tipi 16x32 mm'lik panel RGB LED kullanıldı. LED panel üzerinde toplam 1024 adet 3 diyotlu RGB LED bulunmaktadır. P10 paneli çalıştırmak için TF-AU marka LED sürücü kullanıldı. LED panel ile reaktör arasındaki toplam ışık mesafesi 24 mm'dir. Farklı dalga boylarında ışık üretmek için 0-255 arasında değer alan R (Kırmızı), G (Yeşil) ve B (Mavi) renk dönüşümünden faydalanıldı. Işık akılarının ölçümü, reaktörün iç yüzeyinden Apogee marka ışıkmetre ile $\mu\text{mol foton/m}^2\text{s}$ biriminde yapıldı. Her deney aşamasında farklı renkte ve dalga boyunda ışık kullanıldı. Çalışma oluşturulurken gökkuşağının renklerinden esinlenildi. Beyaz, mor, mavi, yeşil, sarı, turuncu ve kırmızı renklerinde ışıklar kullanıldı. Kullanılan ışıkların rengi, dalga boyları ve RGB kodları Çizelge 3.2'de gösterildi. Bütün renklerin mikroalgler üzerine deneyleri $100 \mu\text{mol foton/m}^2\text{s}$ altında gerçekleşti.

Çizelge 3.2. Çalışmada kullanılan ışık kaynağının renkleri, dalga boyları ve RGB kodları

Renk	Renk adı	Dalga boyu aralığı (nm)	RGB Kodu (R,G,B)
	Bevaz	380-750	255,255,255
	Mor	380-420	148,0,211
	Mavi	450-490	0,0,255
	Yeşil	490-570	0,255,0
	Sarı	570-590	255,255,0
	Turuncu	590-630	255,127,0
	Kırmızı	630-750	255,0,0

3.2. Yöntem

3.2.1. Optik yoğunluk ölçümü

Optik yoğunluk ölçümü için başlangıçta mikroalg örnekleri gerekli görülen seyreltme işlemi yapılarak maximum R değerini elde etmek için 530, 600, 680 ve 750 nm dalga boylarında spektrofotometre (Merck Prove-300) ile ölçüm yapıldı. Daha sonraki optik yoğunluk ölçümleri en iyi sonucun alındığı OD 680 dalga boyunda devam edildi.

3.2.2. Biyokütle analizi

Biyokütle analizi için örnekler durağan fazda alındılar ve 4 °C 10 dakika 3000 g'de santrifuj edildiler. Elde edilen pellet 3 defa saf su ile yıkanarak filtre kağıdından (1.2 µm GF/C; 47 mm, Whatman) süzüldü. Daha sonra süzüntü şeklindeki filtre kağıdındaki örnekler 105 °C'de bir gün süresince kurutuldu. Örnekler kuruduktan sonra gravimetrik olarak hassas terazide (A&D Company HR-250AZ) ölçüldü. Analitik analizler için örnekler liyofilizlendi ve deney gününe kadar -20 °C'de saklandı.

3.2.3. Azot ve fosfat giderim verimi

Bu çalışmada azot ve fosfat tayini için kitler kullanıldı. Azot tayini için Merck Nitrat Test kiti (1.09713.0002) ve fosfat tayini içinde Merck Fosfat Test kiti (1.14942.0001) kullanıldı.

3.2.4. Toplam yağ analizi

Toplam yağ asidi analizi Folch metodu ile yapıldı.(Folch, 1957) En az 5-10 mg yağ asidi içeren belli hacimdeki mikroalg örneği, 6 dakika boyunca 3600 g'de santrifüjlendi ve bir cam tüp içerisine aktarıldı. Üzerine 2 mL metanol eklendi ve 2 saat beklendi. Tekrar 2 dakika boyunca 3600 g'de santrifüj işlemi yapıldı. Daha sonra 4 ml kloroform ilave edildi, 4 saat süre ile karıştırıldı ve tekrar santrifüj edildi. Bu işlem 3 defa yapıldıktan sonra kloroform fazı alınarak rotary evaporator ile kurutularak yağ elde edildi. Yağlar gravimetrik olarak ölçüldü.

3.2.5. Biyodizel verimi

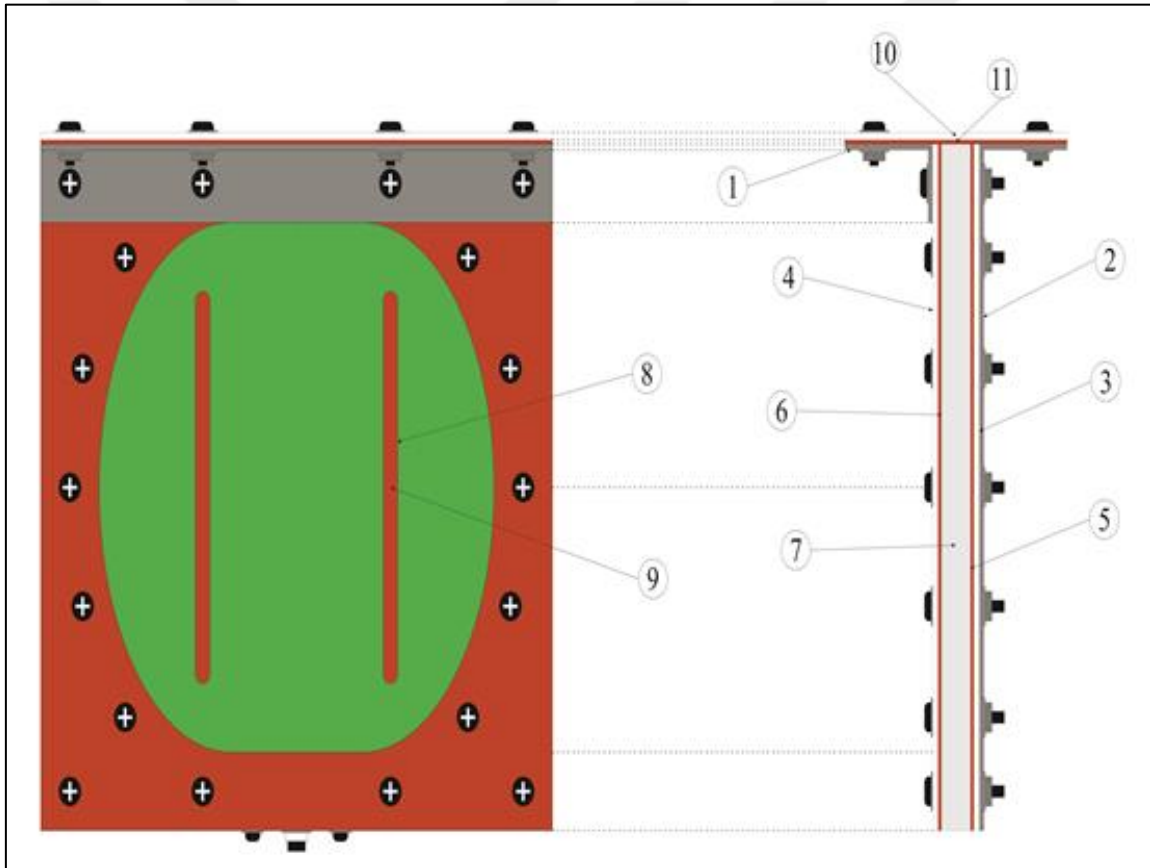
Yağlar 0.1 N KOH ile transesterleştirildi ve 60 °C de 3 saat karıştırıldı. Daha sonra inkübasyon için 18 saat bekletildi. Örnekler ayırma hunisi ile ayrılarak ve % 5'lik saf su ile yıkanarak temizlendi ve verim hesaplandı.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Düz Panel Hava Kaldırmalı Reaktörün Tasarımı

Mikroalg büyüme işlemleri açık ve kapalı sistemler tercih edilerek yapılmaktadır. Kapalı sistemlerde fotobiyoreaktörlerin farklı çeşitleri bulunmaktadır. Hava kabarcıklı, hava kaldırmalı, çalkalamalı tank, kolon, konik ve düz panel olmak üzere fotobiyoreaktörler tasarlanabilir. Kontaminasyonun az olması ve kontrolü daha sıkı kurallarla takip edilen kapalı reaktör sistemleri mikroalg işlemlerinde daha sıklıkla kullanılırlar. Bunlardan en çok tercih edilenleri ise kolon ve düz panel fotobiyoreaktörlerdir (Fulbright ve ark., 2018). Her mikroalg türü ve sistemi kendine göre avantajları olan fotobiyoreaktör tasarımı yapılarak büyütülmesi gerekmektedir (Salama ve ark., 2016). Genelde bu iki tipin seçilmesinin nedeni ucuz oluşu, ışıktandırmayı daha iyi sağlayarak yüzey alanının geniş olması nedeni ile daha fazla biyokütlenin elde edilmesidir (Bitog ve ark., 2011). Tüp şeklindeki fotobiyoreaktörlerde materyal plastik veya cam olabilir. Hava ve karıştırma sistemleri pompa ile sağlanır. Bunlar dikey veya yatay olarak konumlandırılabilirler. Bunun için tasarlanan bir çalışmada reaktörün iç çapı 0.38 m, dış çapı 0.395 m, tüp uzunluğu 510 m, reaktör hacmi 58.89 m³, seyreltme zamanı 8 saat/gün ve biyokütle konsantrasyonunda 1 kg/m³ olarak tasarlandı (Adesanya ve ark., 2014). Diğer kullanışlı reaktör tiplerinden biri olan düz panel reaktörler ise cam, pleksi veya polikarbonattan yapılmış olabilir. Bunun ile ilgili bir çalışmada hücre yoğunluğu 80 g/L olarak tasarım yapılmıştır (Brennan ve ark., 2010). Karıştırma işlemi motor veya hava kullanılarak yapılabilir. Tasarlanan düz panel fotobiyoreaktör 0.34 cm⁻¹ hacim yüzey alanı ile tasarlanarak bir yüzey 10 adet florasan ile toplam olarak 1000 µmolphotons/m²/s⁻¹ aydınlatma sağlanarak tasarlandı (Tredici ve ark., 1998). Diğer bir çalışmada tasarlanan reaktöre ek paneller eklenerek mikroalg birikmesi önlenmeye çalışılarak tasarım yapılmıştır. Diğer reaktör ile kıyaslandığında 1.7 kat daha fazla biyokütle üretildiği tespit edilmiştir (Kiran ve ark., 2014). Farklı tasarlanan reaktörlerdeki biyokütle verimine bakarsak biyoreaktörde *Euglena gracilis* ile 0.92 g/L, membran biyoreaktörde *C. vulgaris* 4 g/L, membran fotobiyoreaktörde *S.*

platensis 4.2 g/L, tübüler fotobiyoreaktörde *Porphyridium cmentum* 1.5 g/L, Tübüler fotobiyoreaktörde *Phaeodactylum tricornutum* 1.9 g/L, tübüler fotobiyoreaktörde *Haematococcus pluvialis* 0.4 g/L, düz panel fotobiyoreaktörde *Nannochloropsis sp.*0.27 g/L, düz panel fotobiyoreaktörde iki *Chlorella* türü sırası ile 3.8 ve 3.2 g/L biyoktle üretildi (Maity ve ark., 2014). Bu çalışmada 1'lik düz panel hava kaldırmalı fotobiyoreaktör (FBR)'n tasarımı yapılırken pleksi glas malzeme kullanıldı. Her plaka CoralDRAW X8 kullanılarak tasarlandı ve FBR'nin CoralDRAW kullanılarak nden ve yandan görünümü Şekil 4. 1. içerisinde verildi. Bütün parçalar Şekil 4. 1. de numara ile gösterilirdi ve çalışmanın ilerleyen aşamalarında çizimleri ile birlikte aılandı.



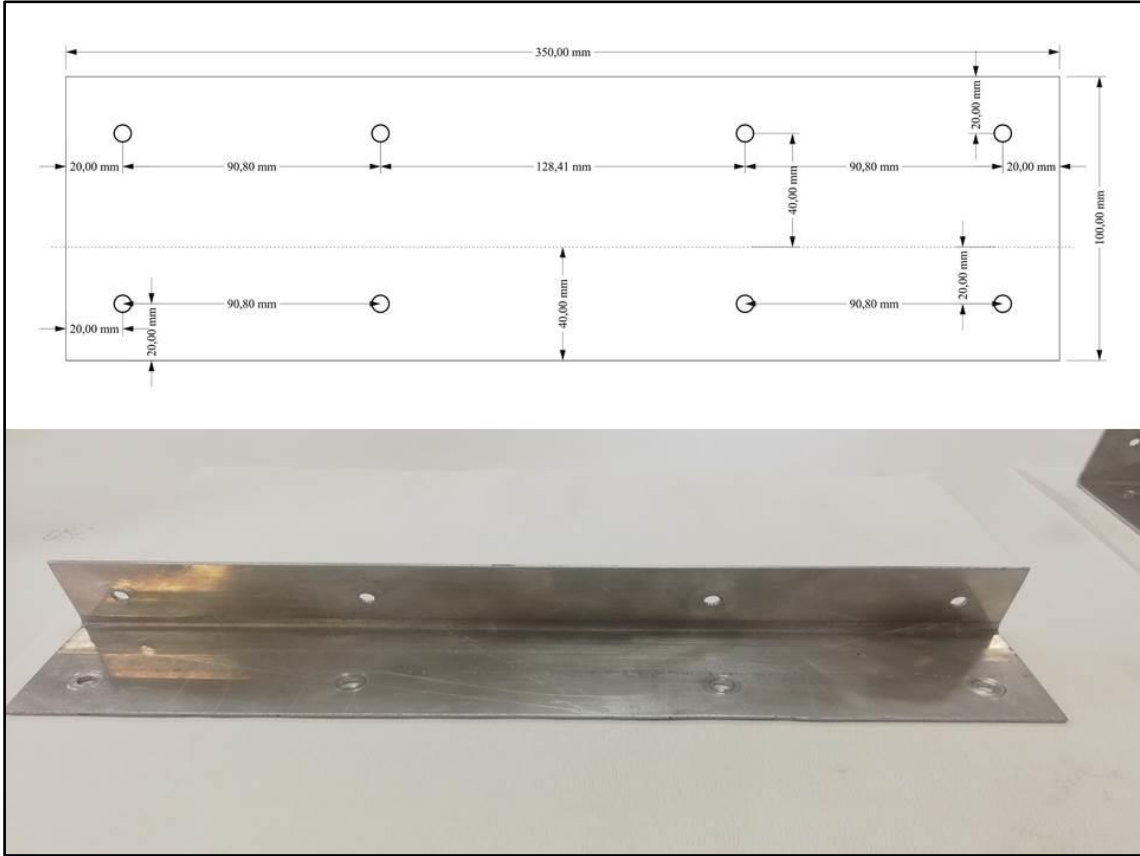
Şekil 4. 1. Düz panel hava kaldırmalı fotobiyoreaktör'n CoralDRAW kullanılarak nden ve yandan görünüş.

izimler tamamlandıktan sonra tasarlanan FBR'nin nden ve arkadan görünümü Şekil 4.2.' de verildi.



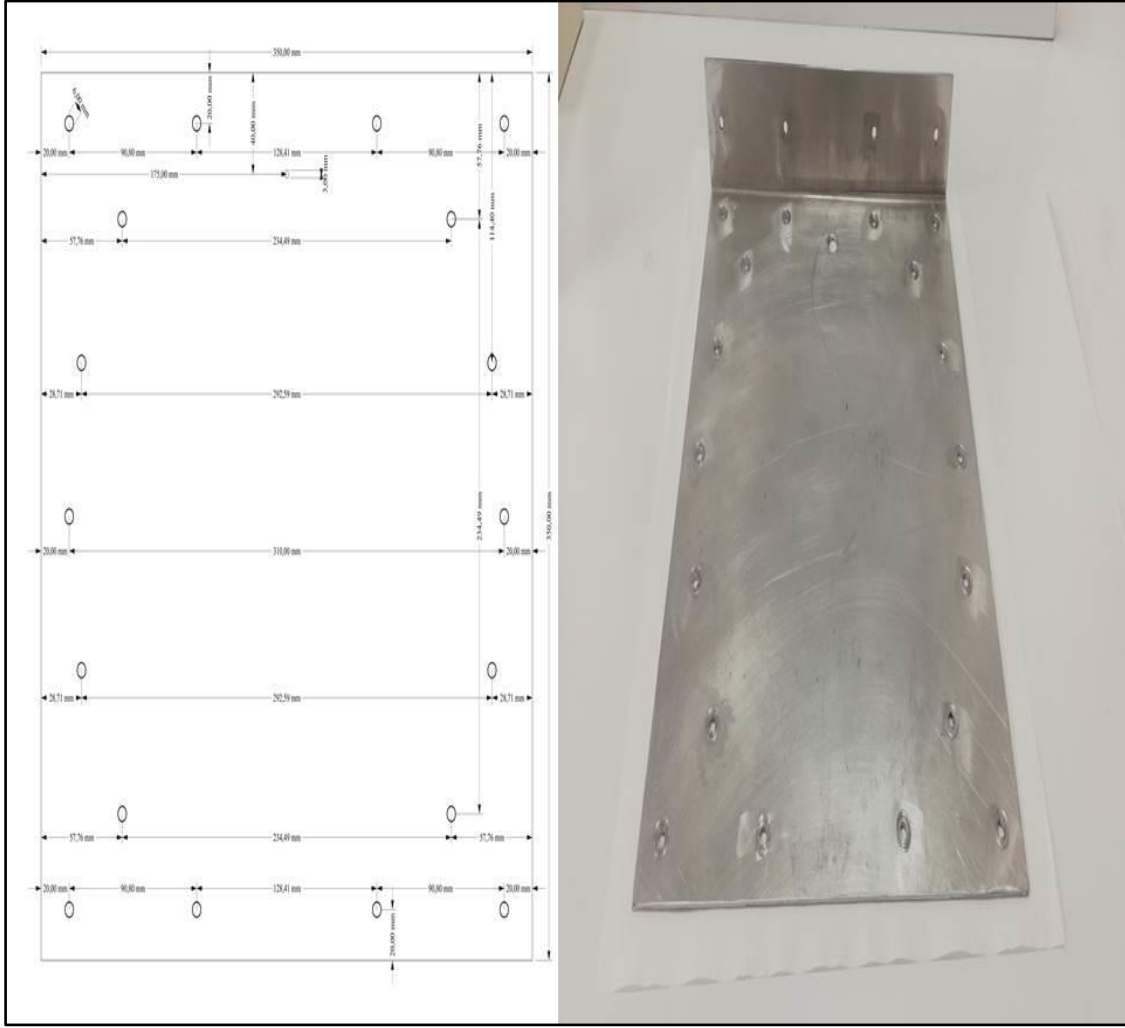
Şekil 4. 2. Düz panel hava kaldırmalı fotobiyoreaktör'ün tamamlandıktan sonra önden ve yandan görünüşü.

FBR tasarımında 1 rakamı ile gösterilen parça alüminyum ön parça olarak adlandırılmıştır. Kalınlığı 3 mm olup eni 350 mm ve boyu 100 mm'dir. 20 mm'lik bölgede alüminyum parça katlanarak reaktörün gövde kısmı ile kapak kısmı birbirine birleştirilmiştir. Böylelikle iki parça birbirine hem destek sağlamakta hemde tek parça olarak görev yapmaktadır. Ayrıca 20 mm'lik kısımdan başlayarak homojen olarak kapak kısmına tutturabilmek için delikler 8 adet 6 mm'lik delik açılmıştır ve bunlar vidalar ile de sabitlenmiştir. Alüminyum ön parça ile ilgili ayrıntılı çizim ve parçanın kendisi Şekil 4.3.'de ayrıntı şekilde gösterilmiştir.



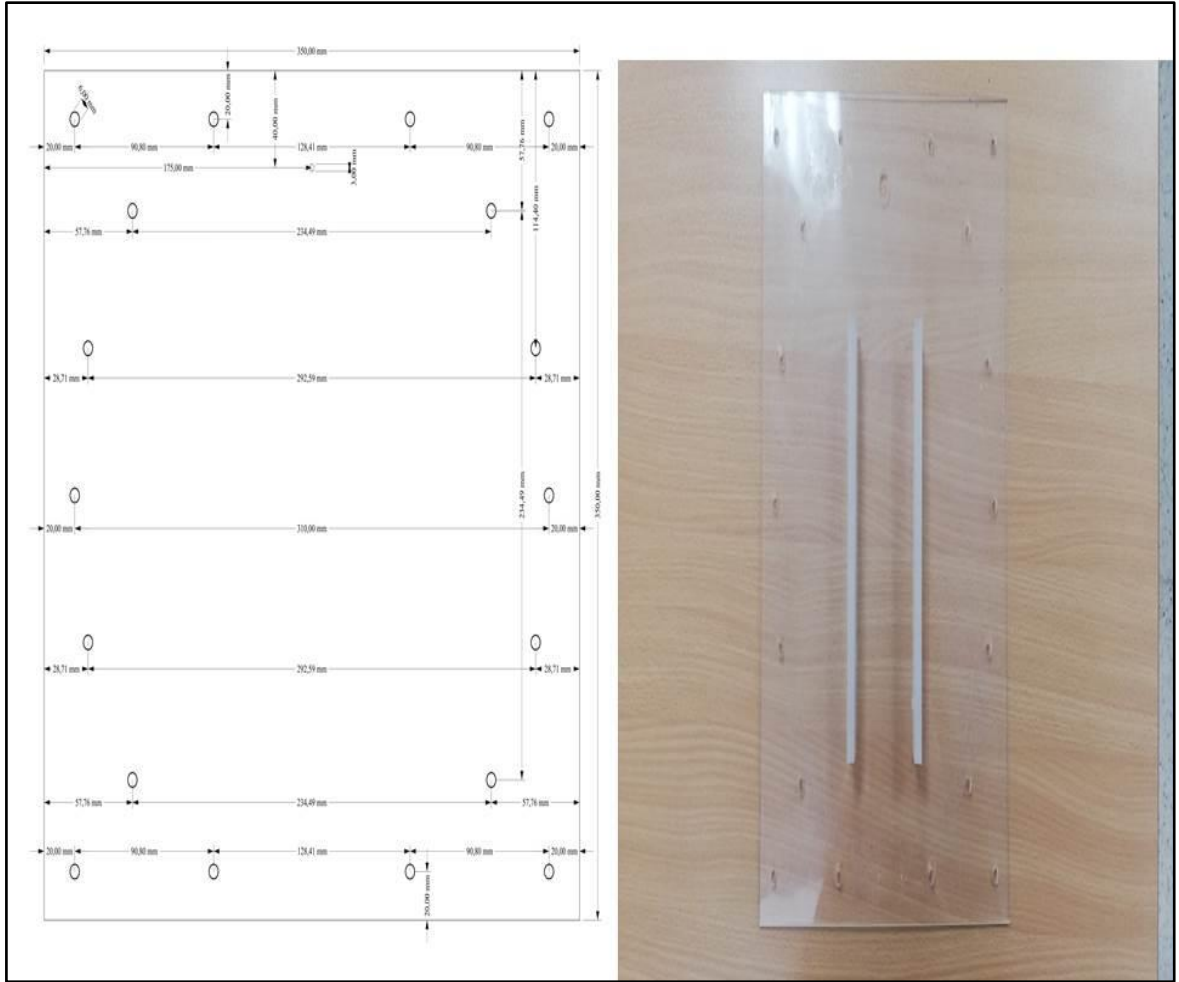
Şekil 4. 3. Alüminyum ön parça'nın çizimi ve tasarımdan sonraki görünümü.

FBR tasarımında 2 rakamı ile gösterilen parça alüminyum arka parça olarak adlandırılmıştır. Kalınlığı 3 mm olup eni ve boyu 350 mm'dir. Alüminyum arka parça ışık tarafından oluşabilecek ısıyı en aza indirebilmek için tek parça olarak tasarlandı. Üzerinde 18 adet 6 mm çapında delikler delindi ve bunlar reaktörün pleksi glass olan kısmına vidalar ile sabitlendi. Reaktörün üzerinden 40 mm aşağıya doğru tam merkezde bir adet 3 mm çapında ekstra bir delik daha delindi. Bu kısım sürekli kültür çalışmalarında fazla besiyeri kültürünü tahliye edebilmek için tasarlandı. Alüminyum arka parçanın çizimi ve tasarımdan sonraki parça Şekil 4.4'de verildi.



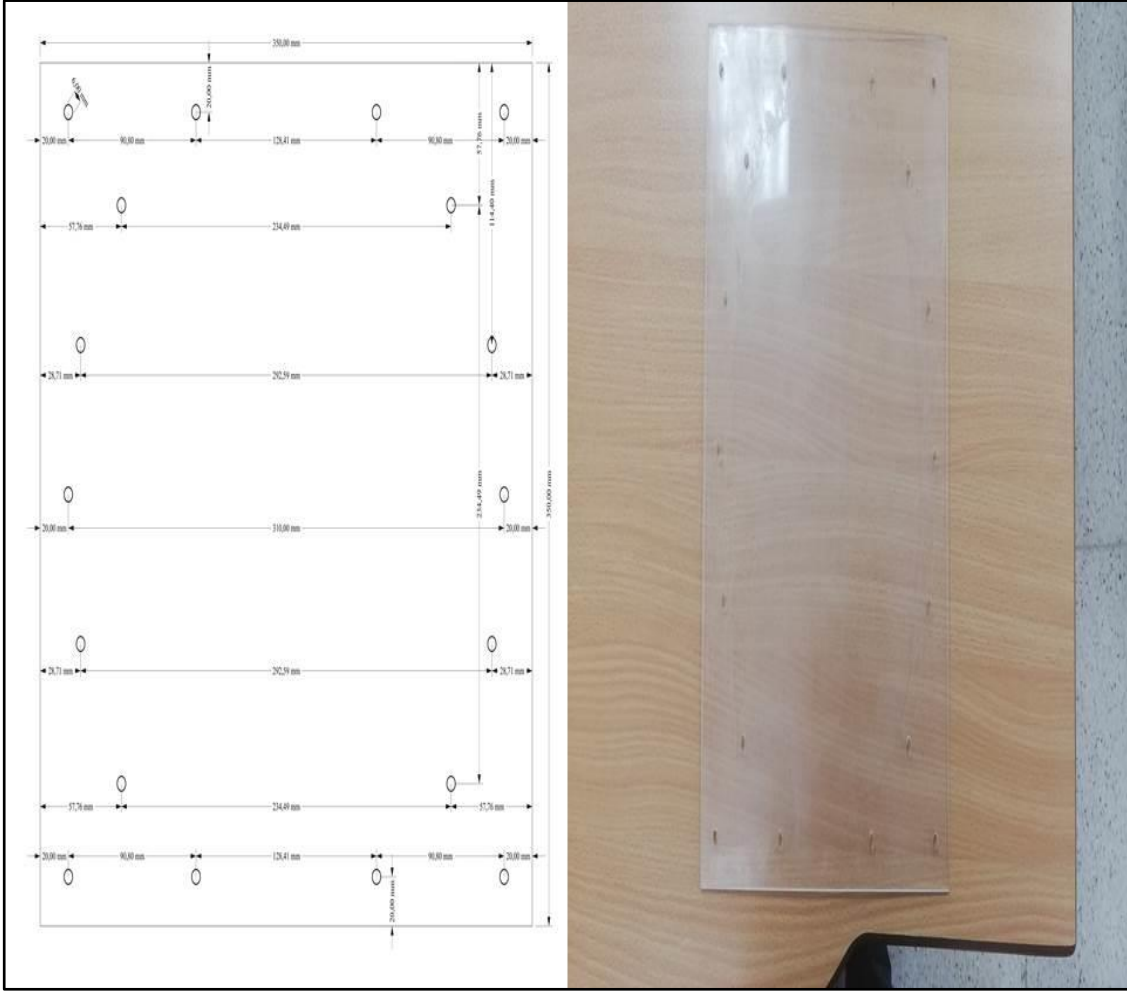
Şekil 4.4. Alüminyum arka parça'nın çizimi ve tasarımdan sonraki görünümü.

FBR tasarımında 3 rakamı ile gösterilen parça polimetil metakrilat (PMMA) arka parça olarak adlandırılmıştır. Kalınlığı 3.8 mm olup eni ve boyu 350 mm'dir. PMMA parça alüminyum parça ile birleşerek reaktörün arka kısmını oluşturdu. Pleksi glass malzemenin üzerinde 18 adet 6 mm çapında delikler delindi ve bunlar alüminyum kısmına vidalar ile sabitlendi. PMMA arka parçanın ayrıntılı tasarım çizimi ve en son hali Şekil 4.5.'de verildi.



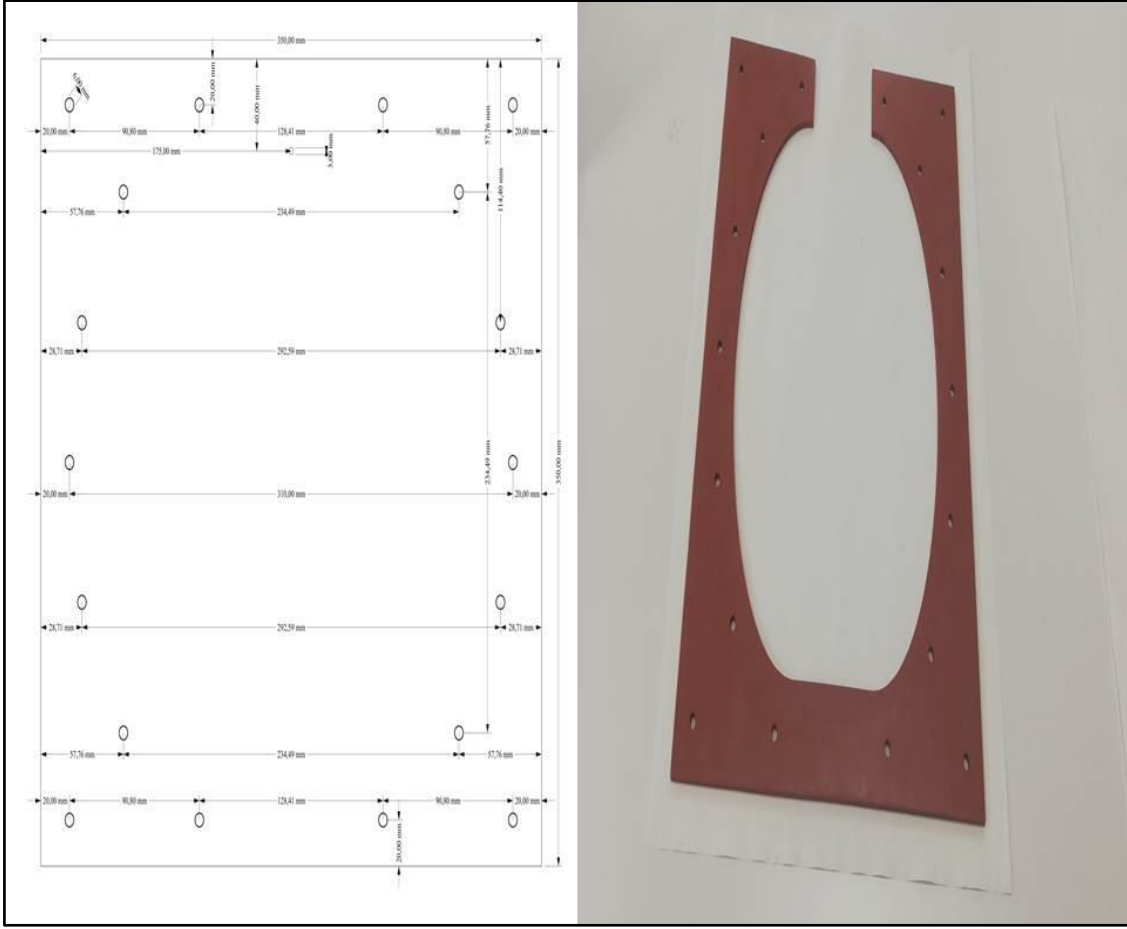
Şekil 4.5. Polimetil metakrilat (PMMA) arka parça'nın çizimi ve tasarımdan sonraki görünümü.

FBR tasarımında 4 rakamı ile gösterilen parça polimetil metakrilat (PMMA) ön parça olarak adlandırılmıştır. Kalınlığı 3.8 mm olup eni ve boyu 350 mm'dir. PMMA parça ışığın reaktörde ilk karşılaştığı noktadır. Silikon conta ile bağlantısı vardır ve reaktörün ön kısmını oluşturur. Pleksi glass malzemenin üzerinde vidalar ile reaktörü bir arada tutmak için 18 adet 6 mm çapında delikler delindi. PMMA ön parçanın ayrıntılı tasarım çizimi ve en son hali Şekil 4.6'da verildi.



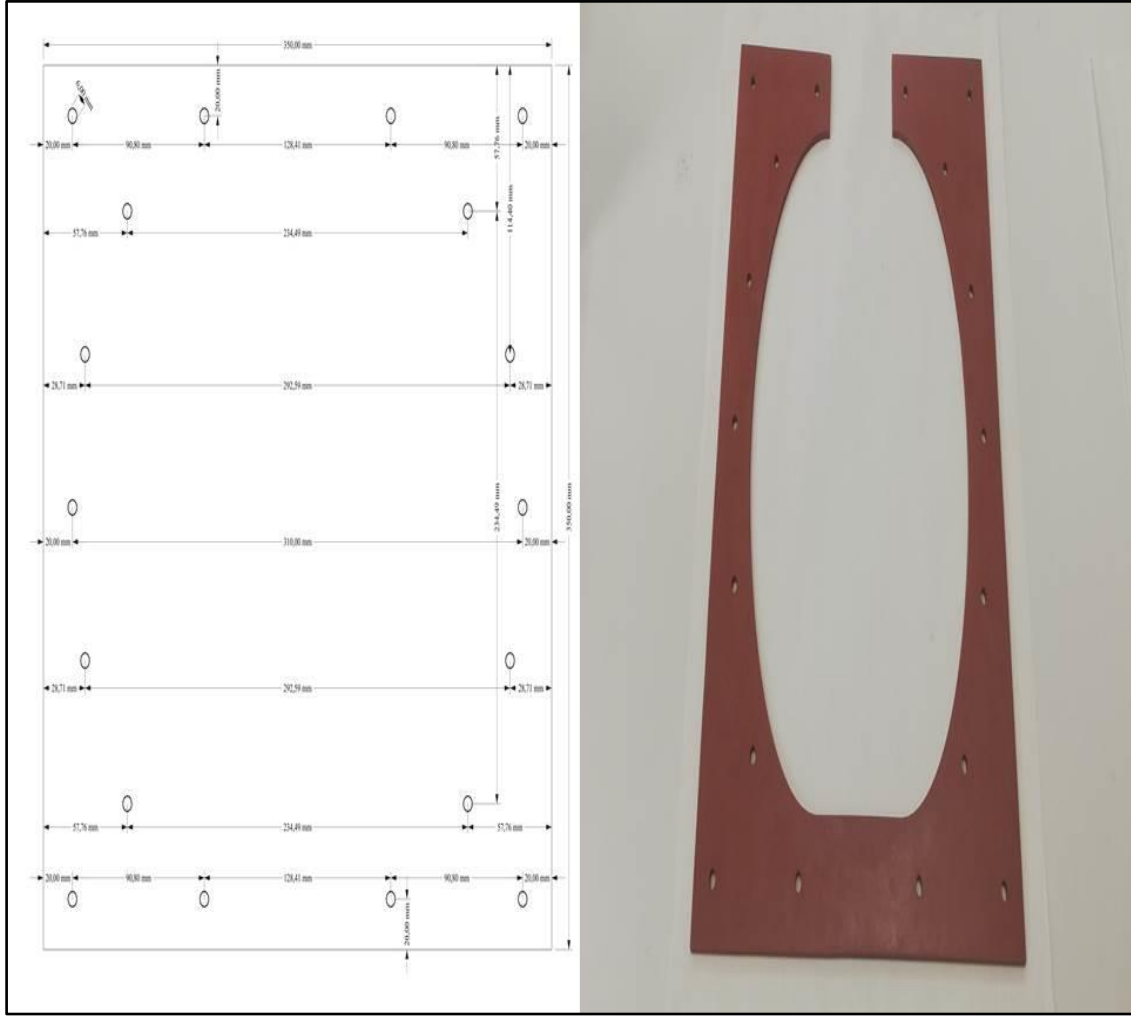
Şekil 4.6. Polimetil metakrilat (PMMA) ön parça'nın çizimi ve tasarımdan sonraki görünümü.

FBR tasarımında 5 rakamı ile gösterilen parça silikon arka kapak contasıdır. Kalınlığı 2.2 mm olup eni ve boyu 350 mm'dir. Silikon contanın üzerinde 18 adet 6 mm çapında delikler delindi ve bunlar PMMA kısım ile uyumlu hale getirildi. Silikon contanın iç kısımları kesilerek sadece kenar kısımlarından sızdırmazlık elde edildi. Kesilen parçaların ölçüleri her kısımda simetriye uyularak yapıldı. Böylelikle delinen deliklerden vidanın geçmeleri sağlandı. Silikon conta arka parçanın ayrıntılı tasarım çizimi ve en son hali Şekil 4.7.'de verildi.



Şekil 4.7. Silikon conta arka parça'nın çizimi ve tasarımdan sonraki görünümü.

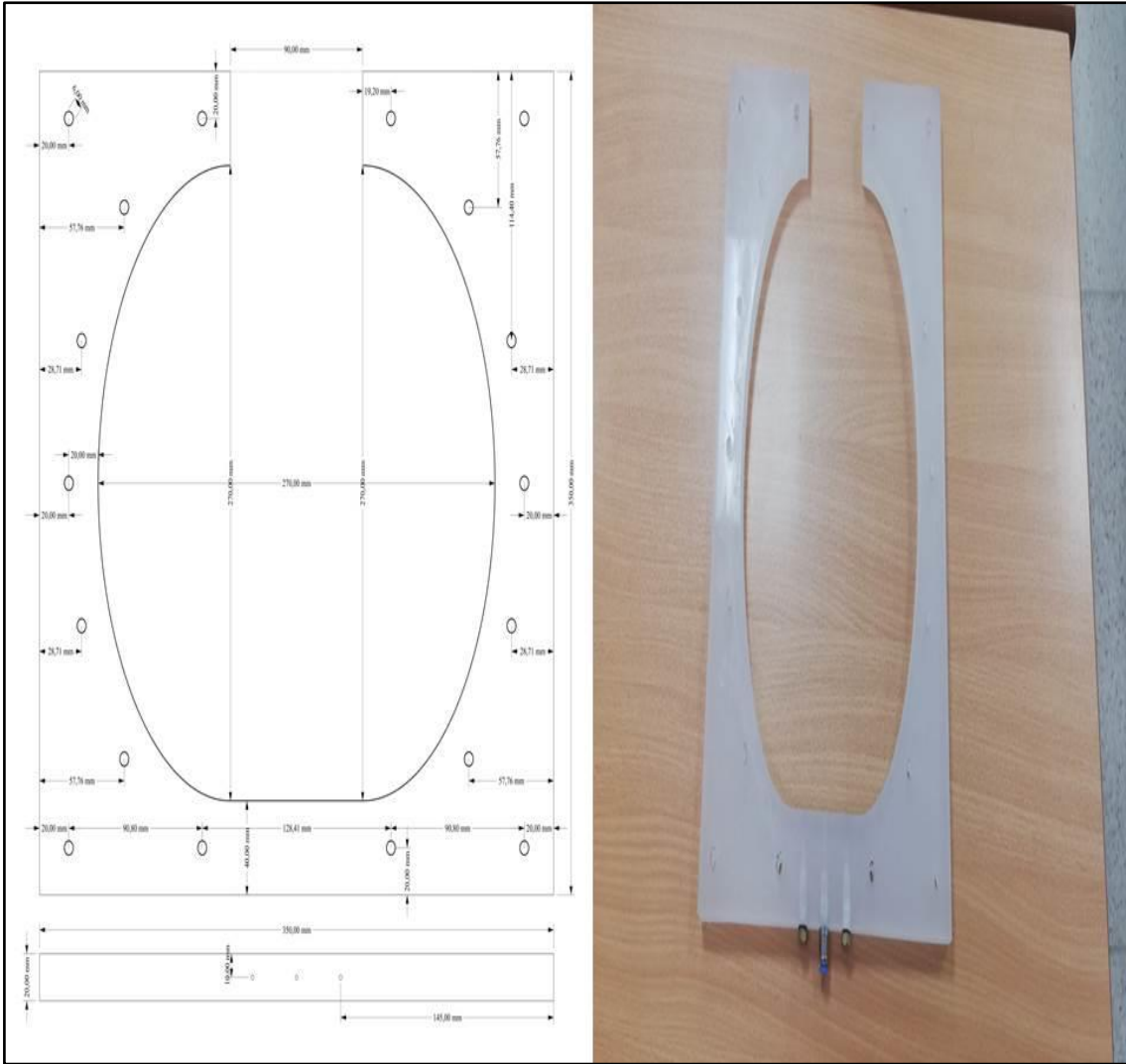
FBR tasarımında 6 rakamı ile gösterilen parça silikon ön kapak contasıdır. Kalınlığı 2.2 mm olup eni ve boyu 350 mm'dir. Silikon contanın üzerinde 18 adet 6 mm çapında delikler bulunmaktadır. Bu conta silikon arka kapak contası ile aynıdır. Burada her iki contanın da görevi FBR içerisinde bulunan mikroalg kültürünün sızdırma yapmasını önlemektir. Çalışmada diğer conta türleri de denenmiştir fakat en iyi sonucu sızdırma yapmayan silikon conta vermiştir. Silikon conta ön parçanın ayrıntılı tasarım çizimi ve en son hali Şekil 4.8.'de verildi.



Şekil 4.8. Silikon conta ön parça'nın çizimi ve tasarımdan sonraki görünümü.

FBR tasarımında 7 rakamı ile gösterilen parça PMMA reaktör haznesidir. Kalınlığı 20 mm olup eni ve boyu 350 mm'dir. PMMA reaktör üzerinde 18 adet 6 mm çapında delikler bulunmaktadır. Elips şeklinde çizilerek gövde kısmının uzunluğu ve genişliği 270 mm dir. İki kısım elips olarak birleştirilmiştir ve kenarlarında keskin bir kenar bırakılmamıştır. Bunun amacı mikroalglerin buralara tutunarak biyofilm oluşturmaları engellenmiştir. Tasarımın bu kısmı benzer reaktörlerden farkındalık yaratmaktadır. Birçok reaktör türünde keskin kenarlar bulunmakta ve bu kadar kalın PMMA malzeme kullanılmamaktadır. Buda biyofilm oluşturma ve sızdırmaya yatkınlığa neden olmaktadır. Ayrıca PMMA reaktör haznesinin altından 3 adet delik açılmıştır. Bu deliklerden ortadaki kısım hava deliği olarak tasarlanmıştır ve FBR'a hava verilmesini sağlamaktadır. Diğer iki delikten bir tanesi karbondioksit ve diğer

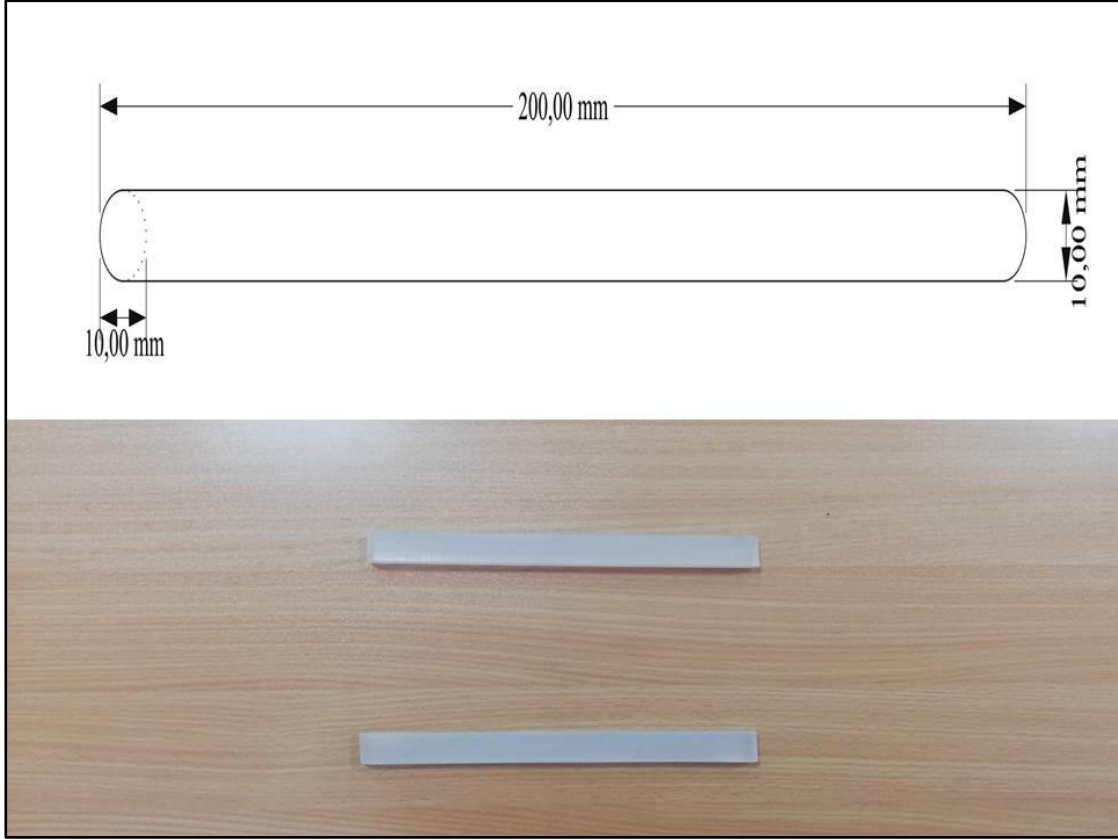
gazlar verilmek istendiğinde pH'ın ayarlanması ve diğer gazların içeriye girişini sağlamaktadır. Diğer delik ise reaktörün herhangi bir kontaminasyon veya boşaltılmasını gerektiren bir durum olduğunda besiyeri ortamının uzaklaştırılması için tasarlanmıştır. Reaktör haznesinin ayrıntılı çizimleri ve tasarımdan sonraki görünümü şekil 4.9.'da gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Polimetil metakrilat (PMMA) reaktör haznesinin çizimi ve tasarımdan sonraki görünümü.

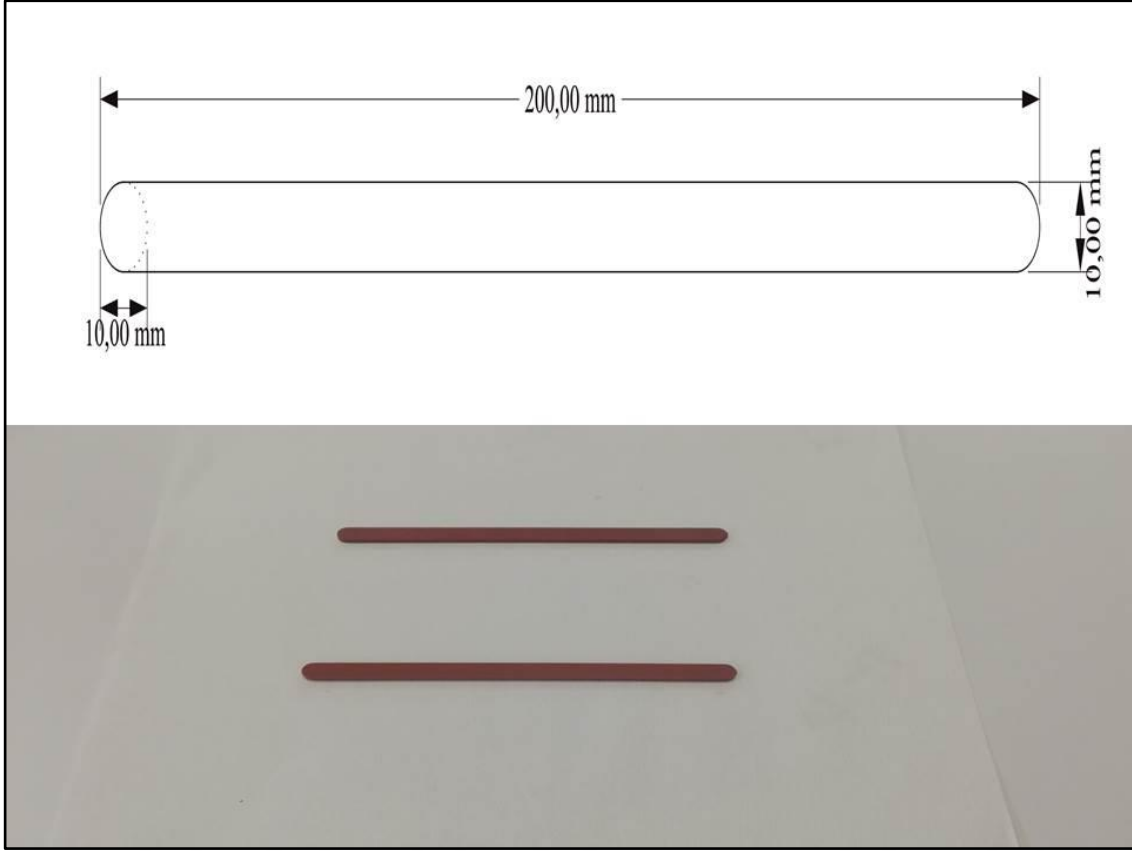
FBR tasarımında 8 rakamı ile gösterilen parça PMMA reaktörün akrilik iç çita parçasıdır. Kalınlığı 10 mm olup eni 200 mm'dir. Reaktörün hava kaldırmalı kısmını oluşturmaktadır. Bu parça sayesinde reaktör içerisine verilen hava veya gazlar homojen

bir şekilde reaktöre yayılmakta ve reaktörün her yerine gazların iletilmesi sağlanmaktadır. Bunlardan reaktörde iki adet kullanıldı. Reaktörün iç çita parçasının ayrıntılı çizimleri ve tasarımdan sonraki görünümü Şekil 4.10.'da verildi.



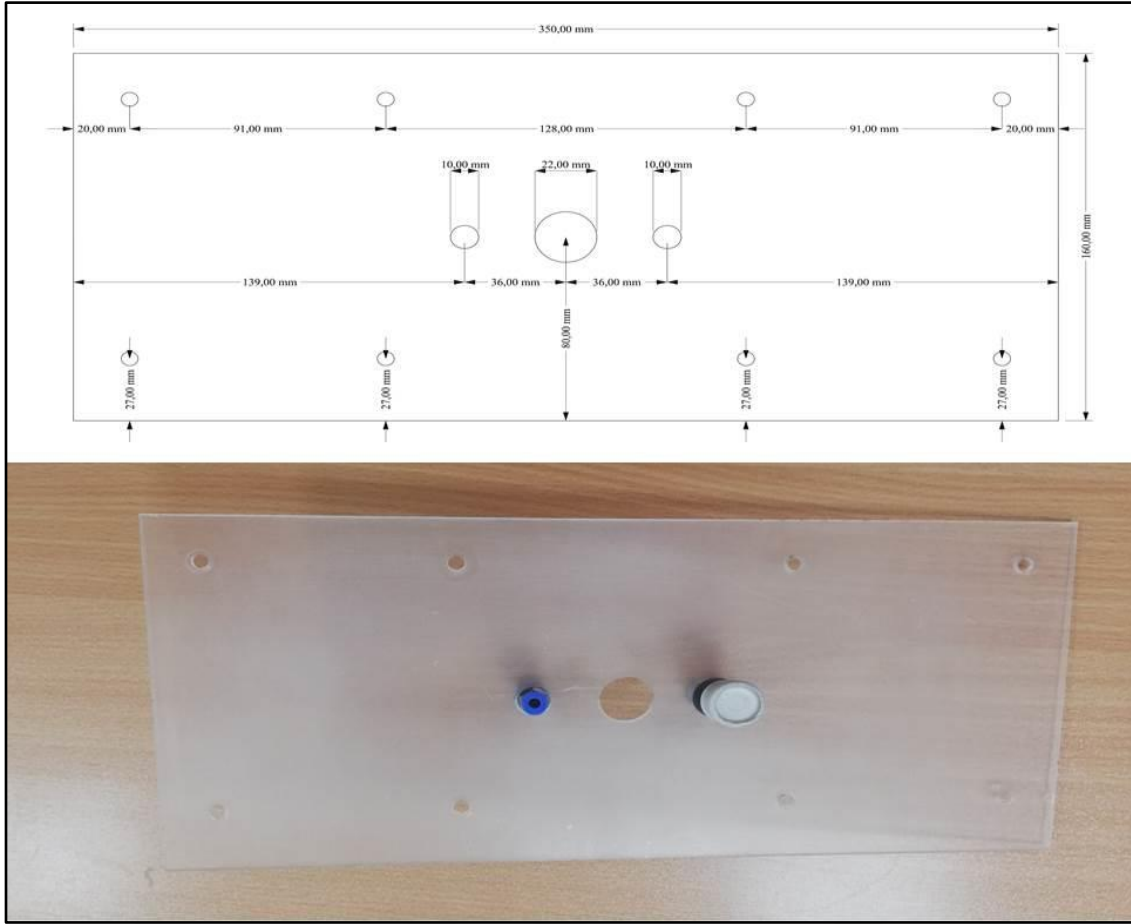
Şekil 4.10. Polimetil metakrilat (PMMA) akrilik iç çita parçası çizimi ve tasarımdan sonraki görünümü.

FBR tasarımında 9 rakamı ile gösterilen parça silikon çita contasıdır. Kalınlığı 10 mm olup eni 200 mm'dir. Silikon çita contası akrilik çita ile uyumlu olup reaktörün iki kapak kısmının düzgün bir şekilde oturarak havanın daha homojen yönlendirilmesini sağlamaktadır. Reaktörün silikon çita contasının ayrıntılı çizimleri ve tasarımdan sonraki görünümü Şekil 4.11.'de verildi



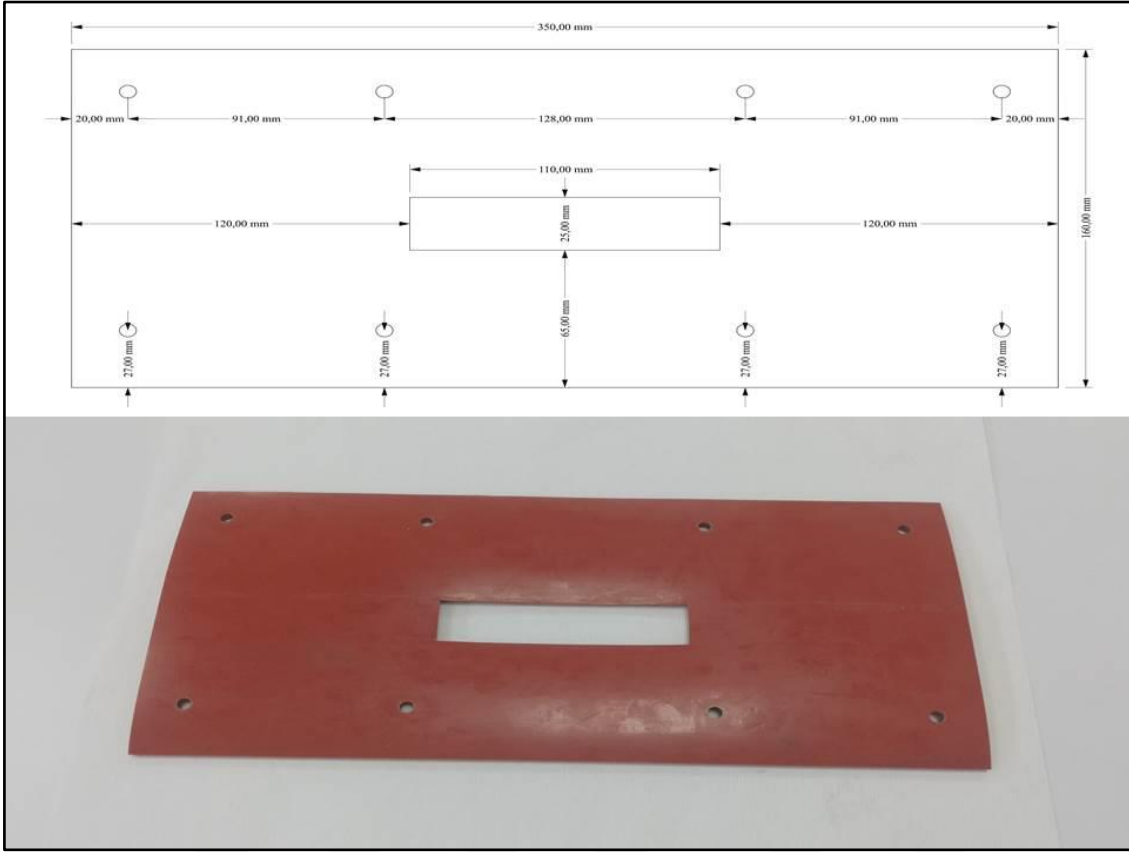
Şekil 4. 11. Silikon conta iç çita parçası çizimi ve tasarımdan sonraki görünümü.

FBR tasarımında 10 rakamı ile gösterilen parça PMMA reaktörün akrilik üst kapağıdır. Bu kısım reaktörün üst kısmının kapatılmasını sağlamaktadır. Kalınlığı 3,8 mm da 350mm ve 160 mm enine sahiptir. Üzerinde vidalamak için 8 adet 6mm'lik vida deliği bulunmaktadır. Buna ek olarak orta kısmında iki adet 10 mm çapında ve 1 adet 22 mm çapında delik bulunmaktadır. Orta kısmındaki büyük deliğe pH meter probu konularak ortamın asit derecesinin ölçülmesi sağlanmaktadır. Ayrıca diğer iki delikten bir tanesi sürekli reaktör çalışmalarında besiyerinin kontrollü bir şekilde verilerek sürekli reaktör çalışmasının yapılmasını sağlarken diğer küçük delikte sıvı mikroalg kültürünün reaktör içerisine steril bir şekilde verilmesini sağlamaktadır. Reaktörün akrilik üst kapağı parçasının ayrıntılı çizimleri ve tasarımdan sonraki görünümü Şekil 4. 12'de verildi.



Şekil 4.12. Polimetil metakrilat (PMMA) akrilik üst kapağı parçasının çizimi ve tasarımdan sonraki görünümü.

FBR tasarımında 11 rakamı ile gösterilen parça silikon üst kapak contasıdır. Kalınlığı 2,2 mm olup 250 mm ve 160 mm eninde boyutlara sahiptir. Orta kısmında 100 mm x 25 mm boyutlarında dikdörtgen bir parça boşluk bırakılmıştır. Bu parça reaktörün orta kısmındaki deliklerin rahat bir şekilde reaktör ile temas edebilmesi için açık bırakılmıştır. Ayrıca üzerinde vidaların geçebilmesine izin verilecek şekilde 6 mm çapında 8 adet delik açılmıştır. Reaktörün silikon üst kapak contasının ayrıntılı çizimleri ve tasarımdan sonraki görünümü Şekil 4.13.'de verildi.

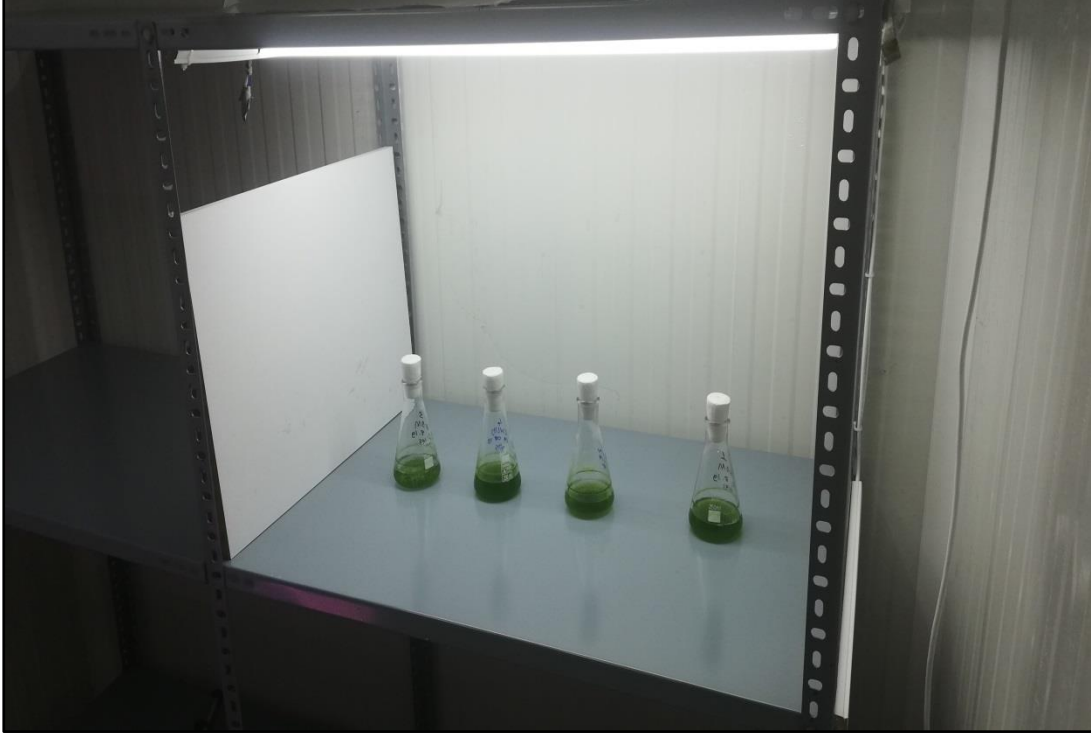


Şekil 4.13. Silikon üst kapak contası parçası çizimi ve tasarımdan sonraki görünümü.

4.2. Mikroalg Kültürlerinin Sürdürülmesi

Mikroalgler çeşitli besiyeri ortamında büyütüldüğü gibi çeşitli konsantrasyonlardaki atık sular içerisinde de büyütülebilmektedir. Atık su kullanımı mikroalg biyoteknolojisinde maliyeti %50 den daha fazla düşürmek ile birlikte atık suda bulunan azot ve fosfat gibi kirleticilerinde temizlenmesindeki en iyi yollardan biri olabilir. Fakat mikroalg örneklerinin başlangıç büyütmelerinde hangi ortama ve ne kadar element yoğunluğuna ihtiyaç olduğunun iyice anlaşılması açısından çalışmaların başlangıç kısımlarında saf su ile hazırlanmış besiyerlerinin kullanılmasında fayda vardır (Leite ve ark., 2019). Biz bu çalışmada Mikroalg örnekleri (*Gloeocystis vesiculosa 901*) 24 ± 2 °C' de Bold Basal Medium (BBM) içerisinde 16:8 aydınlık karanlık ortamında $100 \mu\text{mol foton/m}^2\text{s}$ ışık akısı altında sürdürüldü. Örneklerin her biri bakteri ve mantar kontaminasyonu olup olmamasına karşın Thoma lamı ile devamlı şekilde mikroskop

altında kontrol edildi. % 2 kontaminasyonun üzerindeki örnekler imha edilerek reaktör sistemine alınmadılar. Yeni besiyeri ortamı hazırlamak için katı besiyeri ortamından örnekler sıvı besiyerine alınarak tekrar büyütülerek deneye devam edildi. Mikroalg sürdürme işleminde kullanılan örneklerden bazıları Şekil 4.14’de verildi.



Şekil 4.14. Deneylerde kullanılmak üzere kültürlenmiş mikroalg örneklerinden bazıları.

4.3. Reaktör Sistemi İçin Mikroalg Örneklerinin Hazırlanması

Sürdürülen kültürden alınan 5 mL mikroalg örnekleri 300 mL’lik erlenmayer flaskler içerisinde 200 mL çalışma hacmine alınarak farklı dalga boylarında büyümeleri sağlanarak reaktör sistemine hazır hale getirildiler. Bu örnekler daha sonra düz panel hava kaldırmalı fotobiyoreaktör içerisine alındılar. Farklı dalga boylarında ışık üretmek için 0-255 arasında değer alan R (Kırmızı), G (Yeşil) ve B (Mavi) renk dönüşümünden yararlanıldı ve örnekler 150 rpm hızında çalkalamalı inkübatör içerisinde inkübe edildi. Farklı dalga boylarında büyütülen mikroalg örneklerinin (Beyaz 380-750 nm, Mor 380-420 nm, Mavi 450-490 nm, Yeşil 490-570 nm, Sarı 570-590, Turuncu 590-630 ve

Kırmızı 630-750) inkübatör içerisindeki yerleşimi karanlık ortamda büyütülen negatif kontrol ile beraber Şekil 4.15’de gösterildi. Örnekler adaptasyon sürecini sağladıktan sonra 200 mL lik erlenmayer flasklerden reaktör sistemine alındılar.

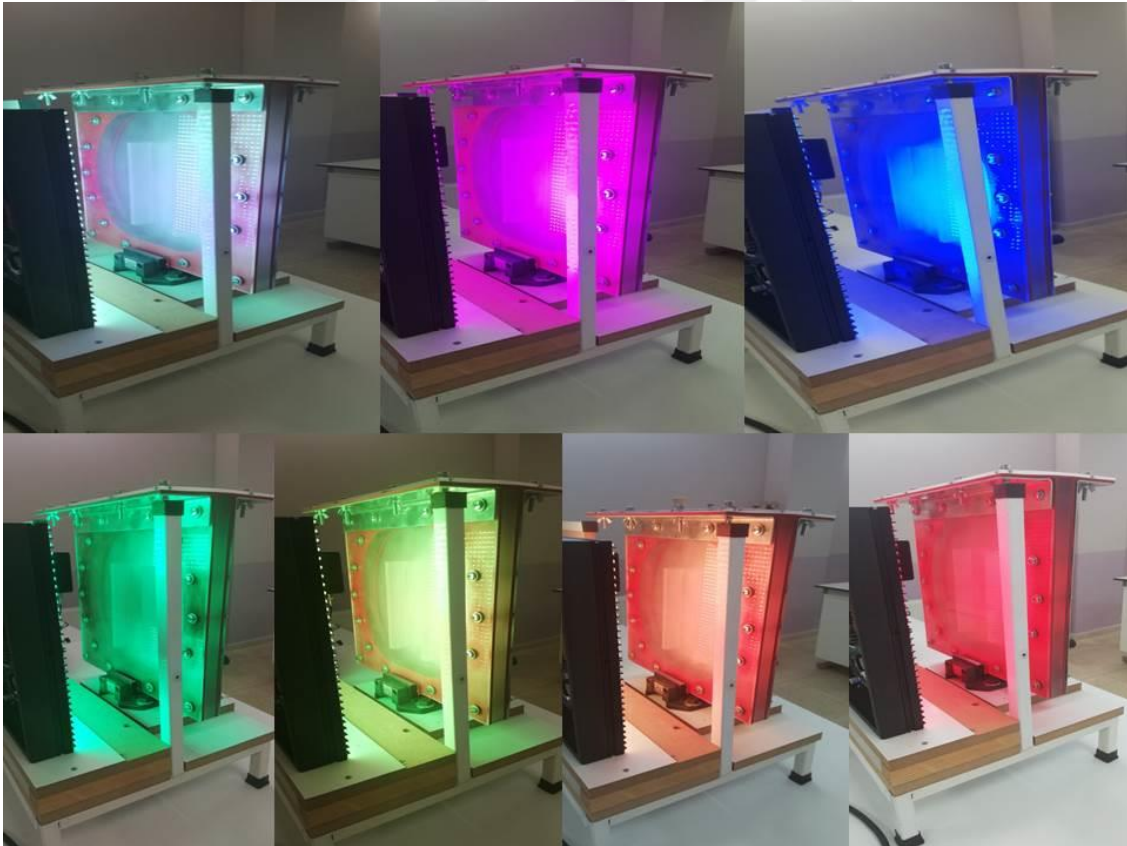


Şekil 4.15. Farklı dalga boylarında çalkalamalı inkübatör içerisinde büyütülen mikroalg örnekleri

4.4. Reaktör Sistemi İçerisinde Mikroalg Örneklerinin Büyütülmesi

Mikroalgler farklı suşlar içerisinde farklı büyümeler göstererek farklı büyüme eğrileri verirler. *D. salina*'nın KU XI, KU 10 ve KU 31 kolon fotobiyoreaktörde farklı ışık şiddeti altında büyütüldü. En yüksek biyokütle $135 \mu\text{molm}^{-2} \text{s}^{-1}$ ışık akısı altında bulundu (Wongsnansilp ve ark., 2016). *D. salina* bunun dışında farklı azot konsantrasyonlarında da çalışıldı. En yüksek biyokütle 2mM azot ortamında bulundu (Akter ve ark., 2016). *D. salina* tuz oranı yüksek ortamda daha iyi büyüyen bir mikroalg türü olduğu için çalışmalar onun tuz konsantrasyonu üzerinede yapıldı. 21 gün sonunda

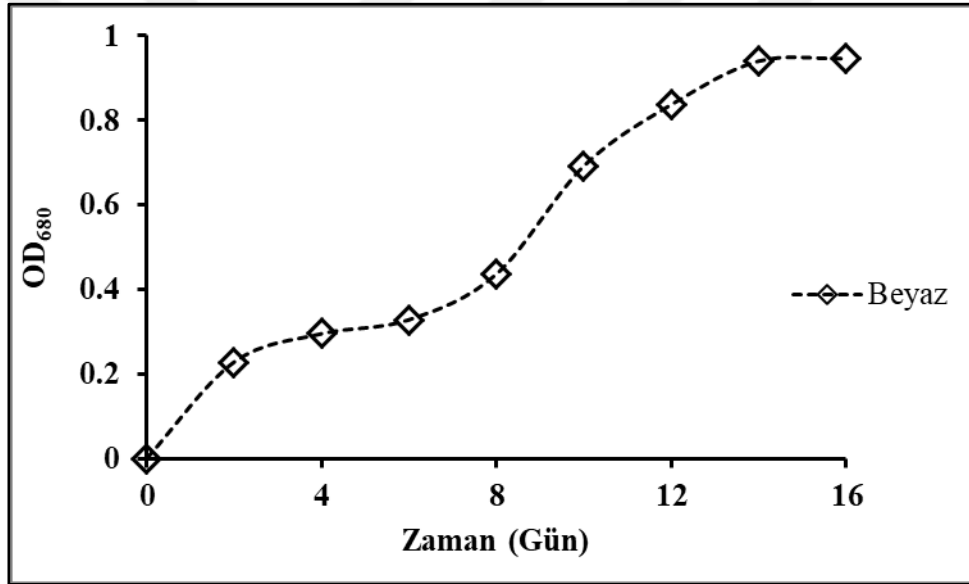
25 °C'de $42 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ışık yoğunluğunda ve 12:12 aydınlık:karanlık oranında maksimum biyokütle verimi 1.2 g/L olarak 2.5 M NaCl konsantrasyonunda bulundu (Wu ve ark., 2015). Farklı besiyeri denenerek yapılan çalışmalarda mikroalg kültürünün büyüme eğrisi üzerine etkisi yüksektir. *N. okulata* 4 farklı besi ortamında (Walne, f/2, Sato ve TMRL) büyütüldü. Walne besi ortamı 2.7 g/L değeri ile en yüksek biyokütleyi gösterdi (Durmaz ve ark., 2007). Bu çalışmada mikroalg örnekleri 1 L'lik reaktör içerisinde hava kompresörü ile 1vvm hava debisi ile havalandırıldı. % 99 saflıktaki CO₂ gazı ise pH değerinin sabit tutulmasını sağladı. Reaktör sisteminde mikroalg örneklerinin kinetic parametreleri belirlendi. Her deney sistemi birbirinden bağımsız olarak gerçekleştirildi. Bununla beraber kullanılan besiyeri, şartlar ve reaktör sistemi değiştirilmedi ve birbiri ile kıyaslandı. Farklı dalga boylarında büyütülen mikroalg örneklerinin reaktör sistemi içerisindeki durumu Şekil 4.16 içerisinde verildi.



Şekil 4.16. Farklı dalga boylarında büyütülen mikroalg örnekleri ve reaktör sistemi (Üst sağdan sola: Beyaz, Mor, Mavi; Alt sağdan sola: Yeşil, Sarı, Turuncu ve Kırmızı).

4.5. Mikroalg Örneklerinin Büyüme Eğrileri

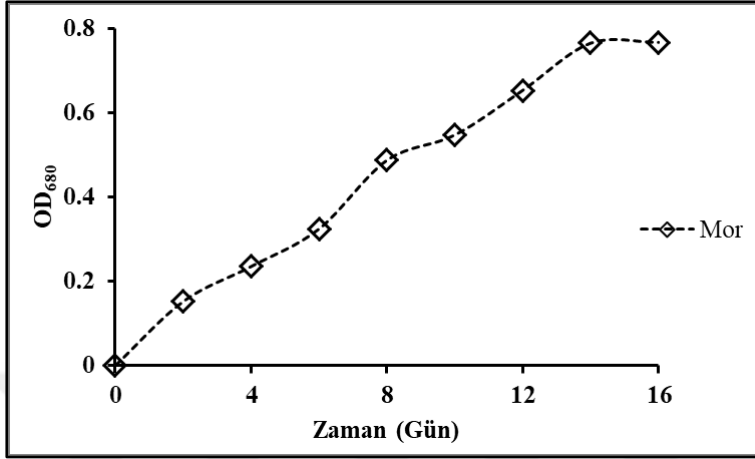
İlk olarak reaktör sisteminde beyaz ışık (380-750 nm) kullanıldı. Sıcaklık 24 ± 2 °C' sabit tutuldu ve pH, karbondioksit ile ayarlanarak hava kaldırılmalı sistem ilede havanın homojen bir şekilde yayılması sağlandı. *Gloeocystis vesiculosa* 901 14 günde durağan faza ulaştı. OD değerleri 8. ve 12. gün arası yüksek ivme ile büyüme gösterirken 0.94 değerinde sabitlendi. 1. gün ile 8. gün arasında ise yavaş bir ivme ile büyüme göstererek 0.44 değerine ulaştı. *Gloeocystis vesiculosa* 901'in beyaz ışık altında ayrıntılı büyüme eğrisi Şekil 4.17'nin içerisinde gösterildi.



Şekil 4.17. *Gloeocystis vesiculosa* 901'in beyaz ışık altında büyüme eğrisi.

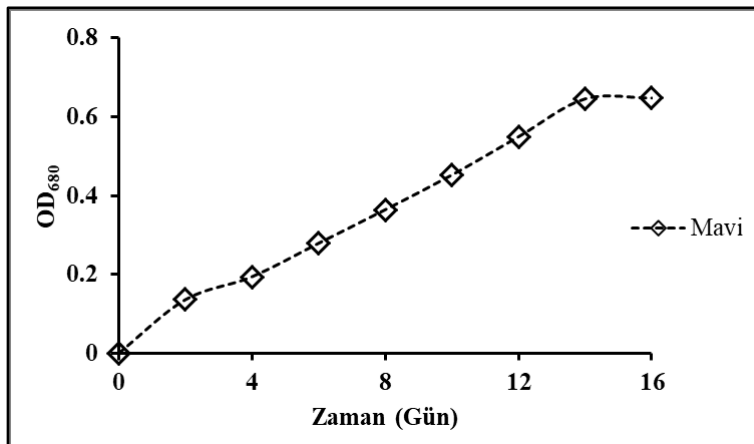
Reaktör sisteminde daha sonra Mor ışığın (380-420 nm) *Gloeocystis vesiculosa* 901 üzerine nasıl etki gösterdiğine bakıldı. Mor ışık altında mikroalgler 14 günde geç logaritmik faza ulaştılar. OD değeri 0.77 değerine sahipti. Bu değer beyaz ışığından daha düşük bir değerd. Genel olarak baktığımızda 4. günden geç logaritmik bölgeye gelene kadar mikroalg örnekleri hızlı büyüme eğrisi gösterdiler. Yavaş büyüme eğrisini gösteren bölge 1. gün ile 4. gün arasında sınırlı kaldı. 4. Gün sonunda mikroalg 0.24

değerine sahipti. *Gloeocystis vesiculosa* 901'in mor ışık altında ayrıntılı büyüme eğrisi Şekil 4.18. içerisinde gösterildi.



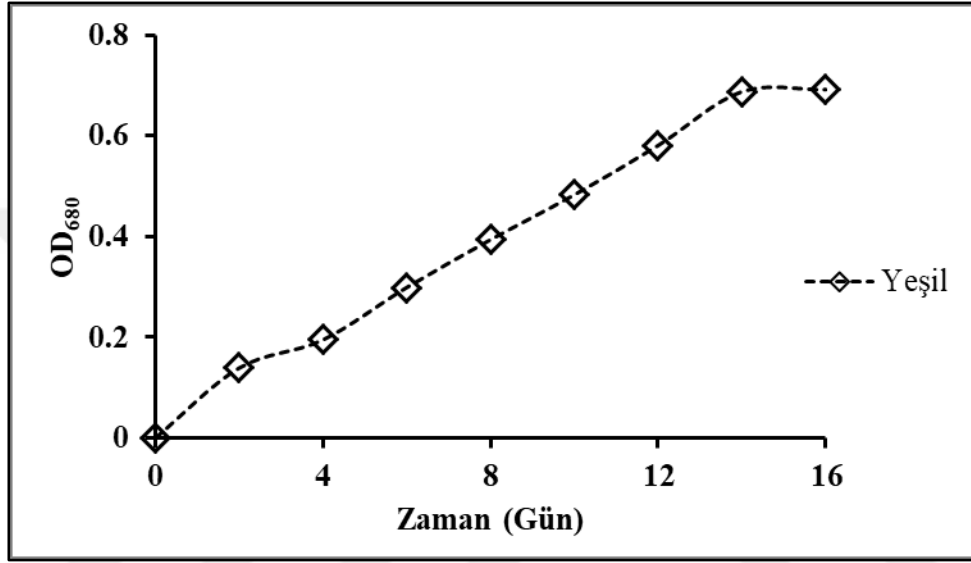
Şekil 4.18. *Gloeocystis vesiculosa* 901'in mor ışık altında büyüme eğrisi.

Mavi ışığın (450-490 nm) *Gloeocystis vesiculosa* 901 üzerindeki etkisine baktığımızda dalga boyu artınca büyümenin ivmesinin azaldığını gördük. Fakat büyüme eğrisinin artan ivmeli artışını da mavi ışık altında gözlemledik. OD değeri en yüksek 14. gün sonunda 0.65 olarak belirlendi. 2. günden (0.14) 14. güne kadar hızlı bir ivme gözlemledik. *Gloeocystis vesiculosa* 901'in mavi ışık altında ayrıntılı büyüme eğrisi Şekil 4.19. içerisinde gösterildi.



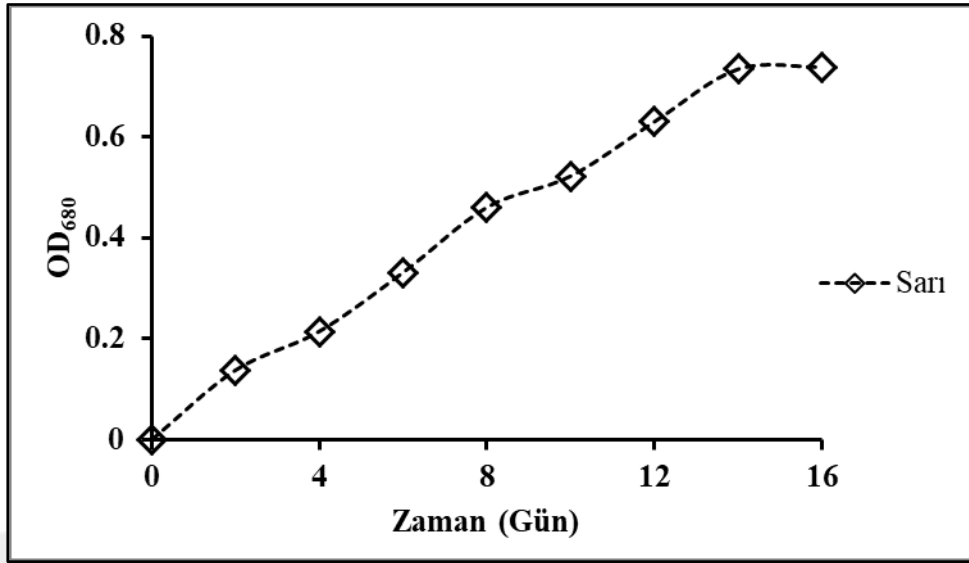
Şekil 4.19. *Gloeocystis vesiculosa* 901'in mavi ışık altında büyüme eğrisi.

Yeşil ışığın (490-570 nm) etkisine baktığımızda mavi ışığa göre biraz daha fazla büyümenin olduğunu görmekteyiz. Durağan faza 14. günde ulaşan yeşil ışıktaki örnekler 0.69 OD değerine sahiptiler. Linear büyüme 0.2 değeri ile 4. gün sonunda gerçekleşti. *Gloeocystis vesiculosa 901*'in yeşil ışık altında ayrıntılı büyüme eğrisi Şekil 4.20. içerisinde gösterildi.



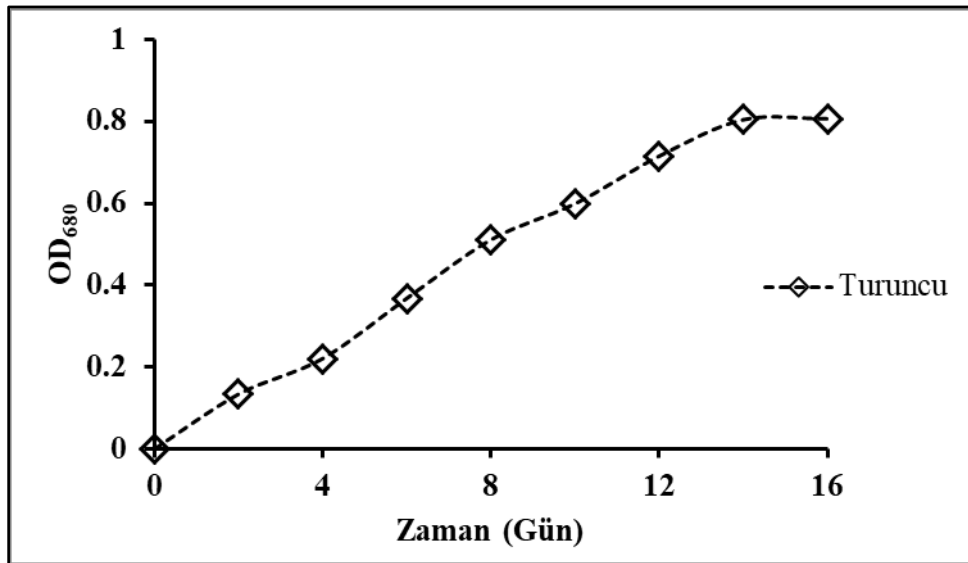
Şekil 4.20. *Gloeocystis vesiculosa 901*'in yeşil ışık altında büyüme eğrisi.

Daha sonra reaktör sistemi sarı ışığın (570-590 nm) etkisinin incelenmesi için hazırlandı ve büyüme eğrisine bakıldı. Sarı ışık mavi ve yeşile göre daha fazla büyüme gösterdi. OD değeri 0.74 ve bu değer diğerlerinde olduğu gibi 14. gün sonunda oluştu. Linear büyüme 2. gün sonundan (0.14) durağan faz meydana gelene kadar devam etti. Büyüme eğrisindeki ivmenin daha da 1 değerine yakın olduğunu gözlemledik. *Gloeocystis vesiculosa 901*'in sarı ışık altında ayrıntılı büyüme eğrisi Şekil 4.21. içerisinde gösterildi.



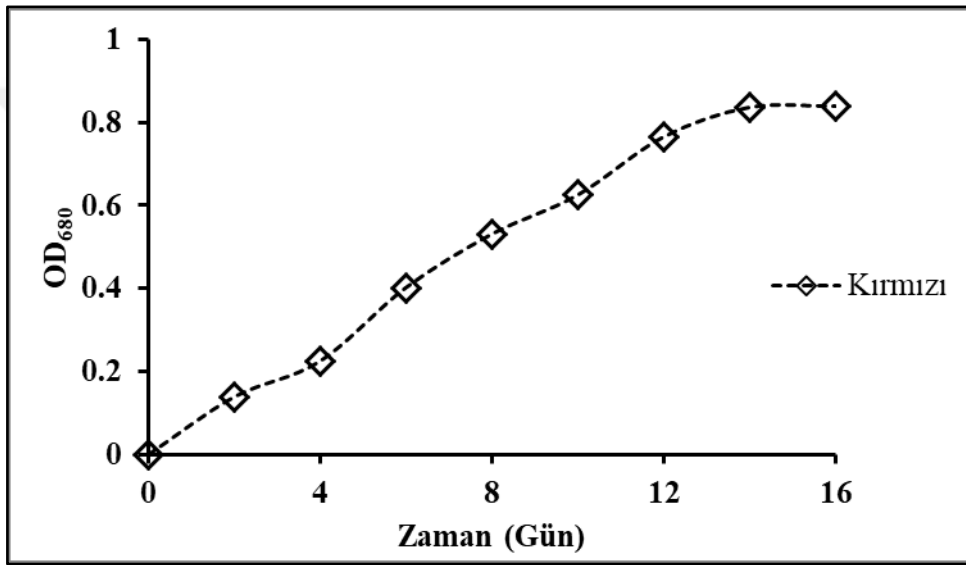
Şekil 4.21. *Gloeocystis vesiculosa* 901'in sarı ışık altında büyüme eğrisi.

Turuncu rengin etkisi (590-630) mavi ışıktan uzaklaştıkça dahada arttı. Durağan faza 0.8 OD değeri ile ulaştı. Bu değer mavi ışığın değerinden oldukça büyüktü. Linerity 2. günden itibaren 0.14 değeri ile başlayıp 14. gün sonuna kadar devam etti. *Gloeocystis vesiculosa* 901'in turuncu ışık altında ayrıntılı büyüme eğrisi Şekil 4.22. içerisinde gösterildi.



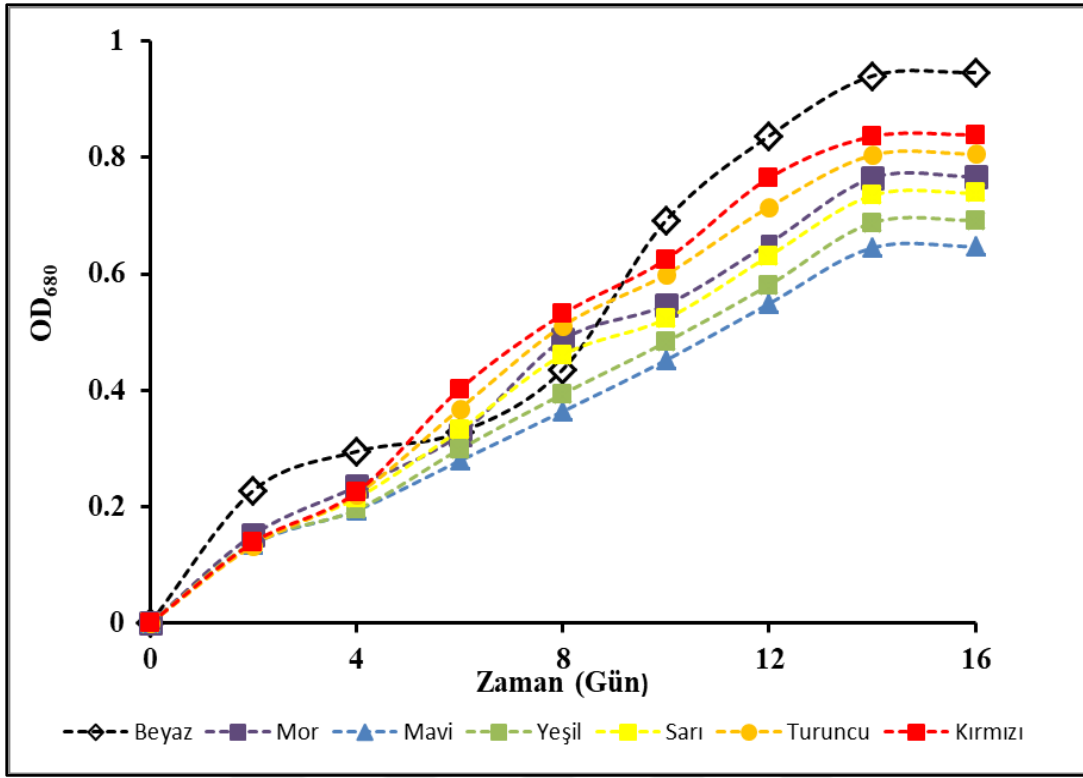
Şekil 4.22. *Gloeocystis vesiculosa* 901'in turuncu ışık altında büyüme eğrisi.

Ana renkler içerisinde en fazla büyümeyi kırmızı (630-750) ışık gösterdi. Kırmızı ışıktaki OD değeri 14. gün sonunda geç logaritmik evreye 0.84 değeri ile ulaştı. Bu oran mavi ışık altındaki orandan yaklaşık olarak % 25 daha fazla idi. Kırmızı ışık altındaki paralel ivme 6. gün sonundan (0.4) 14. gün sonuna kadar devam etti. *Gloeoecystis vesiculosa* 901'in kırmızı ışık altında ayrıntılı büyüme eğrisi Şekil 4.23. içerisinde gösterildi.



Şekil 4.23. *Gloeoecystis vesiculosa* 901'in kırmızı ışık altında büyüme eğrisi.

Bu sonuçlar ışığı altında baktığımızda en yüksek büyümeyi 0.94 değeri ile beyaz ışık altında gözlemledik. Ayrıca dalga boyu arttıkça büyümenin arttığını söyleyebiliriz. Kırmızı ışık ana renkler arasında en fazla büyümenin olduğu dalga boyudur. Mavi ışık ise en az büyüme gösteren dalga boyu oldu. Mikroalglerin hepsi de 14. gün sonunda durağan faza ulaşarak renklerin etkisinin mikroalglerin durağan faza ulaşmasından bağımsız olduğunu gösterdi. Düz panel hava kaldırmalı fotobiyoreaktörde farklı dalga boylarındaki ışıkların *Gloeoecystis vesiculosa* 901 üzerine büyüme etkileri topluca eğrisi Şekil 4.24.'de gösterildi.



Şekil 4. 24. Düz panel hava kaldırmalı fotobiyoreaktörde farklı dalga boylarındaki ışıkların *Gloeocystis vesiculosa* 901 üzerine büyüme etkileri.

4.6. *Gloeocystis vesiculosa* 901'in Biyokütle Analiz Hesaplamaları

Hasatlama mikroalg biyokütle maliyetinin yaklaşık olarak % 30'unu içermektedir (Mata ve ark., 2010). Çeşitli hasatlama metotları arasından hızlı ve etkili olduğu için santrifuj metodu seçildi. Farklı dalga boyuna sahip ışıkta büyütülen mikroalg örnekleri durağan faza geçtiklerinde hasarlandılar. Örnekler gravimetrik olarak hassas terazide tartıldılar. Kırmızı ve Beyaz ışık altında büyütülen örnekler OD değerlerinde olduğu gibi 0.62 ve 0.59 g/L değerleri ile en yüksek biyokütleyle sahipti. Mavi ışık ise 0.48 g/L kütle ağırlığı ile en düşük biyokütleyle sahipti. Farklı dalga boyu ışıklarda büyütülen *Gloeocystis vesiculosa* 901'in biyokütle analiz sonuçları Çizelge 4.1.'de verildi.

Çizelge 4.1. *Gloeocystis vesiculosa* 901'in biyokütle analiz sonuçları.

Renk	Biyokütle (g/L)
Beyaz	0.59
Mor	0.52
Mavi	0.48
Yeşil	0.51
Sarı	0.55
Turuncu	0.56
Kırmızı	0.62

Mikroalgler minimum enerji tüketimi ile maksimum fotosentez hızını elde etmek için ışığın spesifik dar dalga boylu bantlarına sahip optimum aydınlatma şartlarına ihtiyaç duyar. Bunun içinde LED'ler mikroalg büyütmede mavi (450-475 nm) ve kırmızı (630-675 nm) ışığı kullanarak enerji tüketimini azaltarak mikroalglerin büyümesine imkan sağlarlar (Richmond, 2003). Farklı dalga boylarında ışığın etkisinin mikroalg büyümesi üzerine etkilerinin incelenmesi ile ilgili literatürde farklı şekilde çalışmalar bulunmaktadır. *Nannochloropsis salina*, *Nannochloropsis oceanica* ve *Nannochloropsis oculata* bu amaçla ilk önce kırmızı veya mavi ışık altında büyütüldü ve maksimum biyokütle ve büyüme hızı (0.037 h^{-1}) elde edilmesi sağlandı. Daha sonrada yeşil ışık altında mikroalg örneklerine stres uygulanması sağlanarak yağ miktarının artması (% 56) sağlandı (Ra ve ark., 2016). Bunun yanında ışık sadece mikroalglerin yağlarını etkilemez aynı zamanda karbonhidrat miktarını da etkileyebilir. *Chlorella sp. AE10* % 20 karbondioksit ve $850 \mu\text{molm}^{-2}\text{d}^{-1}$ ışık şartlarında beyaz, kırmızı ve mavi ışık altında azot ve fosfat limitasyonu uygulanarak büyütüldü. En yüksek büyüme 1.90 g/L ile beyaz ışık altında belirlendi. En yüksek karbonhidrat içeriği % 76 ile kırmızı ışık altında gerçekleşti (Li ve ark., 2019). *Chlorella sp.* mavi ışık altında (440-470) kırmızı ışığa göre daha fazla yağ (261 mg L^{-1}) içerdiği bulundu (Shu ve ark, 2012). *Chlorella vulgaris* yeşil ışık altında, mavi, sarı, turuncu ve kırmızı geniş band ışık spektrumuna göre daha fazla klorofil (%1.98) içerdiği belirlendi (Mohsenpour ve ark., 2013). *Nannochloropsis sp.* kırmızı ışık altında (680 nm) mavi (% 3.87), yeşil (% 2.04) ve beyaz (% 4.31) LED'e göre ototrof büyüme ile daha fazla oleik asit (% 7.72) içerdiği görüldü.

4.7. *Gloeocystis vesiculosa* 901'in Azot ve Fosfat Giderim Hesaplamaları

Azot ve fosfat atıksularda iki önemli kirleticidir. Bu yüzden bu iki kimyasalın atık sulardan temizlenmesi arıtım için önemlidir. *Chlorella vulgaris* and *Scenedesmus obliquus* azot ve fosfat gideri için en çok kullanılan mikroalglerdir. Yapılan çalışmalarda bu iki türün toplam azot ve fosfatın ortamdan uzaklaştırılması 8 gün sürdü ve % 99 oranında bir verim elde edildi (Yang ve ark., 2016). Diğer bir çalışmada *L. punctate* ve *L. minor* farklı ışık yoğunluklarında, sıcaklıkta ve domuz atıksuyunda azot ve fosfat giderimlerini çalıştı. *L. punctate* 9 gün sonunda azotun tümünün giderimi sağlanırken *L. minor*'ün ise % 98 kadarının gideri sağlandı. Fosfat giderimleri ise her iki türdede % 98'e ulaşması 12 günü buldu (Zhao ve ark., 2014). *Chlorella sp.* ve *Scenedesmus sp.* ters osmoz ile atıksudan azot ve fosfatın kaldırılması için kullanıldı. Yapılan çalışma sonucunda azotun % 90'I ve fosfatın ise % 93'ü kaldırıldı (Wang ve ark., 2016). *Dunaliella sp.*, *Nannochloropsis sp.* ve *Tetraselmis sp.* 900, 1500 ve 2000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ışık akılarında sentetik atık suda stress oluşturularak azot ve fosfat giderimlerine bakıldı. Mikroalg türlerinin tümünde azot ve fosfatın % 90'ından fazlasının kaldırıldığı sonucuna varıldı. *Dunaliella sp.* için 2000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ışık yoğunluğu altında azot giderimi maksimum % 97.5 ve 1500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ışık yoğunluğu altında fosfat giderimi maksimum % 94.3 bulundu. *Nannochloropsis sp.* içinde benzer sonuçlar elde edildi. Maksimum azot giderimi 2000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ışık yoğunluğu altında %94.2 ve fosfat giderimide % 97 olarak belirtildi. *Tetraselmis sp.* için maksimum azot ve fosfat giderimlerinde 2000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ışık yoğunluğu altında sırasıyla % 98 ve % 96 olarak bulundu (Alva ve ark., 2018). Bu çalışmada *Gloeocystis vesiculosa* 901'in azot ve fosfat giderimleri hesaplamaları için ilk önce başlangıç konsantrasyonunda ve daha sonra durağan fazda azot ve fosfat konsantrasyonları ölçümleri yapılarak hesaplandı. Örneklerin başlangıç azot değerleri 44 mg/L olarak hesaplandı. En fazla azot ve kullanımı 35.9 mg/L ile kırmızı ışık ve 35.4 mg/L ile beyaz ışık altında gerçekleşti. En az giderim ise 30.1 mg/L değeri ile mavi ışık altında gerçekleşti. Kırmızı ışığın azot giderim yüzdesi % 81.6 beyaz ışığın ise % 80.5 olarak bulundu. En düşük azot giderim yüzdesi % 68.4 ile mavi ışıkta hesaplandı.

Fosfat giderimlerine baktığımızda ise en yüksek değerler beyaz ışıktaki 4.5 mg/L ve kırmızı ışıktaki 4 mg/L olarak bulundu. En az giderim ise 2.6 mg/L değeri ile mavi ışıktaki bulundu. Beyaz ışığın yüzde fosfat giderimi % 8.65 ve kırmızı ışığın ise % 5 olarak bulundu. En düşük yüzde fosfat giderimi % 5 ile mavi ışıktaki bulundu. *Gloeocystis vesiculosa* 901'in azot ve fosfat giderim miktarları ve yüzdeleri ayrıntılı bir şekilde Çizelge 4.2. ve Çizelge 4.3.'de verildi.

Çizelge 4.2. *Gloeocystis vesiculosa* 901'in azot giderim miktarları ve yüzdeleri.

Renk	Başlangıç Azot (mg/L)	Kalan Azot (mg/mL)	Azot Giderimi (mg/L)	Azot Giderimi Yüzdeleri (%)
Beyaz	44	8.6	35.4	80.5
Mor	44	10.6	33.4	75.9
Mavi	44	13.9	30.1	68.4
Yeşil	44	13.2	30.8	70.0
Sarı	44	11.8	32.2	73.2
Turuncu	44	11.6	32.4	73.6
Kırmızı	44	8.1	35.9	81.6

Çizelge 4.3. *Gloeocystis vesiculosa* 901'in fosfat giderim miktarları ve yüzdeleri.

Renk	Başlangıç Fosfat (mg/L)	Kalan Fosfat (mg/mL)	Fosfat Giderimi (mg/L)	Fosfat Giderimi Yüzdeleri (%)
Beyaz	52	47.5	4.5	8.65
Mor	52	48.1	3.9	7.50
Mavi	52	49.4	2.6	5.00
Yeşil	52	49	3	5.77
Sarı	52	48.2	3.8	7.31
Turuncu	52	48.3	3.7	7.12
Kırmızı	52	48	4	7.69

4.8. *Gloeocystis vesiculosa* 901'in Yağ Miktarı Yüzdeleri ve Veriminin Belirlenmesi

Mikroalglerin geniş bir kısmı yağ oranı için araştırılmaktadır. Bunlardan *B. braunii* yüksek yağ veriminden dolayı detaylı bir şekilde çalışılmaktadır. *B. braunii* 25 °C' de 200 $\mu\text{Em}^{-2} \text{s}^{-1}$ ışık akısı altında ve 222 mg/L fosfor konsantrasyonunda % 55 yağ oranı ve 0.48 mg/L yağ verimi bulunmuştur. Bu türün biyokütle miktarı ise 0.8 g/L olarak hesaplandı. Yine aynı çalışmada fosfor miktarını 444 mg/L'ye arttırdığımızda biyokütle konsantrasyonu 1.9 g/L olurken yağ miktarı hızlı bir düşüş göstererek % 22

olarak hesaplandı. Lipid verimide 0.45 g/L olarak bulundu (Ruangsomboon ve ark., 2012). Diğerk bir çalışmada Chu-13 besiyeri kullanılarak büyütülen *B. braunii* ışık yoğunluğu 35 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ altında 18:6 aydınlık:karanlık oranında 15 gün sonunda durağan faza geldiği gözlemlenmiş ve biyokütlesi 1.8 g/L ve biyokütle verimide 2.56 bulundu(Zhang ve ark., 2011). Yine yağ çalışmalarının sıklıkla yapıldığı türlerden biri olan *Chlorella vulgaris*'de karışık besi ortamında büyütüldü. Sıcaklık 30 $^{\circ}\text{C}$, glukoz 20 g/L nitrat 0.5 g/L konsatrasyonlarında biyokütle verimi 3.43 g/L yağ verimide 66.35 mg/L/gün olarak bulundu (Daliry ve ark., 2017). SEM besiyeri içerisinde *Chlorella vulgaris* pH:7.2, sıcaklık 25 $^{\circ}\text{C}$, ışık şiddeti 2500 lüks, 12:12 aydınlık:karanlık oranında ve yine 20 g/L guloz ve 0.5 g/L nitrat konsatrasyonlarında büyütüldü. Maksimum biyokütle 2.2 g/L, yağ verimi 66 mg/L/gün ve yağ içeriği % 17.7 bulundu (Kong ve ark., 2011). *Chlorella vulgaris* BBM besiyeri içerisinde limitlenmiş azot içeriğinde ve %8 karbondioksit oranında büyütüldüğünde 6.8 g/L biyokütle içeriği, 29.6 mg/L/gün yağ verimi ve % 12 yağ içeri bulundu (Ortiz ve ark., 2014). *Gloeocystis vesiculosa 901*'in yağ miktarı hesaplandığında en yüksek yağ miktarı 0.14 g/L değeri ile kırmızı ışıkta bulundu.

Diğerk dalga boyunda büyütülen mikroalgler ise 0.11 g/L civarında bir yağ oranına sahipti. Litredeki biyokütle oranı ile karşılaştırıp yağ yüzdelerine baktığımızda ise mavi ışık altında büyütülen mikroalg örnekleri % 23.13 değeri ile en yüksek yağ yüzdesine sahiptiler. Kırmızı ışık ise % 22.90 değerine sahipti. En düşük yağ yüzdesine ise % 19.42 ile mor ışıkta rastlandı. Yağ verimleri kıyaslandığında kırmızı ışık 0.0089 g/L/d değeri ile en yüksek yağ verimine sahipti. En düşük yağ verimi ise 0.0063 g/L/d ile mor ışık altında bulundu. Farklı dalga boyları ışık altında büyütülen *Gloeocystis vesiculosa 901*'in yağ miktarı, yüzdesi ve verimi ayrıntılı bir şekilde izelge 4.4. içerisinde verildi.

Çizelge 4.4. *Gloeocystis vesiculosa* 901'in yağ miktarı, yüzdesi ve verim.

Renk	Yağ miktarı (g/L)	Yağ yüzdesi (%)	Yağ verimi (g/L/d)
Beyaz	0.12	19.83	0.0073
Mor	0.10	19.42	0.0063
Mavi	0.11	23.13	0.0069
Yeşil	0.10	20.20	0.0064
Sarı	0.11	20.36	0.0070
Turuncu	0.11	20.18	0.0071
Kırmızı	0.14	22.90	0.0089

4.9. *Gloeocystis vesiculosa* 901'in Biyodizel Verimi

Mikroalgler biyokütlesinden hektar başına 58700 lt yağ ve 121104 litre biyodizel üretilebilmektedir (Suparmaniam ve ark., 2019). Mikroalgler özütlenme yapıldıktan sonra yağı elde edilip uygun alkol ile transesterleşme işlemi yapılarak biyodizel elde edildiği gibi mikroalg kütlesinden doğrudan olarak transesterleşme yapılarakta biyodizel elde edilebilir (Lardon ve ark., 2009). Direkt esterleşme özütlenme ile esterleşmeye oranla %10 ile 20 arası daha fazla ürün elde edilmesini sağlar (Cao ve ark., 2013). Doğrudan esterleşmede örneğin içerisinde su bulunduğu için katalizörün etkisi azalır ve yağ örnekleri ile katalizörün birbiri ile karşılaşma olasılığı düşer (Kumar ve ark., 2014). Bu nedenlerden dolayı bu çalışmada ilk önce yağ elde edilerek daha sonra transesterleşme sağlanmıştır ve direk esterleşme metodu kullanılmamıştır. *Botryococcus* türü ile yapılan çalışmalarda iki basamaklı esterleşme reaksiyonu uygulanmıştır ve biyodizel verimi % 84 olarak bulunmuştur (Ashokkumar ve ark., 2014). Asit katalizör eşliğinde ve WO_3/ZrO_2 ile *S. obliquus*'un yağlarının biyodizele dönüşümü çalışıldı ve % 94.6 biyodizel verimi bulundu (Guldhe ve ark., 2017). Diğer bir çalışmada *N. oculata*'dan esterleşme reaksiyonu aluminyuma desteklenmiş CaO ve MgO ile gerçekleştirilmiş ve verim % 97.5 olarak bulunmuştur (Umdu ve ark., 2009). *C. vulgaris ESP-31* üzerine enzim katalizörlü esterleşme kullanıldı ve verim % 97.3 gibi yüksek bir değer elde edildi (Tran ve ark., 2012). *Chlorella sp.*'nin asit katalizörlü reaksiyonunda %92 biyodizel verimi elde edildi (Velasquez ve ark., 2013). *Nannochloropsis oceanica* yine direk esterleşme reaksiyonu yanında kloroform ve metanol ve sülfirik asit ile takviye edilerek biyodizel elde edildi ve verim % 91 idi (Im ve ark., 2014). *Chlorella*

pyrenoidosa için hekzan ile birlikte sülfirik asit eşliğinde gerçekleşen reaksiyonda verim % 92.5 di (Cao ve ark., 2013). Yağ örneklerinden en çok yağ verimine sahip olan kırmızı ışık altında büyütülen mikroalg örnekleri alınarak biyodizel verimi hesaplaması için esterleşme reaksiyonuna tabi tutuldu. Bunun için yağ örneği 0.1 N KOH ile transesterleştirildi ve 60 °C de 3 saat karıştırıldı. Daha sonra inkubasyon için 18 saat bekletildi. Örnekler ayırma hunisi ile ayrılarak ve % 5'lik saf su ile yıkanarak temizlendi ve verim hesaplandı. Verim % 87 olarak hesaplandı. Sonuçlar Çizelge 4.13 içerisinde verildi.

Çizelge 4.5. *Gloeocystis vesiculosa* 901'in biyodizel verimi.

Renk	Katalizör	Biyodizel verimi (%)
Kırmızı	KOH (Baz)	% 87



5. SONUÇ

Mikroalgler günümüzde sağlık, kozmetik, eczacılık, gıda, sanayi ve çevre alanında sıklıkla kullanılmaya başlandı. Mikroalglerden elde edilen pigmentler, protein, yağ ve karbonhidratlar uygun şekilde üretilerek ihtiyaca göre kullanılmaktadır.

Bu çalışmada ilk önce mikroalg büyümesini artırabilmek ve daha fazla biyokütle elde ederek sanayi için kontrollü ürün eldesi için düz panel hava kaldırmalı fotobiyoreaktörün tasarımı yapıldı. Reaktörün toplam hacmi 1,3 L ve işletme hacmi ise 1 L olarak tasarlandı. Malzeme olarak polimetil metakrilat (PMMA) kullanıldı. Alüminyum levha ile sıcaklığın mikroalg büyümesine negatif etki yapması önleni. Reaktör sisteminin kenarlarının keskin olması yerine elips biçiminde dizayn edilerek mikroalglerin biyofilm oluşturarak diğer mikroalglerin büyümesinin engellenmesi önlenmiştir. Tasarımda orta kısımdan hava verilerek havanın homojen bir şekilde yayılması sağlanırken orta kısma yerleştirilen çıtalar sayesinde de havanın yönlendirilmesi sağlanmış ve en uzak bölgelere kadar havanın iletimi gerçekleşmiş ve hava kaldırma olayı sağlanmıştır. Pleksiler arası silikon contalar yerleştirilerek tam bir sızdırmazlık sağlanmıştır. FBR'nin et kalınlığı 32 mm'dir. FBR'nin sıvı kalınlığı ise 20 mm'dir. Bu sayede tasarlanan düz panel hava kaldırmalı fotobiyoreaktör ile yüksek biyokütle elde edilmiştir.

Chlorophyceae şubesinde olan *Gloeocystis vesiculosa* 901 düz panel hava kaldırmalı fotobiyoreaktörde Bold Basal Besiyeri (BBM) içerisinde farklı dalga boyunda (Beyaz, mor, mavi, yeşil, sarı, turuncu ve kırmızı) büyütüldü. Maksimum büyüme beyaz ışık ve kırmızı ışıkta görülürken minimum büyüme mavi ışık altında gözlemlendi. En yüksek biyokütle 0.62 g/L değeri ile kırmızı ışıkta ve 0.59 g/L ile de beyaz ışıkta bulundu. En düşük biyokütle değeri ise mavi ışıkta (0.48 g/L) tespit edildi. *Gloeocystis vesiculosa* 901 düz panel hava kaldırmalı fotobiyoreaktörde durağan fazda azot ve fosfat giderim yüzdelerine bakıldı. Maksimum azot giderim verimi kırmızı ışık altında % 81.6 ve beyaz ışık altında da % 80.5 olarak bulundu. En düşük azot giderimi ise % 68.4 ile mavi ışıkta idi. Fosfat giderimide benzer sonuçları verdi ve maksimum giderim verimi beyaz ışık altında % 8.5 olarak bulundu.

Özütlenen örneklerin yağ miktarlarına baktığımızda kırmızı ışık 0.14 g/L ile en fazla yağ miktarına sahipti. Yağ yüzdesi en yüksek olan dalga boyu ise % 23.13 ile mavi ışık oldu. Çünkü mavi ışığın biyokütlesi az olduğu için yağ yüzdesi yüksek çıkması normal bir olaydı. Biyodizel üretiminde en önemli kriter olan yağ veriminde ise kırmızı ışık 0.0089 g/L/d ile maksimuma sahipti.

En yüksek yağ verimine sahip olan kırmızı ışık alınarak 0.1 N KOH ile transesterleşti ve biyodizel verimi % 87 olarak hesaplandı.

Bu sonuçlar altında diyebiliriz ki *Gloeocystis vesiculosa 901* düz panel hava kaldırmalı fotobiyoreaktörde kırmızı ışık (630-750) dalga boyunda büyütülerek maksimum biyokütle, yağ ve verimi elde edilebilir. Lab ölçekli olan bu çalışma gelecek çalışmalarda üretim amacı için daha büyük fotobiyoreaktörlerin tasarımı ile devam edilebilir.

KAYNAKLAR

- Adesanya, V.O., Cadena, E., Scott, S.A., Smith, A.G., 2014. Life cycle assessment on microalgal biodiesel production using a hybrid cultivation system. *Bioresource Technology*, **163**: 343-355.
- Akın, D., 2017. *Biochemical And Genetic Assessment Of High Value Lipid Production From Local Thermo-Resistant Green Microalgae Strain* (yüksek lisans tezi, basılmamış) Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Akter, R., Hossain, S.M.M., Zhe, W., Kermanee, P., Juntawong, N., 2016. Enhanced lipid production in *Dunaliella salina* grown under high light intensity by shifting the culture from high to low nitrogen concentration. *Advances in Environmental Biology*, **10**: 18-29.
- Alvaa, M.S., Pabelloa, V.M.L., Ladesmab, M.T.O., 2018. Carbon, nitrogen, and phosphorus removal, and lipid production by three saline microalgae grown in synthetic wastewater irradiated with different photon fluxes. *Algal Research*, **34**: 97-103.
- Amin, S., 2009. Review on biofuel oil and gas production processes from microalgae. *Energy Conversion and Management*, **50**: 1834-1840.
- Anonim, 2018. Hidroelektrik enerjisi nedir?. http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/h_hidrolik_nedir.aspx Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü(Kampüs), Ankara. Erişim tarihi:10.10.2019.
- Anonim, 2018. Güneş Enerji Potansiyeli Atlası(GEPA) <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx> Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü(Kampüs), Ankara. Erişim tarihi:10.10.2019.
- Anonim, 2017. <https://www.iea.org/> International Energy Agency(IEA) Teknoloji Yol Haritası:Sürdürülebilir Biyoenerji Sunmak, IEA Durum Raporu. Erişim tarihi:25.11.2019.
- Ashokkumar, V., Agila, E., Sivakumar, P., Salam, Z., Rengasamy, R., Ani, F.N., 2014. Optimization and characterization of biodiesel production from microalgae *Botryococcus* grown at semi-continuous system. *Energy Conversion and Management*, **88**: 936-946.
- Benemann, J.R., 1997. CO₂ mitigation with microalgae systems. *Energy Conversion and Management*, **38**: 475-479.
- Bernards, M., Hu, Z., 2014. Algae-facilitated chemical phosphorus removal during high-density *Chlorella emersonii* cultivation in a membrane bioreactor. *Bioresource Technology*, **153**: 383-387.
- Bitog, J.P., Lee, I.B., Lee, C.G., Kim, K.S., Hwang, H.S., Hong, S.W., 2011. Application of computational fluid dynamics for modeling and designing photobioreactors for microalgae production: a review. *Computers and Electronics in Agriculture*, **76**(2): 131-147.
- Brennan, L., Owende, P., 2010. Biofuels from microalgae-a review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, **14**(2): 557-77.

- Cao, H., Zhang, Z., Wu, X., Miao, X., 2013. Direct biodiesel production from wet microalgae biomass of *Chlorella pyrenoidosa* through in situ transesterification. ***BioMed Research International***, 1-6.
- Çepik, B., 2015. ***Sürdürülebilir Kalkınma Çerçevesinde Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Politikaları*** (doktora tezi basılmamış). Maltepe Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisat Anabilim Dalı, İstanbul.
- Daliry, S., Hallajani, A., Mohammadi, J., Nouri, H., Golzary, A., 2017. Investigation of optimal condition for *Chlorella vulgaris* microalgae growth. ***Global Journal of Environmental Science and Management***, **3**: 217-230.
- Demir, M. 2015. ***Mikroalglerden Biyodizel Eldesi***(doktora tezi, basılmamış). Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- Derakhshandeh, M., 2018. ***Microalgae Cultivation And Production Of Bio-Oil From Microalgae Biomass*** (doktora tezi, basılmamış). Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Durmaz, Y., 2007. Vitamin E (α -tocopherol) production by the marine microalgae *Nannochloropsis oculata* (Eustigmatophyceae) in nitrogen limitation. ***Aquaculture***, **272**: 717-722.
- Elçik, H., Çakmakçı, M., 2017. Mikroalg üretimi ve mikroalglerden biyoyakıt eldesi. ***Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University***, **32**(3): 795-820.
- Folch, J., Lees, M., Sloane-Stanley, G.M., 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. ***The Journal of Biological Chemistry***, **226**: 497-509.
- Fulbright, S.P., Robbins-Pianka, A., Berg-Lyons, D., Knight, R., Reardon, K.F., Chisholm, S.T., 2018. Bacterial community changes in an industrial algae production system. ***Algal Research***, **31**: 147-156.
- Guldhe, A., Singh, P., Ansari, F.A., Singh, B., Bux, F., 2017. Biodiesel synthesis from microalgal lipids using tungstated zirconia as a heterogeneous acid catalyst and its comparison with homogeneous acid and enzyme catalysts. ***Fuel***, **187**: 180-188.
- Im, H.J., Lee, H.S., Park, M.S., Yang, J.W., Lee, J.W., 2014. Concurrent extraction and reaction for the production of biodiesel from wet microalgae. ***Bioresource Technology***, **152**: 534-537.
- Karagöl, E.T., Kavaz, İ., 2017. ***Dünyada ve Türkiyede Yenilenebilir Enerjinin Durumu***, SETA Nisan Ayı Raporu, Sayı:197.
- Karaosmanoglu, F., 2007. “Biyomotorin ve Türkiye” <http://www.biyomotorinbiodiesel.com/biomoto.htm> Erişim tarihi:15.12.2019.
- Kiran, B., Kumar, R., Deshmukh, D., 2014 Perspectives of microalgal biofuels as a renewable source of energy. ***Energy Conversion and Management***, **88**:1228-1244.
- Koç, E., Şenel, M.C., 2013. “Dünyada ve Türkiye’de Enerji Durumu - Genel Değerlendirme” ***Mühendis ve Makina***, **54**(639):32-44.
- Kong, W., Song, H., Cao, Y., Yang, H., Hua, S., Xia, C., 2011. The characteristics of biomass production, lipid accumulation and chlorophyll biosynthesis of *Chlorella vulgaris* under mixotrophic cultivation. ***African Journal of Biotechnology*** **10**:11620-11630.

- Körbitz, W., 1999. Biodiesel Production In Europe And North America, An Encouraging Prospect. *Renewable Energy* **16**:1078-1883.
- Kumar, M., Muthuraj, B., Palabhanvi, A.K., Ghoshal, D., 2014. Evaluation and optimization of two stage sequential in situ transesterification process for fatty acid methyl ester quantification from microalgae. *Renewable Energy*, **68**: 560-569.
- Külekci, Ö.C., 2009. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında jeotermal enerjinin yeri ve Türkiye açısından önemi. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, **1**:2.
- Lardon, A., Helias, B., Sialve, J.P., Steyer, O., 2009. Life-cycle assessment of biodiesel production from microalgae. *Environmental Science and Technology*, **43**: 6475-6481.
- Leite, L.S., Hoffmann, M.T., Daniel, L.A., 2019. Daniel Microalgae cultivation for municipal and piggyery wastewater treatment in Brazil. *Journal of Water Process Engineering*, **31**:100821
- Li, K., Liu, Q., Fang, F., Luo, R., Lu, Q., Zhou, W., Huo, S., Cheng, P., Liu, J., Addy, M., Chen, P., Chen, D., Ruan, R., 2019. Microalgae-based wastewater treatment for nutrients recovery: A review, *Bioresource Technology*, **291**:121934
- Maity, J.P., Bundschuh, J., Chen, C.Y., Bhattacharya, P., 2014. Microalgae for third generation biofuel production, mitigation of greenhouse gas emissions and wastewater treatment: present and future perspectives-a mini review. *Energy*, **78**: 104-113.
- Manav, E., 2004. *Labaratuvar Çaplı Fotobiyoreaktörlerde Siyanobakteri/Mikroalglerin Biyokütle Ve Metabolit Üretimi Üzerine Etki Eden Parametreleri İncelenmesi* (yüksek lisans tezi, basılmamış) Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Mata, T.M., Martins, A.A., Caetano, N.S., 2010. Microalgae for biodiesel production and other applications: A review. *Renewable Sustainable Energy Review*, **14** (1): 217-232.
- Medeiros, D.L., Sales, E.A., Kiperstok, A., 2015. Energy production from microalgae biomass: carbon footprint and energy balance. *Journal of Cleaner Production*, **96**: 493-500.
- Mohsenpour, S.F., Willoughby, N., 2013. Luminescent photobioreactor design for improved algal growth and photosynthetic pigment production through spectral conversion of light. *Bioresource Technology*, **142**: 147-153.
- Onay, M., 2015. *Bio-Fuel Production From Microalgae*, Middle East Technical University, PhD thesis, Ankara, Turkey.
- Ortiz Montoya, E.Y., Casazza, A.A., Aliakbarian, B., Perego, P., Converti, A., Carvalho, J.C., 2014. Production of *Chlorella vulgaris* as a source of essential fatty acids in a tubular photobioreactor continuously fed with air enriched with CO₂ at different concentrations. *Biotechnology Program*, **30**: 916-922.
- Peterson, C.L., Hustrulid, T., 1998. Carbon Cycle for Rapeseed Oil Biodiesel Fuels. *Biomass and Bioenergy* **14**(2): 91-101.
- Pragya, N., Pandey, K.K., Sahoo, P.K., 2013. A review on harvesting, oil extraction and biofuels production technologies from microalgae, *Renewable Sustainable Energy Review*, **24**: 159-171.

- Ra, C.H., Kang, C.H., Jung, J.H., Jeong, G.T., Kim, S.K., 2016. Effects of light-emitting diodes (LEDs) on the accumulation of lipid content using a two-phase culture process with three microalgae. *Bioresource Technology*, **212**: 254-261.
- Richmond, A., 2003. Handbook of microalgal culture: biotechnology and applied phycology. In: Masojídek, J., Koblížek, M., Torzillo, G. (Eds.), Photosynthesis in Microalgae. *Blackwell Publishers*, 20-39.
- Ruangsomboon, S., 2012. Effect of light, nutrient, cultivation time and salinity on lipid production of newly isolated strain of the green microalga, *Botryococcus braunii* KMITL 2. *Bioresource Technology*, **109**: 261-265.
- Salama, E.S., Jeon, B.H., Kurade, M.B., Abou-Shanab, R.A.I., Govindwar, S.P., Lee, S.H., 2016. Harvesting of freshwater microalgae *Scenedesmus obliquus* and *Chlorella vulgaris* using acid mine drainage as a cost effective flocculant for biofuel production. *Energy Conversion and Management*, **121**: 105-112.
- Shu, C.H., 2012. Effects of light on the accumulation of oil in a mixed culture of *Chlorella sp.* and *Saccharomyces cerevisiae*. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, **87**: 601-607.
- Suparmaniam, U., Lam, M.K., Uemura, Y., Jun, J.W., Leed, K.T., Shuit, S.H., 2019. Insights into the microalgae cultivation technology and harvesting process for biofuel production: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **115**: 109361
- Şenel, M.C., 2012. *Rüzgar Türbinlerinde Güç İletim Mekanizmalarının Tasarım Esasları-Dinamik Davranış* Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Tasyürek, M., Acaroğlu, M., 2007. *Biyoyakıtlarda (Biyomotorinde) Emisyon Azatlımı ve Küresel Isınmaya Etkisi Uluslararası Küresel İklim Değişikliği ve Çevresel Etkileri Konferansı*, Konya.
- Tüccar, G., 2011. *Biodiesel Production From Microalgae* (yüksek lisans tezi, basılmamış) Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Tran, D.T., Yeh, K.L., Chen, C.L., Chang, J.S., 2012. Enzymatic transesterification of microalgal oil from *Chlorella vulgaris* ESP-31 for biodiesel synthesis using immobilized *Burkholderia* lipase. *Bioresource Technology*, **108**: 119-127.
- Tredici, M.R., Zittelli, G.C., 1998. Efficiency of sunlight utilization: tubular versus flat photobioreactors. *Biotechnology and Bioengineering* **57**(2): 187-97.
- Uğurlu, Ö., 2009. *Çevresel güvenlik ve Türkiye'de enerji politikaları*. Örgün Yayınevi.
- Umdu, E.S., Tuncer, M., Seker, E., 2009. Transesterification of *Nannochloropsis oculata* microalga's lipid to biodiesel on Al₂O₃ supported CaO and MgO catalysts. *Bioresource Technology*, **100**: 2828-2831
- Uyar, F., 2017, Enerji kaynakları nelerdir? Kaça Ayrılır?. <https://www.enerjibes.com/enerji-kaynaklari/>
Erişim tarihi:10.10.2019.
- Van Dyne, D.L., Weber, J.A., Braschler, C.H., 1995. Macroeconomics Effects of a Community-Based Biodiesel Production System. *Bioresource Technology* **56**:1-6.
- Velasquez-Orta, S.B., Lee, J.G.M., Harvey, A.P., 2013. Evaluation of FAME production from wet marine and freshwater microalgae by in situ transesterification. *Biochemical Engineering Journal*, **76**: 83-89.

- Vural, E., 2010. *Sürdürülebilir Kalkınma Sürecinde Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Önemi Ve Türkiye’de Uygulanabilirliği* (yüksek lisans tezi, basılmamış) Celal Bayar Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisat Anabilim Dalı, Manisa.
- Wang, X.X., Whu, Y.H., Zhang, T.Y., Xu, X.O., Dao, G.H., Hu, H.Y., 2016. Simultaneous nitrogen, phosphorous, and hardness removal from reverse osmosis concentrate by microalgae cultivation. *Water Research*, **94**: 215-224.
- Watanabe, Y., Hall, D. O. 1996. Photosynthetic CO₂ conversion technologies using a photo bioreactor incorporating microalgae-energy and material balances. *Energy Conversion and Management*, **37**(68): 1321-1326.
- Wongsansilp, T., Juntawong, N., Wu, Z., 2016. Effects of phosphorus on the growth and chlorophyll fluorescence of a *Dunaliella salina* strain isolated from saline soil under nitrate limitation. *J Biol Res-Bollettino della Società Italiana di Biologia Sperimentale*, **89**: 5866.
- Wu, Z., Akter, R., Arirob, W., Juntawong, N., Ma, C., Duangmanee, P., 2015. Effects of light intensity and the remaining nitrate concentration on the beta-carotene accumulation of a wild *Dunaliella salina* strain isolated from the saline soil, *Microbiology Research*, **6** (1): 6233-6243.
- Yang, S., Salama, E.S., Kim, J.O., Govindwar, S.P., Kurade, M.B., Lee, M., Roh, H.S., Jeon, B.H., 2016. Cultivation and harvesting of microalgae in photobioreactor for biodiesel production and simultaneous nutrient removal. *Energy Conversion and Management*, **117**: 54-62.
- Zhang, H., Wang, W., Li, Y., Yang, W., Shen, G., 2011. Mixotrophic cultivation of *Botryococcus braunii*. *Biomass Bioenergy*, **35**: 1710-1715.
- Zhao, Z., Huijuan, S., Yang, L., Hai, Z., Haifeng S., Maolin, W., Yun, Z., 2014. The influence of duckweed species diversity on biomass productivity and nutrient removal efficiency in swine wastewater, *Bioresource Technology*, **167**: 383-389.
- Zhu, L., 2015. Biorefinery as a promising approach to promote microalgae industry: An innovative framework, *Renewable Sustainable Energy Review*, **41**: 1376-1384.



ÖZ GEÇMİŞ

1991 yılında Van İli'nde doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Van'da tamamladı. 2009 yılında Şanlıurfa'da bulunan Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü'ne girdi. Aynı bölümden 2013 yılında mezun oldu. Aynı yıl Antalya'da bulunan ve Ambalaj Atıkların Geri Kazanım işlemlerinin yapıldığı Dönüşüm San. Tic. Ltd. Şti firmasında sorumlu Çevre Mühendisi olarak çalışmaya başlandı. 2014 yılında Van'da bulunan Vangölü Duranlar Geri Dönüşüm San. Tic. Ltd. Şti. firmasında Çevre Mühendisi olarak çalışmaya başlandı yaklaşık olarak 5 yıl süreliğine çalışmaya devam edildi. 2017 yılında ise Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans eğitimine devam edildi. 2019 yılında ise Van İli'nde bulunan tıbbi atık sterilizasyon tesisi olan Doğa Atık Yönetimi San. Ve Tic. Ltd. Şti. ile anlaşma sağlanarak Çevre Mühendisi olarak çalışılmaya başlandı ve halen de bahsi geçen firmada çalışmaya devam edilmektedir.

T.C
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
LİSANSÜSTÜ TEZ ORJİNALLİK RAPORU

Tarih: 08/01/2020

Tez Başlığı / Konusu: **Düz-Panel Hava Kaldırma Fotobiyoreaktörün Tasarımı ve Çeşitli Dalga Boylarında Led Işık ile Mikroalglerden Yüksek Biyodizel Üretimi**

Yukarıda başlığı/konusu belirlenen tez çalışmamın Kapak sayfası, Giriş, Ana bölümler ve Sonuç bölümlerinden oluşan toplam 61 sayfalık kısmına ilişkin, 08/01/2020 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından turnitin intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtreleme uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 2 (iki) dir.

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 kelimededen daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç (Limit inatch 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.

08/01/2020

Adı Soyadı: Murat Onur ÇELİKTAŞ
Öğrenci No: 169101175
Anabilim Dalı: Çevre Mühendisliği ABD
Programı: Tezli Yüksek Lisans
Statüsü: Y. Lisans Doktora



DANIŞMAN ONAYI
UYGUNDUR
Dr. Öğr. Üyesi Melih ONAY



