

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

**MİKROALGLERDEN BİYOKÜTLE ÜRETİMİ İÇİN 1'LİK KABARCIKLI  
KOLON FOTOBİYOREAKTÖRÜN TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Said Nur GAZİOĞLU  
DANIŞMAN: Dr. Öğr. Üyesi Melih ONAY

VAN-2020



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

**MİKROALGLERDEN BİYOKÜTLE ÜRETİMİ İÇİN 1'LİK KABARCIKLI  
KOLON FOTOBİYOREAKTÖRÜN TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Said Nur GAZİOĞLU

VAN-2020



## KABUL VE ONAY SAYFASI

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Dr. Öğr. Üyesi Melih ONAY danışmanlığında Said Nur GAZİOĞLU tarafından sunulan "Mikroalglerden Biyokütle Üretimi İçin 1'lik Kabarcıklı Kolon Fotobiyoreaktörün Tasarımı" isimli bu çalışma Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili hükümleri gereğince 27.12.2019 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 19.01.2020 tarih ve 2020/2-1 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)

Said Nur GAZİOĞLU





## ÖZET

### MİKROALGLERDEN BİYOKÜTLE ÜRETİMİ İÇİN 1'LİK KABARCIKLI KOLON FOTOBİYOREAKTÖRÜN TASARIMI

GAZİOĞLU, Said Nur  
Yüksek Lisans Tezi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı  
Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Melih ONAY  
Ocak 2020, 63 sayfa

Mikroalgleri kontrollü bir şekilde büyütmek için çeşitli yöntemlerden yararlanılabilir. Bu çalışmada ilk olarak mikroalglerden biyokütle üretmek için 1L'lik kabarcıklı kolon fotobiyoreaktörün tasarımı yapıldı. Daha sonra, *Borodinellopsis texensis* Bold Basal Besiyeri (BBM) içerisinde farklı dalga boylarında (beyaz, mor, mavi, yeşil, sarı, turuncu ve kırmızı) 1L'lik kolon fotobiyoreaktör içerisinde büyütüldü ve biyokütle miktarı, spesifik büyüme hızı, pigment miktarları, kullanılan toplam azot ve toplam fosfor yüzdeleri hesaplandı. En yüksek biyokütle  $283.88 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  değeri ile mavi ışıkta bulundu. En yüksek spesifik büyüme hızı  $0.20 \text{ gün}^{-1}$  olarak bulundu. Farklı dalga boylarında büyütülen *Borodinellopsis texensis*'in klorofil-a miktarlarına baktığımızda en yüksek değer yine mavi ışık altında  $4.87 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  idi. Ayrıca maksimum azot giderim verimi mavi ışık altında % 76.25, maksimum toplam fosfor miktarı ise yine mavi ışıkta % 61.50 olarak bulundu. Sonuç olarak *Borodinellopsis texensis* kabarcıklı kolon fotobiyoreaktörde mavi ışık (450-490 nm) dalga boyunda büyütülerek maksimum biyokütle, spesifik büyüme hızı, toplam azot ve fosfor kullanımı elde edilebilir. Daha sonraki çalışmalarda *Borodinellopsis texensis*'den yüksek miktarda biyokütle üretimi için daha büyük reaktörlerin tasarımı yapılabilir.

**Anahtar kelimeler:** *Borodinellopsis texensis*, Biyokütle, Kabarcıklı kolon fotobiyoreaktör, LED, Toplam azot ve fosfor giderimi



## ABSTRACT

### DESIGN OF 1L BUBBLE COLUMN PHOTOBIOREACTOR FOR MICROALGAL BIOMASS PRODUCTION

GAZIOĞLU, Said Nur  
M.Sc. Thesis Environmental Engineering  
Supervisor: Asst. Prof. Dr. Melih ONAY  
January 2020, 63 pages

Various methods are useful for microalgal growth in a controlled manner. In this study, firstly, 1L of bubble column photobioreactor was designed to produce microalgal biomass. Then, *Borodinellopsis texensis* was grown in Bold Basal Medium (BBM) at the different wavelengths (white, purple, blue, green, yellow, orange and red) in 1L bubble column photobioreactor and biomass content, specific growth rate, pigment contents, total nitrogen and phosphate removal percentage values were calculated. The maximum biomass content was  $283.88 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  at the blue wavelength. The highest SGR was  $0.20 \text{ gün}^{-1}$ . When we carried out chlorophyll contents of *Borodinellopsis texensis* grown in various wavelengths, the maximum value for chlorophyll content was  $4.87 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  at the blue wavelength. Also, we examined total nitrogen and phosphorous removal from *Borodinellopsis texensis*. The maximum nitrogen and phosphorous productivity were 76.25 % and 61.50 % at blue wavelength, respectively. In conclusion, *Borodinellopsis texensis* can be grown in 1L of bubble column photobioreactor for the maximum biomass, specific growth rate, total nitrogen and phosphorous removal. At the next studies, larger reactor can be designed for high biomass production from *Borodinellopsis texensis*.

**Keywords:** *Borodinellopsis texensis*, Biomass, Bubble column photobioreactor, LED, Total nitrogen and phosphorous removal



## ÖN SÖZ

Bu tez çalışmasında, bana bu imkânı tanıyan akademik bilginin yanı sıra hayat dair engin bilgi ve tecrübeleri ile bana yardımcı olan ve hiçbir zaman desteğini benden esirgemeyip yolumu aydınlatan çok değerli danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Melih ONAY'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamda düzeltmeleriyle yardımlarını esirgemeyen değerli hocalarım Doç. Dr. Zehra ŞAPCI AYAS ve Doç. Dr. Edip AVŞAR'a, teşekkürlerimi sunarım.

Akademik hayata atıldığım ilk günden itibaren, gelişim sürecime çok önemli katkı sağlayan, ihtiyaç duyduğumda tavsiyeleri ile varlığını her zaman hissettiren ve laboratuvar çalışmalarım süresince deney düzeneklerimin kurulmasında bana yol gösteren Arş. Gör. Dr. Erdinç ALADAĞ'a, teşekkür ederim.

Ayrıca, tez çalışmam esnasında benimle birlikte olup cesaret veren, bana inanıp maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, asla beni yalnız bırakmayan hayattaki en değerli varlığım ailem; annem, babam ve kardeşlerime teşekkürü bir borç bilirim.

2019

Said Nur GAZİOĞLU



## İÇİNDEKİLER

|   | Sayfa |
|---|-------|
| ÖZET .....  | i     |
| ABSTRACT .....  | iii   |
| ÖN SÖZ.....   | v     |
| İÇİNDEKİLER.....  | vii   |
| ÇİZELGELER LİSTESİ .....  | ix    |
| ŞEKİLLER LİSTESİ.....   | xi    |
| SİMGELER VE KISALTMALAR .....                                   | xiii  |
| 1. GİRİŞ.....   | 1     |
| 2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ .....                                    | 3     |
| 2.1. Enerji Kavramı .....                                       | 3     |
| 2.2. Enerji Kaynakaları.....                                    | 4     |
| 2.3. Türkiye’de Enerji.....                                     | 5     |
| 2.4. Yenilenebilir Enerji Kaynakları.....                       | 6     |
| 2.5. Biyokütle Kaynakları.....                                  | 7     |
| 2.6. Mikroalg .....   | 8     |
| 2.7. Mikroalg Üretimine Etki Eden Faktörler .....               | 12    |
| 2.7.1. Sıcaklık .....   | 12    |
| 2.7.2. Tuzluluk.....  | 12    |
| 2.7.3. Işık .....   | 13    |
| 2.7.4. Ph.....  | 15    |
| 2.7.5. Besin faktörleri .....                                   | 16    |
| 2.7.6. Havalandırma/Karıştırma .....                            | 16    |
| 2.8. Mikroalg Üretim Sistemleri.....                            | 17    |
| 2.8.1. Açık sistemler .....                                     | 17    |
| 2.8.1. Kapalı kültür sistemleri .....                           | 18    |
| 3. MATERYAL ve YÖNTEM .....                                     | 21    |
| 3.1. Materyal.....  | 21    |
| 3.1.1. Mikroalg türü ( <i>Borodinellopsis texensis</i> ) .....  | 21    |
| 3.1.1.1. <i>Borodinellopsis texensis</i> ’in elde edilmesi..... | 22    |
| 3.1.2. Kullanılan reaktör .....                                 | 22    |

|  | <b>Sayfa</b> |
|--|--------------|
| 3.1.3. Kullanılan ışık sistemi .....                     | 23           |
| 3.2. YÖNTEM .....  | 24           |
| 3.2.1. Mikroalg üretimi .....                            | 24           |
| 3.2.2. Besiyerin hazırlanması .....                      | 26           |
| 3.2.3. <i>Borodinelopsis texensis</i> stok kültürü ..... | 27           |
| 3.2.4. Hasat edilen mikroalg .....                       | 28           |
| 3.2.5. Kurutma .....                                     | 29           |
| 3.2.6. Denemede yapılan analizler .....                  | 29           |
| 3.2.6.1. Optik yoğunluk .....                            | 29           |
| 3.2.6.2. Hasat edilen mikroalgal biyokütle analizi ..... | 30           |
| 3.2.6.3. Fotosentetik pigment analizi .....              | 30           |
| 3.2.6.4. Toplam azot analizi .....                       | 31           |
| 3.2.6.5. Toplam fosfor analizi .....                     | 32           |
| 4. BULGULAR ve TARTIŞMA .....                            | 35           |
| 4.1. Kullanılan Reaktör Sistemi .....                    | 35           |
| 4.2. Kullanılan Işık Sistemi .....                       | 36           |
| 4.3. Optik Yoğunluk (OD) .....                           | 37           |
| 4.4. Hasat Edilen Mikroalgal Biyokütle .....             | 43           |
| 4.5. Spesifik Büyüme Hızı .....                          | 44           |
| 4.6. Fotosentetik Pigment Üretimi .....                  | 47           |
| 4.6.1. Klorofil-a miktarı .....                          | 47           |
| 4.6.2. Klorofil-b miktarı .....                          | 48           |
| 4.6.3. Karotenoid miktarı .....                          | 48           |
| 4.7. Toplam Azot Miktarı .....                           | 51           |
| 4.8. Toplam Fosfor Miktarı .....                         | 51           |
| 5. SONUÇ .....   | 55           |
| KAYNAKLAR .....  | 57           |
| ÖZ GEÇMİŞ .....  | 63           |



## ÇİZELGELER LİSTESİ

| Çizelge  | Sayfa |
|--|-------|
| Çizelge 2.1. Bazı mikroalg çeşitlerinin biyopolimerlerinin yüzdelik oranları (Elcik ve Çakmakçı, 2017).....  | 10    |
| Çizelge 2.2. Mikroalgler kökenli ticari amaç doğrultusunda kullanılan ürünler (Elcik ve Çakmakçı, 2017) .....  | 11    |
| Çizelge 2.3. Mikroalg üretiminde aydınlık/karanlık döngü (saat) ve aydınlatma şiddetinin ( $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ ) etkisi (Elcik ve Çakmakçı, 2017)..... | 15    |
| Çizelge 3.1. Bold Basal besiyerin bileşimleri (Barsanti ve Gualtieri, 2006).....   | 26    |
| Çizelge 4.1. Borodinelopsis texensis kültürüne ait farklı dalga boylarında optik yoğunluk, biyokütle, spesifik büyüme hızlarındaki değişim.....                              | 46    |
| Çizelge 4.2. Borodinelopsis texensis kültürüne ait farklı dalga boylarında klorofil-a, klorofil-b, karotenoid miktarları .....   | 50    |
| Çizelge 4.3. Borodinelopsis texensis kültürüne ait farklı dalga boylarındaki toplam azot ve toplam fosfor miktarları .....   | 53    |



## ŞEKİLLER LİSTESİ

| Şekil   | Sayfa |
|---|-------|
| Şekil 2.1. Dünyada enerji tüketimi ve tahmini oranları (TP, 2016; Türkyılmaz ve ark., 2017) .....                       | 4     |
| Şekil 2.2. Dünyadaki fosil kaynaklı yakıtların rezerv miktarları ve kalan ömürleri (BP, 2018; ETB, 2016 ).....          | 6     |
| Şekil 2.3. Dalga boyunun yapısı (Carvalho ve ark., 2011).....   | 13    |
| Şekil 2.4. Işınlarda dalga boyu ve frekanslarına göre dizilimi (Carvalho ve ark., 2011). 14                             |       |
| Şekil 2.5. Mikroalg üretiminde açık kültür sistemleri (Yalçın, 2018).....   | 17    |
| Şekil 2.6. Mikroalg üretiminde kapalı sistemler (Yalçın, 2018) .....  | 19    |
| Şekil 3.1. <i>Borodinellopsis texensis</i> mikroalg sistematikteki konumu ve taksonomik yapıları (Algaebase, 2019)..... | 21    |
| Şekil 3.2. <i>Borodinellopsis texensis</i> mikroalginin ışık mikroskop görüntüsü (Ccala, 2019).....                     | 22    |
| Şekil 3.3. Çalışmada tasarlanmış olan reaktör.....  | 23    |
| Şekil 3.4. Çalışmada kullanılmış olan ışık sistemi .....  | 24    |
| Şekil 3.5. <i>Borodinellopsis texensis</i> mikroalg türünün gelişim sistemi.....  | 25    |
| Şekil 3.6. Çalışmada kullanılmış olan ön hazırlık sistemi.....  | 25    |
| Şekil 3.7. Hazırlanmış olan stok çözeltileri.....   | 27    |
| Şekil 3.8. <i>Borodinellopsis texensis</i> stok kültürü .....   | 28    |
| Şekil 3.9. Ependorf içerisindeki mikroalg örnekleri.....  | 28    |
| Şekil 3.10. Çalışmada kullanılmış olan spektrofotometre cihazı .....  | 29    |
| Şekil 3.11. Hasat edilen mikroalg biyokütle.....  | 30    |
| Şekil 3.12. Klorofil-a formülü .....  | 31    |
| Şekil 3.13. Klorofil-b formülü .....  | 31    |
| Şekil 3.14. Karotenoid formülü .....  | 31    |
| Şekil 3.15. Toplam azot kitleri .....   | 32    |
| Şekil 3.16. Toplam fosfor kitleri .....   | 33    |
| Şekil 4.1. Çalışmada tasarlanan reaktör sistemi .....   | 36    |
| Şekil 4.2. Çalışmada kullanılmış olan reaktör sistemi .....   | 37    |
| Şekil 4.3. Kırmızı renkli dalga boyuna ait optik yoğunluk değişimi.....   | 38    |
| Şekil 4.4. Turuncu renkli dalga boyuna ait optik yoğunluk değişimi .....  | 38    |

| <b>Şekil</b>   | <b>Sayfa</b> |
|--|--------------|
| Şekil 4.5. Sarı renkli dalga boyuna ait optik yoğunluk değişimi.....   | 39           |
| Şekil 4.6. Yeşil renkli dalga boyuna ait optik yoğunluk değişimi.....  | 40           |
| Şekil 4.7. Mavi renkli dalga boyuna ait optik yoğunluk değişimi.....   | 40           |
| Şekil 4.8. Koyu mavi renkli dalga boyuna ait optik yoğunluk değişimi .....   | 41           |
| Şekil 4.9. Mor renkli dalga boyuna ait optik yoğunluk değişimi .....   | 42           |
| Şekil 4.10. Beyaz renkli dalga boyuna ait optik yoğunluk değişimi .....  | 42           |
| Şekil 4.11. Borodinelopsis texensis kültürüne ait optik yoğunluk değişimi .....  | 43           |
| Şekil 4.12. Borodinelopsis texensis kültürüne ait farklı dalga boyları kullanılarak elde edilen biyokütle grafiği.....             | 44           |
| Şekil 4.13. Borodinelopsis texensis kültürüne ait farklı dalga boyları kullanılarak elde edilen spesifik büyüme hızı grafiği ..... | 45           |
| Şekil 4.14. Borodinelopsis texensis kültürüne ait klorofil-a miktarı grafiği .....   | 47           |
| Şekil 4.15. Borodinelopsis texensis kültürüne ait klorofil-b miktarı grafiği.....  | 48           |
| Şekil 4.16. Borodinelopsis texensis kültürüne ait karotenoid miktarı grafiği .....   | 49           |
| Şekil 4.17. Borodinelopsis texensis kültürüne ait toplam azot miktarı grafiği .....  | 51           |
| Şekil 4.18. Borodinelopsis texensis kültürüne ait toplam fosfor miktarı grafiği .....  | 52           |

## SİMGELER VE KISALTMALAR

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

| <b>Simgeler</b> | <b>Açıklama</b>  |
|-----------------|--|
| <b>%</b>        | Yüzdellik  |
| <b>μ</b>        | Spesifik büyüme hızı   |
| <b>μg</b>       | Mikrogram  |
| <b>C</b>        | Hız (celeritas)  |
| <b>°C</b>       | Sıcaklık (Santigrat)   |
| <b>cm</b>       | Santrimetre  |
| <b>E</b>        | Enerji   |
| <b>g</b>        | Gram   |
| <b>L</b>        | Litre  |
| <b>lt</b>       | Litre  |
| <b>M</b>        | Kütle  |
| <b>mg</b>       | Miligram   |
| <b>mL</b>       | Mililitre  |
| <b>mm</b>       | Milimetre  |
| <b>Mtoe</b>     | Milyon ton eşdeğer petrol (Million Tonnes of Oil Equivalent)             |
| <b>nm</b>       | Nanometre  |
| <b>pH</b>       | Bir Çözeltinin Asitlik Veya Bazlık Derecesini Tarif Eden Ölçü Birimidir. |

## **Kısaltmalar**

## **Açıklama**

**ABD**

Amerika Birleşik Devletleri

**Ark.**

Arkadaşları

**BBM**

Bold Basal Medium

**CCALA**

Culture Collection of Autotrophic Organisms

**FBR**

Fotobiyoreaktör

**OD**

Optical Density

**pvc**

Polivinil Klorür

**rcf**

Rölatif santrifugal

**RGB**

Kırmızı, Yeşil, Mavi

**rpm**

Revolutions per Minute (devir/dakika)

**LED**

Light Emitting Diod (Işık Yayan Diyot)

## 1. GİRİŞ

Mikroalgler, hem karasal hem de sucul çok geniş yaşamsal bir ekosistemde bulunan tek hücreli prokaryotik veya ökaryotik yapıya sahip fotosentetik mikroorganizmalardır. Onlar doğada besin zincirinin ilk basmağı olup sucul ortamda organik madde sentezleyen birincil üreticilerdir. Mikroalglerin hücre bünyesinde yüksek miktarda biriktirdikleri protein, vitamin, yağ asidi, karbonhidrat ve pigment gibi bazı değerli metabolitler; son yıllarda mikroalgal biyoteknolojiye olan ilginin artmasına neden olmuştur.

Günümüzde algler; besin maddesi, mineral kaynağı, hayvan yemi ve gübre üretiminde, atıksu arıtımda, dişçilikte, alkol, ilaç, kâğıt, kauçuk, boya, tekstil, kozmetik, gıda ve deri sanayisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Farklı sanayi alanlarında hammadde olarak kullanılan mikroalgler; açık ve kapalı ortamlarda; sürekli, kesikli veya yarı kesikli işletme şartlarında üretilebilmektedir. Açık sistemler olarak dairesel, eğimli, yarış pisti gibi açık havuzlar örnek gösterilebilir. Kapalı sistemler ise kabarcıklı kolon, hava kaldırmalı kolon, tübüler, düz plaka, fermentör tipindeki fotobiyoreaktörlerdir. Açık sistemlerdeki kontaminasyon riski, biyofilm oluşumu, sıcaklık ve hava gibi bileşenlerin kontrolünün zorluğu, nispeten yüksek biyokütle üretiminin sağlanamaması ve düşük kalitede ürün üretimi gibi faktörler kapalı sistemlerin kullanılmasının önemini ortaya koymaktadır. Fotobiyoreaktörler, katı/sıvı karışımının daha iyi sağlandığı, kontrolü kolay ve ışık kaynağından daha iyi yararlanan ve yüksek verimde biyokütle üretilmesine imkân sağlayan sistemlerdir.

Mikroalgal biyokütle üretimini etkileyen başlıca faktörler ışık, sıcaklık, pH, karıştırma, tuzluluk ve besi ortamı olarak sıralanabilir. Mikroalgler ışık ve karbondioksit kullanarak inorganik karbonu biyoyakıt, gıda, yem ve kozmetik ürünü gibi yüksek değerlikteki organik maddelere çeviren fabrikalardır. Fototrofik şartlar altında yapılan mikroalg yetiştiriciliğinde doğal yâda yapay bir ışık kaynağının kullanılması gerekmektedir. Işığın şiddeti, periyodu ve dalga boyu fotosentetik aktivitenin sürdürülebilmesi için büyük önem taşımaktadır.

Bu tez çalışmasında 1L'lik kabarcıklı kolon tipi fotobiyoreaktörün tasarımı yapılarak RGB LED ışık kaynağı kullanılarak farklı dalga boylarındaki ışığın mikroalg yetiştiriciliğindeki etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca, farklı dalga boylarında yetiştirilen mikroalgler; biyokütle, klorofil-a, klorofil-b ve karotenoid üretimi, azot ve fosfor kullanımı açısından değerlendirilerek en uygun dalga boyunun belirlenmesi hedeflendi.





## 2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ

### 2.1. Enerji Kavramı

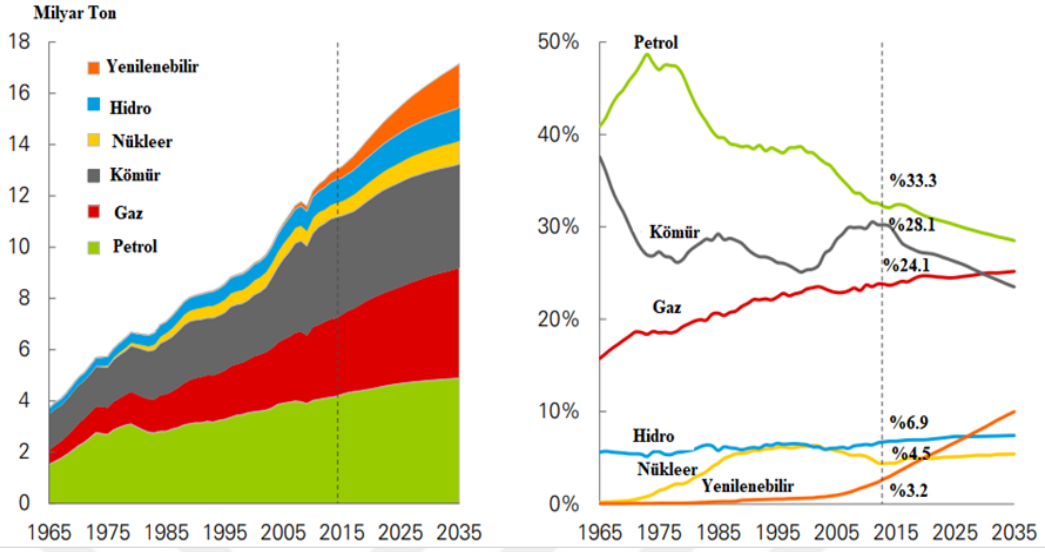
Enerji; çoğunlukla iş yapabilme kabiliyeti şeklinde tanımlanmakta olup, her çeşit hareketin arkasındaki kuvvet olarak kabul edilmektedir. Enerji, çeşitli formlarda kendini gösterebilir ve çok farklı kaynaklardan katı, sıvı ve gaz formunda elde edilebilmektedir (Dresselhaus ve Thomas, 2001). Eski dönemlerde insanlar kendi fiziksel kuvvetlerini kullanarak enerji elde etmeye çalıştılar ancak ilerleyen süreçte hayvanları evcilleştirilerek onların enerjilerinden faydalanmaya başladılar. Dünyadaki teknolojik gelişmeler ve sanayileşme ile birlikte artık insan ve hayvan iş gücünün yerini makineler devralmaktaydı. Buharlı makinelerin keşfedildiği ilk dönemlerde enerji kaynağı olarak odunsu maddeler kullanılsa da ilerleyen yıllarda daha fazla enerji içeriğine sahip olan fosil kaynaklarının bulunması bu tür yakıtların tercih edilmesine sebep olmuştur.

Aslında insanoğlu hayvanları evcilleştirdiğinde hayvansal atıkları kullanarak sürdürülebilir bir enerji kaynağı oluşturmuşlardı. Ancak hızlı nüfus artışı ve sanayi devrimi hayvansal kaynaklı biyoyakıt miktarının karşılayabileceğinden çok daha fazla enerji talebinin ortaya çıkmasına neden olmuştur (Bhattacharyya, 2011).

Dünyada gün geçtikçe artan enerji talebinin karşılanması için başlıca tercih edilen fosil kaynaklı yakıtların aşırı kullanımı sonucunda 1970'lerde büyük bir enerji krizi meydana gelmiştir. Bu yüzden gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler enerji kaynaklarını çeşitlendirmeye ve alternatif enerji kaynakları kullanmaya yönelik arayışlara girmişlerdir. Ayrıca fosil kaynaklı yakıtların kullanımının hava, su ve toprak ortamındaki ekolojik dengeyi bozması ve insan sağlığına zarar vermesinin yanı sıra fosil yakıt rezervinin kısıtlı olması farklı çalışmaların ivme kazanmasına neden olmuştur. Şekil 2.1. de dünyada enerji tüketimi ve tahmini oranları verilmiştir (TP, 2016; Türkyılmaz ve ark., 2017).

Yakıt Türüne Göre Birincil Enerji Tüketimi

Enerji Türlerinin Yakıt Karışımında Payları



Şekil 2.1. Dünyada enerji tüketimi ve tahmini oranları (TP, 2016; Türkyılmaz ve ark., 2017).

## 2.2. Enerji Kaynakları

Birçok ülke artmakta olan enerji talebini karşılamak için öncelikle petrol kökenli enerjilere yönelmişlerdir. Bu kaynaklar, ölmüş canlı organizmaların oksijensiz ortamda milyonlarca yıl süresince dışarıdan hiç bir etkene maruz kalmadan çözünmesi ile meydana gelmiştir (Dresselhaus ve Thomas, 2001). Kullanım amaçlarına göre çeşitli işleminden geçirilen petrolün uçak yakıtı, benzin ve motorin gibi birçok farklı yakıt türü olarak kullanılması mümkündür. Ayrıca günümüzde kullanılan birçok plastik ürün, asfalt, ev izolasyon malzemesi de petrokimya sanayiden elde edilmektedir. Enerji kaynakları yaygın bir şekilde iki ana başlıkta adı altında incelenir bunlardan birincisi kullanışlarına göre ikincisi ise dönüştürülebilirliklerine göre dir. Bu başlıklarda kendi aralarında iki alt bölüme ayrılmaktadır; bunlardan birincisi kullanışlarına göre olan yenilenmez iken, ikincisi ise dönüştürülebilirliklerine göre 1<sup>0</sup> ve 2<sup>0</sup> enerji kaynağı sınıfında gruplandırılır (Koç ve Şenel, 2013; Yağlı ve ark., 2016). Dış çevreden hiç bir etkene maruz kalmamış ve herhangi bir karışıma uğramamış olan enerji, birincil enerji olarak adlandırılmaktadır. İkincil enerji ise birincil enerjinin farklı süreçlerden geçirilerek değişime uğratılması sonucunda elde edilmektedir. Birincil enerji aynı zamanda kısmen yenilenemez enerji kaynağını da kapsamakta olup, bu enerji

kaynaklarının sınırlı olması tükenir olabileceği anlamına gelmektedir. Yenilenemez ve birincil enerji kaynaklarının hızlı bir şekilde tüketilmesi ve rezervlerinin kısıtlı olması gelecekte bu tür enerji kaynaklarının tükenmesine yol açacağı şeklinde yorumlanmaktadır (Bhattacharyya, 2011). Böylece gelişmiş ve gelişmekte olmuş olan birçok ülke stok miktar sorunun olmadığı ve kendi imkânları ile üretebileceği alternatif enerji çeşidi olan yenilebilir enerji kaynaklarına yönelmişlerdir.

### 2.3. Türkiye’de Enerji

Uluslararası Enerji Ajansı’nın 2015 yılı sonu itibariyle yaptığı çalışmalara göre; dünyada küresel ölçekte bakıldığı zaman en fazla enerji tüketildiği ülkeler sıralamasında ilk sıraları 3014 milyon ton eşdeğer petrol ile Çin (% 22.90) almakta ve onu ikinci olarak ardından takip eden 2280 milyon ton eşdeğer petrol miktarı ile ABD (% 17.30) dir Ülkemiz 129.3 milyon ton eşdeğer petrol (% 1) ile 19. sırada yer almakta olup, 2023 yılında tüketimi ise 218 milyon ton eşdeğer petrole varacağı öngörülmektedir (MMO, 2018; ETB, 2016; BP, 2018). Türkiye’de enerji kaynaklarının tüketim dağılımına bakıldığı zaman ilk sırayı petrol alırken yenilenebilir enerji ise sonlarda yer almaktadır. Türkiye’nin enerjiye olan ihtiyacının büyük bir kısmı dışarıdan karşılanmakta ve gelecekte enerji talebinin daha fazla artabileceği varsayılmaktadır. Böylece enerji ihtiyacını karşılayıp giderme noktasında ithalatı azaltarak alternatif enerji kaynakları arayışına girilmiştir. Bu enerji kaynaklarını seçerken; coğrafi konum, yerli imkânların kullanılması, maliyetinin az olması, zehirli gaz salınımının az olması ve sürdürülebilir olması gibi sebepler göz önüne alınmalıdır.

Geçtiğimiz yüzyılda fosil kaynaklı yakıtların aşırı kullanımı doğayı ve insan sağlığını tehdit ederek küresel ölçekte iklim değişikliklerinin meydana gelmesine neden olmuştur. Sanayinin gelişimi ile ilk başlarda daha fazla enerji elde etmek için karbon içeriği yüksek miktarlarda bulunan fosil kaynaklı yakıtlar kullanılmıştır. Fosil kaynaklı yakıtların kullanımı sonucunda karbondioksit ve diğer sera gazlarının atmosfere salınım miktarlarındaki artış, ozon tabakasının önemli ölçüde zarar görmesine neden olmuştur. Sera gazları, dünyaya gelen güneş ışınlarının yerküreden yansıtılarak atmosferi terk edememesi ve bu ışınların yerküreye tekrar yansıtılarak sera etkisinin oluşmasına neden olmaktadır (Aksay ve ark., 2005). Dünyadaki doğal dengenin zarar görmesi, gelişen

teknoloji ve artan nüfus; fosil kaynaklı yakıt rezervlerinin hızla tükenmesine yol açarak devletlerin ve büyük şirketlerin alternatif enerji kaynaklarına bakış açısını değiştirmiştir. Var olan enerji kaynaklarının yerini almasını düşünülen çeşitler; hidroelektrik, jeotermal, rüzgâr, güneş, hidrojen, biyokütle ve biyogaz olarak sıralanabilir (Çanka Kılıç, 2011). Şekil 2.2. de dünyadaki fosil kaynaklı yakıtların rezerv miktarları ve kalan ömürleri verilmiştir (BP, 2018; ETB, 2016).



Şekil 2.2. Dünyadaki fosil kaynaklı yakıtların rezerv miktarları ve kalan ömürleri (BP, 2018; ETB, 2016).

#### 2.4. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Geçtiğimiz yüzyılda enerji krizinin patlak vermesinden sonra enerjiyi ithal eden birçok ülke enerji elde etme arzında sorunlar yaşamaya başlamıştır. Bu ülkeler dışa olan bağılıklarını azaltma ve ihtiyaçlarını giderme noktasında yeni politikalar geliştirmişlerdir. Yenilenebilir enerji; doğal ortamdaki enerji akışıyla sürekli olarak kendisini yenileyen kaynaklardan elde edilen enerji türüdür (Dresselhaus ve Thomas, 2001). Fosil kaynaklı enerji çeşitlerine nispeten doğal bir şekilde yenileyebilmesi, kalitesinde bir azalma olmaması ve ayrıca bir çok yenilebilir enerjinin tükenme ihtimalinin az olmasıdır (Amponsah ve ark., 2014; Singh ve ark., 2014). Yenilenebilir enerji kaynakları, kullanım hızına bağlı olarak kendini yenileyebilen ve diğer enerji kaynaklarına göre daha geniş bir ürün yelpazesine sahiptir. Güneş enerjisi; güneşte meydana gelen patlamalardan oluşan enerjiden elde edilmekte olup, güneş ışığının ve

ısının dünya atmosferinden geçerek yerkürede mevcut olan toplayıcılara yansımından sonra çeşitli yöntemlerle dönüştürülerek kullanılabilen bir enerji kaynağıdır (Çukurçayır ve Sağır, 2007). Rüzgâr enerjisi; hareket halindeki hava akım faaliyetlerinin sonucunda ortaya çıkan enerji şeklinde kabul görülmektedir (Çukurçayır ve Sağır, 2007). Hidrolik enerjisi; suyun sahip olduğu potansiyelden yararlanıp farklı işlemlerden geçirilerek kinetik enerjiye çevrilmesinden sonra meydana gelen enerjinin bir çeşididir (Çukurçayır ve Sağır, 2007). Jeotermal enerjisi; yerkabuğunun alt kısımlarında bulunan ısının yeryüzünün derinliklerinde bulunan suları ısıtması sonucunda ısınmış olan suların yer kürenin üst kısımlarına çıkması ile oluşan enerjidir (Çukurçayır ve Sağır, 2007). Dalga enerjisi; hava akımlarının oluşarak deniz ve okyanus gibi etkenlerin yüzeyindeki su hücrelerini hareket ettirmesi ile ortaya çıkmış olan dalgalanmalardan elde edilen enerji türüdür (Çukurçayır ve Sağır, 2007). 2016 yılı global yenilenebilir enerji raporundan alınan verilere göre yenilenebilir enerjini tüketim oranı % 23.70 olarak verilmiştir. Bu raporda aynı zamanda yenilenebilir enerji çeşitlerinin tüketim paylarından da bahsedilmekte; hidroelektrik% 16.40, rüzgâr % 3.70, biyoenerji % 2.00, güneş % 1.20, jeotermal ve diğerleri % 0.40 olarak ifade edilmektedir (REN21, 2016).

## 2.5. Biyokütle Kaynakları

Biyokütle; bir türden yâda farklı türlerden oluşarak bir araya gelen organizmaların belirli bir süre sonra ihtiva ettikleri organik madde kütesidir (Küçükkaya, 2017). Biyokütle enerjisini elde edebilmek için daha önceden meydana gelmiş olan organik madde kütlelerini çeşitli yöntemler ile dönüşüme uğratarak üretilebilmektedir. Biyokütle enerjisi her türlü bitki ve hayvanların parçalarından oluşabilir. Dünyanın gelişimi ile biyokütle elde etmek için kullanılan hammaddelerde değişmektedir. Örnek olarak kentsel atıklar bunlara verilebilir (Oberberger ve Thek, 2004; Kumar ve ark., 2009). Biyokütleden her türlü sıvı ve gaz yakıt çeşitleri üretilebilir (Pragya ve ark., 2013). Biyoyakıt hammaddesi olarak; karbonhidrat bileşiklerini içeren hayvansal ve bitkisel kaynaklı tüm organik maddeler kullanılabilir. Biyoyakıt hammaddelerini üç grup altında incelemek mümkündür. Bunlar; 1. 2. 3. nesil şeklinde söylenebilir (Rashid ve ark., 2014). Biyokütle üretiminde kullanılan bu üç gruptaki ham

maddeler; 1. nesil için badem, arpa gibi bitkisel kaynaklı ürünler; 2. nesil için hayvansal kalıntılar ve evsel kullanılan atıklar ve 3. nesil için mikroorganizmalar tarafından üretilen biyokütle olarak sıralanabilir (Rashid ve ark., 2014). 3. nesil biyokütle hammaddesi olarak genellikle mikroalgler tercih edilmektedir. Buna sebep olarak ise düşük alan ihtiyacı, yüksek biyokütle üretim verimi, doğal ortama uyum sağlaması, ozon tabakası incelmesini azaltması gibi önemli avantajlar sayılabilir (Siaut ve ark., 2007).

## 2.6. Mikroalg

Algler; dünyada nehir ve denizlerden tatlı su kaynaklarına, çöl kumlarından sıcak su kaynaklarına, kar ve buz gibi yeryüzünün hem sucul hem de karasal ekosistemlerinde bulunmakta ve bir çoğunun asıl yayılım alanı ise sulardır (Zhu, 2015). Algler boyutsal olarak mikro ölçekten 50 metrelik dev deniz yosunlarına kadar değişebilmektedir. Genel anlamıyla yapıları incelendiğinde tek hücreli veya basit çok hücreli yapılarıyla hızlı bir biçimde büyüebilmektedir (Mata ve ark., 2010). Ayrıca değişebilen yaşam koşullarına adapte olarak yaşamsal faaliyetlerini sürdürebilen prokaryotik yâda ökaryotik mikroorganizmalardır (Mata ve ark., 2010). Siyanobakterilerin milyonlarca yıl önce ekosistemimizde var olduğu tahmin edilmekte ve en eski yaşam formu olarak kabul görülmektedir. Bilim insanları bunu şu şekilde yorumlamakta; dünyanın ilk var olmasından itibaren karbondioksit ve zararlı gazların dünya atmosferinden kendi bünyesine alarak oksijene dönüştüren canlıya “Stromatolit” diye adlandırmaktadır.

Stromatolit olduğu düşünülen canlı sığ sularda oluşan tabakalı tepecik yapıları ile en az 3.70 milyar yıl önce ortaya çıktığı düşünülmektedir. Stromatolitleri oluşturduğu düşünülen mavi ve yeşil renkli algler (Siyanobakteri) olduğu düşünmekte olup, güneş ışığından faydalanarak fotosentez yoluyla oksijen üretebildikleri tahmin edilmektedir. Farklı kaynaklarda ise Siyanobakterileri önceleri mavi-yeşil algler olarak nitelendirmişler ve mikroalglerin içine katarak bunu da şu şekilde açıklamaktalar; bazı fizyolojik aktivitelerin aynı olmasının yanı sıra üretim prosesinde de benzer şekilde yapılmış olmasından kaynaklanmaktadır (Nutman ve ark., 2016).

Alglerden oluşan prokaryotik ve ökaryotik mikroorganizmaların fotosentez yapabilme kabiliyetine sahiplerdir (Mata ve ark., 2010). Mikroalgler ve siyanobakteriler plankton oluşturabilirken bu ismi 1887 yılında Alman bilim insanı Victor Hensen ortaya atmıştır. Plankton; nehir, göl, deniz ve okyanus gibi suyun yüzeyinde veya iç kısımlarında askılı halde kalabilen canlılar olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca sınıflandırılmalarını yapacak olursak fitoplankton ile zooplankton şeklinde adlandırılmaktadır (Koray, 2002). Fitoplankton türleri küçük boyutta bulunmalarından dolayı mikroalg türleri de denilebilmekte ve sınıflandırılmaları yapılırken hücre morfolojileri, bulundurdukları pigment maddelerine ve çoğalma gibi özelliklerinden faydalanılır (Şahin ve Akyurt, 2010).

Birçok canlının yaptığı gibi alglerde soylarını devam ettirebilmek için çoğalmaları gerekmekte ve bunu üç değişik şekilde yapmaktalar; vejetatif, eşeyli ve eşeysiz üreme olup, bunların arasında en yaygın olan üreme ise vejetatif üremedir. Alg sistematığının alt gruplarını belirlerken, fotosentetik pigmentlerin kombinasyonuna, depo olarak ürünlerin kimyasal birleşenleri ve algal hücre duvarlarının yapısal çeşitliliğinden yararlanılarak 6 kısma ayrılmıştır; Euglenophyta (öglenoidler), Chlorophyceae (yeşil algler), Phaeophyceae (kahverengi algler), Pyrrophyceae (dinoflagellatlar), Rhodophyceae (kırmızı algler) ve Chrysophyceae (sarı-yeşil algler) şeklinde tanımlayabiliriz (Guschina ve Harwood, 2006).

Chlorophyta (Mavi-Yeşil algler): Mavi-Yeşil algler evrensel bir biçimde en eski yaşam formu ile bitkilerin atası olarak yorumlanmakta ve kimyasal formülü kaynaklarda  $CO_{0.48}H_{1.83}N_{0.11}P_{0.01}$  şeklinde geçmekte olup, başka kaynaklarda ise  $C_{106}H_{181}O_{45}N_{16}P_1$  ifade edilmektedir (Singh ve ark., 2011; Medeiros ve ark., 2015; Xu ve ark., 2014). Ayrıca birçok farklı çeşitte bulunabilmekte ve metabolizmalarının aynı olmalarına rağmen yapılan bilimsel çalışmalar sonucunda mikroalglerin 50.000'den fazla türün var olduğunu tahmin edilmekte, ancak bunlardan sadece sınırlı sayıda olan yaklaşık 30.000'e yakın tür belirlenebilmiştir (Mata ve ark., 2010).

Mikroalgler hakkında literatür incelemelerinde bir çoğunun biyokimyasal yapısının, çoğunlukla türe ve kültür ortamında yetiştirmelerinden kaynaklanmış olan değişiklikler görülmektedir (Zhu, 2015). Bazı birkaç mikroalg çeşitlerinin biyopolimerlerinin yüzdelik oranları Çizelge 2.1. de gösterilmiştir (Elcik ve Çakmakçı, 2017).

Çizelge 2.1. Bazı mikroalg çeşitlerinin biyopolimerlerinin yüzdelik oranları (Elcik ve Çakmakçı, 2017).

| Mikroalg                        | Bileşenler (% kuru ağırlık olarak) |         |       |
|---------------------------------|------------------------------------|---------|-------|
|                                 | Karbonhidrat                       | Protein | Lipit |
| <i>Chlorella vulgaris</i>       | 6-10                               | 25-30   | 30-40 |
| <i>Scenedesmus obliquus</i>     | 10-17                              | 50-56   | 12-14 |
| <i>Spirulina platensis</i>      | 8-14                               | 46-63   | 4-9   |
| <i>Pavlova lutheri</i>          | 11.70                              | 28.80   | 37.00 |
| <i>Isochrysis sp.</i>           | 26.70                              | 21.50   | 31.9  |
| <i>Prymnesium parvum</i>        | 25-33                              | 28-45   | 22-38 |
| <i>Dunaliella salina</i>        | 32 .00                             | 57.00   | 6.00  |
| <i>Porphyridium cruentum</i>    | 40-57                              | 28-39   | 9-14  |
| <i>Chlamydomonas reinhardii</i> | 17.00                              | 48.00   | 21.00 |
| <i>Chlamydomonas sp. JSC4</i>   | 33.20                              | 17.90   | 41.10 |

Mikroalglerin biyokimyasal yapısı yağlar (% 4-55), karbonhidratlar (% 6-57), proteinler (% 10-63) olmasının yansira farklı bileşenlere de sahip olmaktadır (Becker, 2007; Miao ve Wu, 2004; Yeh ve ark., 2010; Hariskos ve Posten, 2014). Bunun ile birlikte biyokimyasal yapısını etkileyen etkenler; türe, çevresel koşullara ve kültür ortamında kullanılan besleyici elementler neden olabilmektedir (Zhu, 2015). Bilim insanlarının son yıllarda mikroalglerle ilgi yapmış oldukları çalışmalar ise; (Cohn, 1850) tarafından *Haematococcus pluvialis* mikroalg türü kullanılarak ilk kültür ortamı hazırlanmıştır. (Beijerinck, 1890) tarafından *Chlorella vulgaris*'in türü ile agarda ekim yaparak modern mikroalg kültür çalışmasını yapmıştır. (Oswald ve Golueke, 1960) Amerikalı bilim insanları biyokütle üretimi ve atıksu arıtımı alanında fototrofik



mikroalgleri üreterek temel kültür özelliklerini inceleyip çalışmalar yapmışlardır. Algleri daha fazla araştırarak sahip olduğu avantajlarından (fotosentetik verim, üretiminde az alan ihtiyacı gibi) yararlanılması ve mikroalg türünün kimyasal yapıları ile metabolizmaları üzerindeki çalışmalar devam etmektedir. Bunların yanında mikroalgler saatler içerisinde bölünerek çoğalabilmeleri ve yıl boyunca üretilibilmelerinin yansira hücrelerinde bulundurdıkları; protein, yağ asitleri, karbonhidrat, pigment, antibiyotik ve daha birçok metabolitleri sebebiyle insanlar tarafından farklı amaçlar doğrultusunda tercih edilerek kullanılmaktadır. İnsanoğlu, mikroalgleri üreterek ve biyoteknolojik imkânlardan faydalanarak farklı ticari alanlarda biyoyakıt, gıda, kozmetik ve farmasötik endüstrisi gibi uygulamalar için geliştirilmiştir. Fotosentetik canlı olan mikroalgler, güneş ışınlarını en efektif bir biçimde kullanılması ile az alanda yüksek verimde biyokütle elde edilebilmektedir. Ayrıca mikroalglerin bazı türleri yüksek miktarda lipitler ihtiva ettiğinden dolayı çeşitli yöntemler uygulanarak biyodizel, biyo-metan, biyoetanol ve biyohidrojen gibi biyoyakıtlara dönüştürülebilir (Pragya ve ark., 2013). Mikroalglerden üretilen ve ticari amaç doğrultusunda kullanılan ürünler Çizelge 2.2. de verilmiştir (Elcik ve Çakmakçı, 2017).

Çizelge 2.2. Mikroalgler kökenli ticari amaç doğrultusunda kullanılan ürünler (Elcik ve Çakmakçı, 2017).

| Sektör                 | Kullanım alanları   |
|------------------------|---|
| Gıda                   | Beslenme yetersizliği yaşayan insanlar için protein ilavesi   |
| Yem                    | Kümes, küçük ve büyükbaş hayvanlara beslenmeye ek protein ve vitamin ilavesi  |
| Terapötik              | Cilt kanserinin tedavisinde $\beta$ -karoten kullanılmaktadır.  |
| Pigmentler             | B-karoten ve fikobilin gıda renklendiricisi olarak kullanılmaktadır. Fikobilinler teşhis kiti, kozmetikte ve analitik ayıraç olarak da kullanılmaktadır.  |
| Kimyasal Kaynak Olarak | Gliserol gıda, içecek, farmasötik, kozmetiklerde kullanılmaktadır. Yağ asitleri, yağlar, steroller, hidrokarbonlar, enzimler, aminoasitler, vitamin C ve E, polisakkaritler ve vakslar iyon değiştirici ve yapıştırıcı olarak kullanılmaktadır. |
| Yakıtlar               | Hidrokarbonlar, hidrojen, metan ve yanabilir yağlar   |
| Diğerleri              | Organik gübre, toprak iyileştiricisi, atık arıtımı  |

## 2.7. Mikroalg Üretimine Etki Eden Faktörler

Algal biyoteknoloji alanındaki ilerleme ile mikroalgleri hızlı ve güvenilir bir şekilde en verimli şartlarda üretim arayışlarına girmişlerdir. Mikroalgler yaşamlarını sürdürebilmeleri için çevre ve işletme parametreleri gibi etkenler ile sıkı bir iletişim halindedirler (Mata ve ark., 2010). Mikroalglerden en efektif biyokütle üretilebilmek için birkaç faktör sıralayacak olursak; sıcaklık, tuzluluk, ışık, pH ve besin maddesi gibi etkenler neden olabilmektedir (Chisti, 2007; Zhu ve ark., 2013; Blanken ve ark., 2013; Hidaka ve ark., 2014; Samori ve ark., 2013).

### 2.7. 1. Sıcaklık

Çevresel faktörlerden biri olan sıcaklık mikroalglerin üretiminde biyokimyasal (hücre morfolojisini, metabolizmasını ve fizyolojisini) gibi reaksiyonları önemli ölçüde etkileyen bir parametredir (Raeesossadati ve ark., 2014). Fitoplankton kültürlerinden biri olan mikroalg türleri doğada kaynar sulardan buzullara kadar çok çeşitli sıcaklıklarda hayatını sürdürebilmektedir. Ancak her canlı gibi birçok mikroalglerinde sağlıklı bir şekilde yaşamsal faaliyetlerini yerine getirebilmesi için sıcaklık faktörünün belirli bir aralıkta olması gerekmektedir. Bir çok mikroalgin sağlıklı bir biçimde gelişimini tamamlaya bilmesi için uygun sıcaklıklarının 20-30 °C arasında olup, üretimi yapılacak olan mikroalg türünün optimum sıcaklığına dikkat edilmesi gerekmektedir (Chisti, 2007; Wang ve ark., 2008). Aksi taktirde sıcaklık 16 °C'nin altına düştüğünde büyümeyi inhibe ederek üremeyi yavaşlatır, 35 °C den yüksek sıcaklıklara çıktığında zaman ise çoğunlukla metabolizmasını ve fizyolojisini etkiler, böylece solunum hızını artırarak biyokütle kayıplarını neden olabilmektedir (Muñoz ve Guieysse, 2006; Kumar ve ark., 2010; Rashid ve ark., 2014).

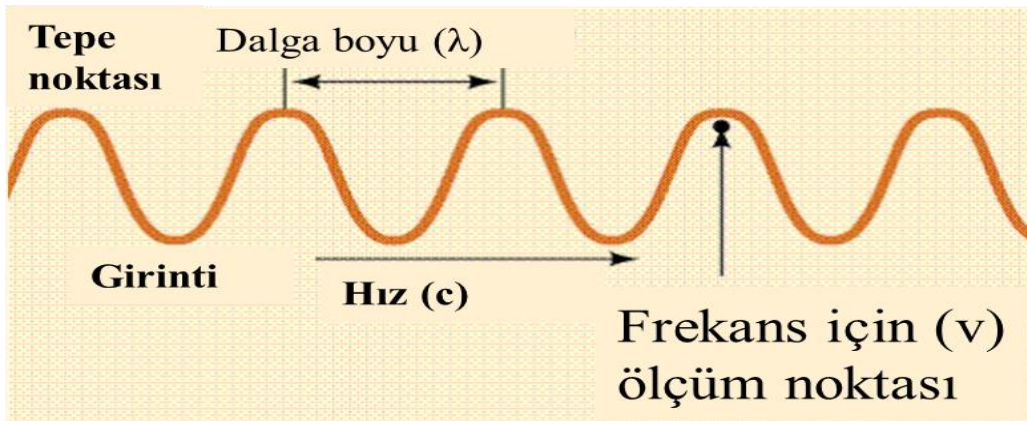
### 2.7. 2. Tuzluluk

Mikroalglerin büyümesini, metabolizmasını ve canlılığını devam ettirebilmesinin yansira biyokütle üretiminde etkileyen önemli bir ekolojik faktör ve değişken olarak tuzluluk gösterilmektedir (Rashid ve ark., 2014; Schenk ve ark., 2008).

Bazı mikroalg türleri tuzluluk değişimlerini iyi bir biçimde tolerans edebilmektedir. Her etken gibi tuzluluğunda birçok mikroalgin uygun yetiştirme oranı değişebilmektedir (Mata ve ark., 2010).

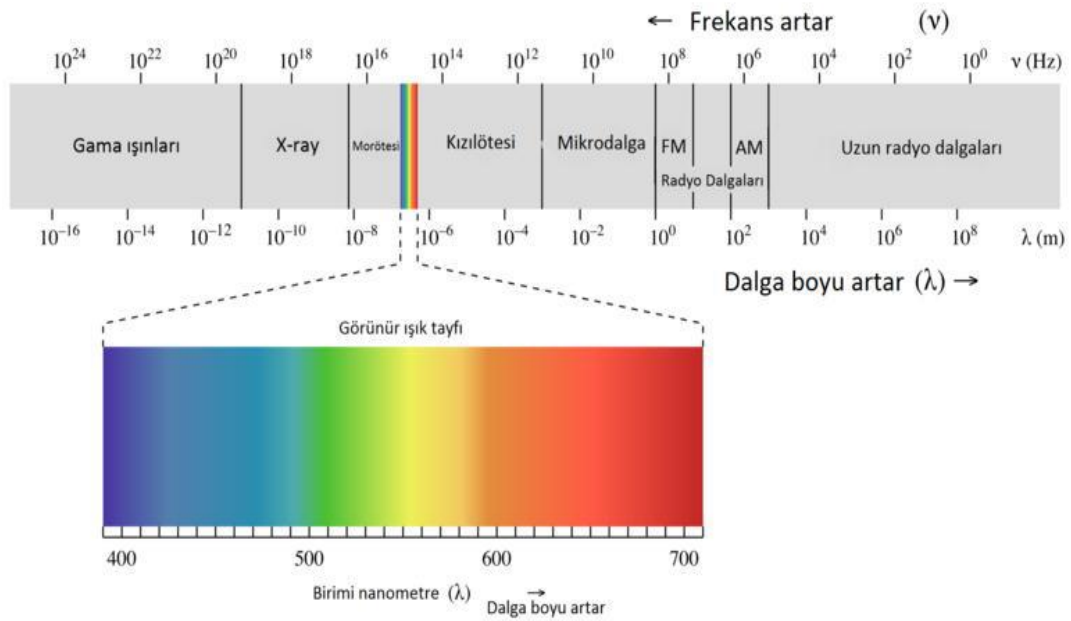
### 2.7. 3. Işık

Hangi ortamda olursa olsun işık, gece (Ay'dan), gündüz (Güneş'ten) ve aydınlatma araçları gibi kendiliğinden yaymış olduğu işığın cisimlere veya maddelere çarpması ile yansımaların oluşması sonucunda canlıları, nesnelere ve renkleri görmeyi sağlayan olgu olarak kabul görmekte ve  $C$  ile ifade edilmektedir (Mahir, 2015). Ayrıca Yunancada hız (celeritas) anlamına gelen bu terim Einstein tarafından 'uzayda işık hızına yakın olarak hareket edip yayıla bilen bir çeşit dalga' olarak ifade edilmekte ve  $E=mc^2$  kütle-enerji eşdeğerliği formülü ile açıklanmaktadır. Işık ta diğer elektromanyetik spektrumlar (EMI) gibi foton (dalğaların ve parçacıkların) olarak adlandırılmaktadır (Kalkan, 2019). Dalğaları nitelendirilecek olursak iki önemli etkeni vardır. Bunlardan; ilki olan dalga boyu ise iki dalga boyunca kalmış olan tepelerin arasındaki uzak mesafeye denk gelmekte, ikincisi olan frekans ise buda birim zamanda almış olduğu salınım sayısı şeklinde ifade edilmekte ve bu ikisinin çarpımı ile uzaydaki işık hızını yayılımını vermektedir (Carvalho ve ark., 2011). Dalga boyunun yapısı şekil 2.3. te verilmiştir.



şekil 2.3. Dalga boyunun yapısı (Carvalho ve ark., 2011).

Işıklar tarafından yansıtılan ve bu ışınların dalga boyu ile frekanslarına göre dizilerek elde edilen şemaya elektro manyetik tayf denilmekte ve bunun içerisinde görünür ışık ise (400 nanometre ile 800 nanometre (kızıl ötesi ışık yakını) ) dalga boyu ile bu kısımda yer almaktadır. Görülebilir ışık insanlar ve bir çok canlı çeşidi tarafından algılanmakta ve fotosentetik canlılar için bir enerji kaynağı olmaktadır (Carvalho ve ark., 2011). Işınların dalga boyu ve frekanslarına göre dizilimi Şekil 2.4. de gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Işınların dalga boyu ve frekanslarına göre dizilimi (Carvalho ve ark., 2011).

Fotosentetik mikroorganizmalardan biri olan mikrolagler yaşamsal aktivitelerini (hücrenin kompozisyonu ile gelişimi, biyokimyasal ve fizyolojik aktiviteleri) yerine getirebilmesi için ışık önemli bir etkidir ve kontrol altında tutulması gereken bir faktördür. Işığı kullanarak fotosentez yolu ile inorganik maddeleri organik yapılmış maddelere dönüştürülebilmektedir. Böylece bu çeşit reaksiyonların gerçekleşebilmesi için ışığın en uygun seviyede (yoğunluğuna, şiddetine, spektrum kalitesine ve aydınlatma süresine) olması sağlanmalıdır (Mahir, 2015). Ayrıca mikroalg üretiminde büyütülme yapılan kabın derinliğine ve konsantrasyonu gibi etkenlere' de bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bunun yansısı ışık yoğunluğundaki değişimler ile farklı mikroalg türlerinin üretiminde elde edilen pigmentlerin etkilenerek bunların artması yâda azalmasına sebep olmaktadır. Mikroalg üretiminde aydınlık/karanlık döngü (saat) ve

aydınlatma şiddeti ( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) etkisi Çizelge 2.3. te gösterilmiştir (Elcik ve Çakmakkı, 2017).

Çizelge 2.3. Mikroalg üretiminde aydınlık/karanlık döngü (saat) ve aydınlatma şiddetinin ( $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ ) etkisi (Elcik ve Çakmakkı, 2017).

| Mikroalg                          | Aydınlık/karanlık döngü (saat) | Aydınlatma şiddeti ( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) |
|-----------------------------------|--------------------------------|--|
| <i>Chlorella vulgaris</i>         | 14/10                          | 250  |
| <i>Tetraselmis suecica</i>        | 12/12                          | 125  |
| <i>Phaeodactylum tricorutum</i>   | 12/12                          | 125  |
| <i>Chlorococcum sp. RAP-13</i>    | 13/11                          | 40   |
| <i>Scenedesmus obliquus</i>       | 14/10                          | 250  |
| <i>Desmodesmus sp. EJ9-6</i>      | 15/9                           | 120  |
| <i>Nannochloropsis oculata</i>    | 24/0                           | 150  |
| <i>Cheatoceros sp.</i>            | 16/8                           | 40   |
| <i>Spirulina platensis</i>        | 12/12                          | 27   |
| <i>Botryococcus braunii-TN101</i> | 16/8                           | 30   |

#### 2.7. 4. pH

pH, mikroalgler ile siyanobakterilerin metabolik faaliyetlerini etkileyen bir parametredir. Birçok canlının yaşamsal aktivitelerini (besin ihtiyacının giderilmesi ve çoğalma gibi) gerçekleştirebilmesi için özellikle belirli bir pH aralığında olması gerekir (Rashid ve ark., 2014). Ekseriyetle alg türlerinin gelişebilmesi için uygun olan pH aralığı 7 ile 9 arasında kalmalıdır (Lavens, 1996). Ancak en verimli bir biçimde inkişaf edebilmesi için pH aralığının 8.2-8.7 arasında değişebilmektedir (Katarzyna ve ark., 2015). pH belirlenen aralıkların dışına çıkarsa algler inhibeye uğrayarak sterse girmesi ile ölümüne neden olur. Bunun önlenmesi için ortamdaki pH iki şekilde ayarlaya

biliriz ilk olarak ortamdaki pH yükseltilmesi gerekiyorsa bunun için ortama karbondioksit ve nitrat verilmeli, ikinci olarak ise pH'ın düşürmesi gerekiyorsa bunu' da yapmak için amonyak aktarımı ile olur (Rashid ve ark., 2014).

### 2.7. 5. Besin faktörleri

Mikroalglerin fototrofik olarak yetiştirilmesinde vitaminlerin yansıra 50 nin üzerinde elementin gerekli olabileceği saptanmıştır (Rashid ve ark., 2014). Bu elementler mikro olabildiği gibi makro da olabilir. Makro elementlerden biri olan azot, kültürün büyümesini, çoğalmasını ve diğer fizyolojik faaliyetler için ihtiyaç duyulan ana maddelerden bir tanesidir (Rashid ve ark., 2014). Mikroalgler azotu farklı şekillerde kullanmakta olup, bu azot kaynaklarını hangi formda kullanacağı ise türe göre değişiklik göstermesinin yansıra yaygın bir biçimde amonyumu tercih etmekte ve sıralama olarak ise amonyum > üre > nitrat > nitriti kullanırlar (Zhu ve ark., 2013). Makro nutrientlerden biri olan fosfor, mikroalglerin büyümesini, çoğalmasını, metabolik faaliyetlerde ve bazı yapısal fonksiyonel faaliyetleri için ihtiyaç duyulan ana etkenlerden bir tanesi olup, temel hücre bileşenleri içinde bulunabilirler (Ruiz-Martinez ve ark., 2014; Singh ve ark., 2015). Fosfor kültür ortamında fosfor tuzları olarak bulunulmasının yanında tampon özelliğinden faydalanılarak ortamın pH dengesinin ayarlanması sağlamaktadır (Razzak ve ark., 2013; Ruiz-Martinez ve ark., 2014; Singh ve ark., 2015).

### 2.7. 6. Havalandırma/Karıştırma

Karıştırma, mikroalglerde büyümeyi etkileyen önemli parametrelerden bir olarak gösterilmekte olup, en verimli bir biçimde karıştırma ile ışık, sıcaklık ve gazların (O<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub>) ortama homojen bir şekilde dağılması yapabilmektedir (Rashid ve ark., 2014; Mata ve ark., 2010). Mikroalglerin sedimentasyonunu önleyerek, besin maddelerinden eşit bir şekilde dağılmasını sağlaması ile yoğun ortamdaki tüm bireylerin ışığı en etkin olarak faydalanmalarını sağlamaktadır (Lakaniemi, 2012). Ayrıca popülasyondaki tüm hücrelerin, sıcaklık katmanlaşmasını, kültür içerisindeki karanlık bölge ve anaerobik bölgele oluşumunu engellemektedir (Mata ve ark., 2010; Eriksen, 2008).

## 2.8. Mikroalg Üretim Sistemleri

Mikroalg üretimi yaygın olarak iki şekilde yapılabilmekte bunlar ise açık ve kapalı sistemler olmaktadır (Suali ve Sarbatly, 2012; Bahadar ve Bilal Khan, 2013). Açık sistemler dış etkenlere maruz kalarak gelişimini sağlar mikroalg üretim tipleri ise dairesel, eğimli, yarış pisti gibi açık havuzlarda gerçekleşmektedir (Suali ve Sarbatly, 2012). Kapalı sistemler ise dış ortamdaki çevresel faktörlerden etkilenmeden çoğalması sağlanabilmektedir. Mikroalg üretim tiplerinden bahsedecek olursak tübüler, hava kaldırmalı, düz plaka, fotobiyoreaktörlerde gerçekleşmektedir (Bahadar ve Bilal Khan, 2013). Mikroalg üretim sistem seçilirken mikroalg türünün en verimli ve ona uygun olarak avantaj ve dezavantajlarına bakılarak tercih edilebilir.

### 2.8.1. Açık sistemler

Mikroalg üretiminde açık kültür sistemleri, tanklar, karıştırılmayan büyük havuzlar, eğimli sistemle ve doğal göller şeklinde sınıflandırılabilir (Suali ve Sarbatly, 2012). Mikroalg üretimi yapılacak olan dış mekân havuzların derin, sığ ve sirküler olarak basit tarzda tasarlanarak inşa edilmeleri ve işletmelerinin kolay olmasının yanında geniş çapta mikroalg üretimi yapılacaksa bazı temel mühendislik bilgilerinden yararlanılmalıdır. Bu sistemlerde üretilen mikroalglerin ekolojik etkenlere maruz kaldığında toleransı yüksek ve kontaminasyon risklerine karşı dirençli olanlar için üretimi uygundur (Bahadar ve Bilal Khan, 2013). Ayrıca bu sistemlerde buharlaşmadan kaynaklanan büyük ölçekte su kaybı ve karbondioksiti etkin bir şekilde kullanamadığından dolayı biyokütle üretiminde sınırlı olması muhtemeldir (Rawat ve ark., 2013). Mikroalg üretiminde açık kültür sistemleri Şekil 2.5. te gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Mikroalg üretiminde açık kültür sistemleri (Yalçın, 2018).

### 2.8.2. Kapalı kültür sistemleri

Mikroalg üretiminde kapalı kültür sistemleri, torbalar, tanklar, fotobiyoreaktörler ve hava kaldırma sistemler örnek verilebilmektedir (Bahadar ve Bilal Khan, 2013; Khan ve ark., 2009). Mikroalg üretimi yapılan sistemlerin dış etkenlere maruz kalmadan gaz alışverişini keserek kontaminasyon olma ihtimalini azaltmakta ve yüksek yoğunlukta gelen ışığı en etkin bir şekilde kullanarak üretim verimini artırmaktadır (Brennan ve Owende, 2010). Ayrıca kültür ortamının kontrol edilmesi kolaylaşarak çevresel faktör riskinin azalması ile çok farklı türlerin üretilebileceği, elde edilen ürünün kalite ve veriminin artması yansira dış ortamda kurulan kapalı biyoreaktörlerinde güneş ışınlarını kullanabilir olma özelliği vardır (Khan ve ark., 2009). Biyoreaktör çeşitlerinden biri olan fotobiyoreaktörün ticari üretim verimi yüksek olmasının yanında hem tercih edilmekte hem de farklı değerli ürünlerinin kolay bir şekilde elde edilmesinde dolayı giderek ilgi artmaktadır. Fotoototrofik canlının yaşamsal faaliyetlerini yerine getirebileceği ve fotobiyolojik reaksiyonların olabileceği reaktörlere fotobiyoreaktörler olarak adlandırılmaktadır (Bahadar ve Bilal Khan, 2013).

Kapalı sistemlerde mikroalg üretiminde fotobiyoreaktörler tercih edilmekte olup, bu sistemlerin çok çeşitli tasarımlarının olması, dış mekanlar da kullanım kolaylığı, çevresel etkenlere maruz kalmayarak kontamine olma riskinin az olması, sürekli dolaşımı sağlanması, ucuz ve kolay bir şekilde elde edilebilir olmasıdır (Bahadar ve Bilal Khan, 2013). Ayrıca dış mekanlar da üretimin verimini artırmak için tasarlanmış olan fotobiyoreaktörleri diğer sistemlere göre güneş enerjisinin yüksek seviyeli ışıklardan en verimli şekilde kullanan sistemlerdir (Brennan ve Owende, 2010).



Tasarlanmış olan bu modellerde mikroalg üretiminden elde edilen, değerli ürünlerin diğer sistemlere oranla verimi artarak çoğalması ile ticari amaçlar doğrusunda kullanılmaktadır. Fotobiyoreaktörlerde üretilen mikroalglerin ışık yoğunluğu, sürekli dolaşım olanağı, aydınlık/karanlık döngüsü ve kültür ortamına ( $O_2$  ve  $CO_2$ ) homojen dağılımın sağlanması yanında kontrollü işletme şartlarını etkin olarak kullanılmaktadır (Demirbas, 2010). Fotobiyoreaktörlerin üretimi için pleksiglas malzemeler kullanılmakta ve bu malzemeleri basit, ucuz ve kolay bir şekilde elde edilmekte olup, açık sistemlere nispeten su ve kimyasal tasarrufu sağlamaktadır (Bahadar ve Bilal Khan, 2013). Mikroalg üretiminde kapalı kültür sistemleri Şekil 2.6. da gösterilmiştir (Yalçın, 2018).



Şekil 2.6. Mikroalg üretiminde kapalı kültür sistemleri (Yalçın, 2018).



### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

Bu tez çalışmasında tasarlanmış olan 1 L hacimdeki silindirik yapıdaki kabarcıklı kolon fotobiyoreaktör akrilikten yapılmış olup, farklı dalga boylarında (kırmızı, yeşil, mavi, sarı, turuncu, koyu mavi, beyaz ve mor) ışıklar içinde led rgb kullanılmıştır. Mikroalg türü olarak ise *Borodinellopsis texensis* materyal olarak seçilmiştir.

##### 3.1.1. Mikroalg türü (*Borodinellopsis texensis*)

*Borodinellopsis texensis* ilk kez 1971 yılında, B.C.Parker ve R.M.Brown ikisi birlikte ABD ve Texas' daki tatlı sular ile nemli topraklarda yapmış oldukları incelemeler sonucunda elde etmişlerdir (Algaebase, 2019). *Borodinellopsis texensis* mikroalgin sistematigindeki konumu ve taksonomik yapıları Şekil 3.1. de sınıflandırılmıştır (Algaebase, 2019).

**Empire** Eukaryota

**Kingdom** Plantae

**Subkingdom** Viridiplantae

**Infrakingdom** Chlorophytainfrakingdom

**Phylum** Chlorophyta

**Subphylum** Chlorophytina

**Class** Chlorophyceae

**Order** Chlamydomonadales

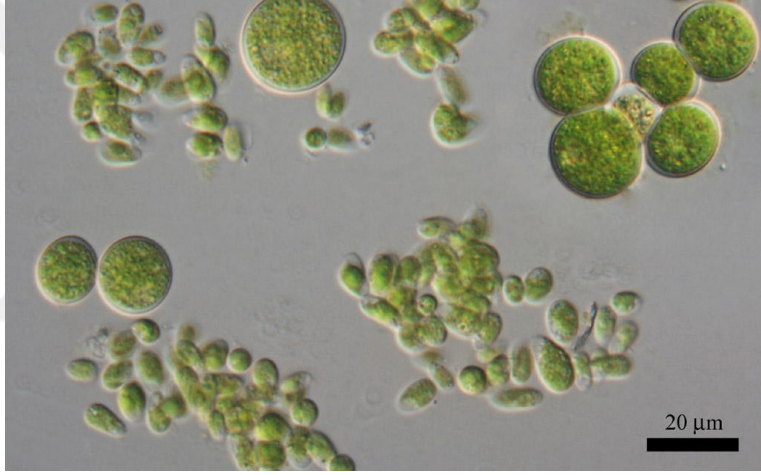
**Family** Chlorococcaceae

**Genus** *Borodinellops*

Şekil 3.1. *Borodinellopsis texensis* mikroalgin sistematigindeki konumu ve taksonomik yapıları (Algaebase, 2019).

### 3.1.1.1. *Borodinellopsis texensis*' in elde edilmesi

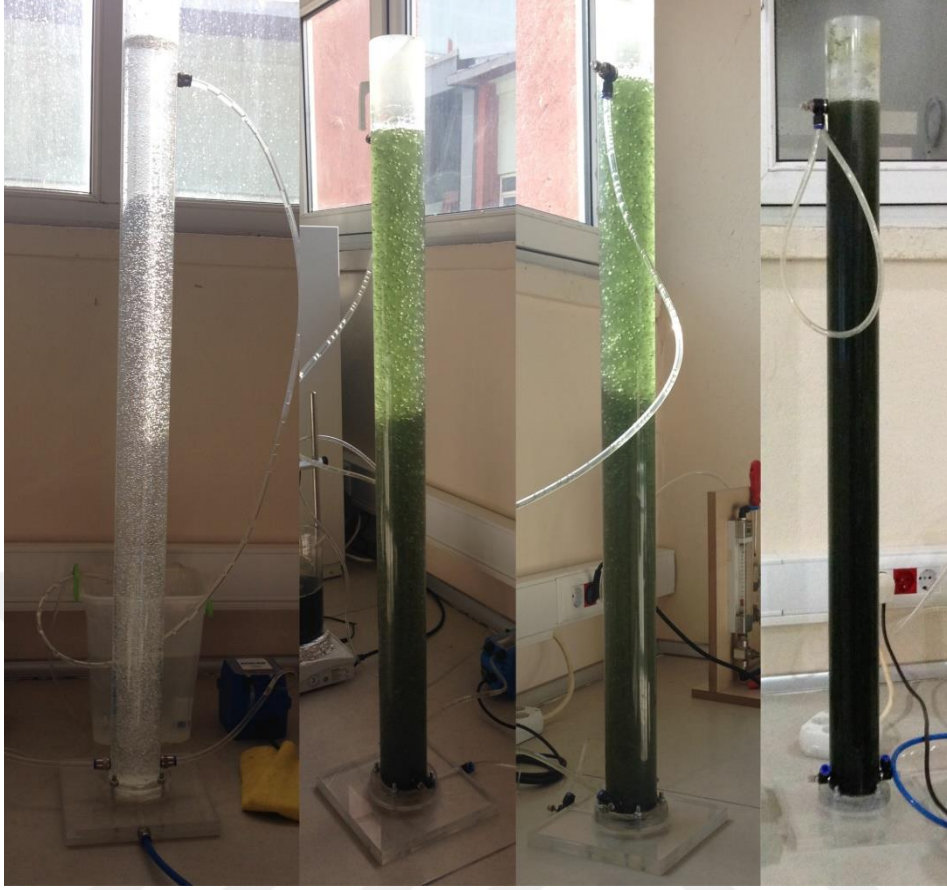
Mikroalgal biyoteknoloji alanında yapılmış literatür taramaları sonucunda *Borodinellopsis texensis* türünün, fotobiyoreaktörde büyütülmesi ve farklı dalga boylarının incelenmesi gibi çalışmaların yapılmadığı belirlenerek tespit edilmiştir. Tezin amacını belirten bu incelemelerin yapılabilmesi için ihtiyaç duyulan mikroalg ototrofik organizmaların kültür koleksiyonu (CCALA) adlı şirketin bünyesindeki Mikroalg Kültür Koleksiyonundan, UTEX 1593 katalog numarası ile temin edilmiştir. *Borodinellopsis texensis* mikroalginin ışık mikroskop görüntüsü Şekil 3.2. de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. *Borodinellopsis texensis* mikroalginin ışık mikroskop görüntüsü (Ccala, 2019).

### 3.1.2. Kullanılan reaktör

Araştırmanın bu bölümünde farklı dalga boylarında (kırmızı, yeşil, mavi, sarı, turuncu, koyu mavi, beyaz ve mor) ışığın etkisinin silindirik yapıdaki kabarcıklı kolon fotobiyoreaktörde 1 L hacimde kesikli olarak işletildi. *Borodinellopsis texensis* mikroalg türünün fotobiyoreaktörde büyümesi, biyokütle üretimi, klorofil-a, klorofil-b ve karotenoid miktarına etkisi incelendi. Çalışmada tasarlanmış olan reaktör Şekil 3.3. te gösterilmiştir.

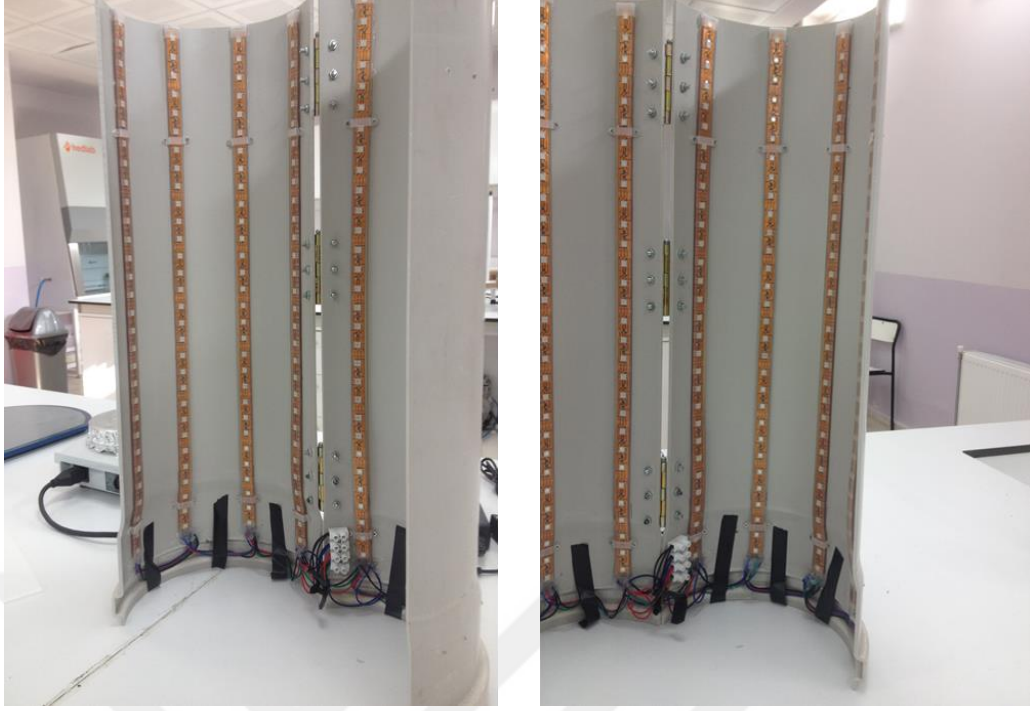


Şekil 3.3. Çalışmada tasarlanmış olan reaktör.

### 3.1.3. Kullanılan ışık sistemi

Kültürün aydınlatılması, farklı dalga boylarında (kırmızı, yeşil, mavi, sarı, turuncu, koyu mavi, beyaz ve mor) ışık üretilebilmesi için reaktör çevresi boyunca yerleştirilen iç kısmı RGB LED'lerle kaplı bir ışık ceketi sistemi ışıkları dış ortama geçirmeyecek şekilde düzenlenmiştir. Çalışmada kullanılan reaktör silindirik yapıdaki kabarcıklı kolon fotobiyoreaktör tipi olarak tasarlanarak 1 L hacimde kesikli olarak, 16:8 aydınlık:karanlık oranında ve fotometre kullanarak ışıklar arasındaki mesafeler eşitlenmiş ve  $100 \mu\text{mol foton/m}^2 \cdot \text{s}$  ışık şiddetinde ayarlanmıştır. Çalışmada kullanılmış olan ışık sisteminin genel görüntüsü Şekil. 3.4. te gösterilmiştir.





Şekil. 3.4. Çalışmada kullanılmış olan ışık sistemi.

## 3.2. Yöntem

### 3.2.1. Mikroalg üretimi

Bu tez çalışmasında mikroalg türü olarak *Borodinellopsis texensis* kullanıldı. Mikroalg büyütme ortamı olarak ise BBM (Basal-Bold-Medium) besi yeri tercih edilerek kültüre alınmıştır. Reaktör olarak silindirik yapıdaki kabarcıklı kolon fotobiyoreaktör tipi tasarlanarak 1 L hacimde kesikli olarak, 16:8 aydınlık:karanlık oranında,  $25 \pm 1$  °C sıcaklıkta,  $100 \mu\text{mol foton/m}^2 \cdot \text{s}$  ışık şiddetinde, pH dengede tutmak için belirli şartlar altında karbondioksit aktarımı ve havalandırma ise bir kompresör aracılığı ile sağlanmıştır. Farklı dalga boylarında (kırmızı, yeşil, mavi, sarı, turuncu, koyu mavi, beyaz ve mor) ışık üretilebilmesi için reaktör çevresi boyunca yerleştirilen iç kısmı RGB LED'lerle kaplı bir ışık ceketi sistemi kullanılmıştır. *Borodinellopsis texensis* mikroalg türünün gelişim sistemi Şekil 3.5. de gösterilmiştir.



Şekil 3.5. *Borodinellopsis texensis* mikroalg türünün gelişim sistemi

İklimlendirme kabiniinde yetiştirilen *Borodinellopsis texensis* mikroalg türünün fotobiyoreaktöre aktarım işlemi yapılmadan önce kullanılmış olan farklı dalga boylarındaki (kırmızı, yeşil, mavi, sarı, turuncu, koyu mavi, beyaz ve mor) ışıklar erlen içerisinde, ön izleme yapılarak aşılama düzeyine getirilmesi sağlanmıştır. Çalışmada kullanılmış olan ön hazırlık sistemi Şekil 3.6. da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Çalışmada kullanılmış olan ön hazırlık sistemi.

### 3.2.2. Besiyerin hazırlanması

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Çevre Mikrobiyoloji Laboratuvarında sıvı kültür ortamının içerisinde yetiştirilen *Borodinelopsis texensis* mikroalg türünün aşılama işlemi yapılmadan önce gelişim ortamının hazırlanması gerekmekte olup, bunun için ilk olarak kullanılan besiyeri belirlendi. Çalışmada kullanılacak olan *Borodinelopsis texensis* mikroalg türünün; tatlı su mikroalg grubuna dâhil olması ve yaşamsal faaliyetlerini yerine getirebilmesi için doğal hayattaki ortamlarına kısmı olarak benzer olması ile sıklıkla tercih edilen bazı birkaç tatlı su besi yerleri “BG-11, Diatom, Basal Bold, Beijerinck” örnek verilebilmektedir. Denemede kültürün büyütülmesi için, BBM (Bold’s Basal Medium) besiyeri olarak tercih edilmiş olup, sıvı besi ortamının hazırlanmasında kullanılan kimyasal bileşenler ve miktarları Çizelge 3.1. de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Basal Bold besiyerin bileşimleri (Barsanti ve Gualtieri, 2006).

| REAKTİF   | g/L     | REAKTİF   | g/L     |
|---|---------|---|---------|
| (1) NaNO <sub>3</sub>                           | 25.00 g | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                        | 1.00 mL |
| (2) MgSO <sub>4</sub> • 7H <sub>2</sub> O       | 7.50 g  | (9) <b>Bor stok çözeltisi</b>                         |         |
| (3) NaCl  | 2.50 g  | H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>                        | 11.42 g |
| (4) K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>             | 7.50 g  | (10) <b>Mikroelement stok çözeltisi</b>               |         |
| (5) KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>             | 17.50 g | ZnSO <sub>4</sub> • 7H <sub>2</sub> O                 | 8.82 g  |
| (6) CaCl <sub>2</sub> • 2H <sub>2</sub> O       | 2.50 g  | MnCl <sub>2</sub> • 4H <sub>2</sub> O                 | 1.44 g  |
| (7) <b>Alkali EDTA stok çözeltisi</b>           |         | MoO <sub>3</sub>                                      | 0.71 g  |
| EDTA  | 50.00 g | CuSO <sub>4</sub> • 5H <sub>2</sub> O                 | 1.57 g  |
| KOH   | 31.00 g | Co(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> • 6H <sub>2</sub> O | 0.49 g  |
| (8) <b>Asitlendirilmiş demir stok çözeltisi</b> |         | NH <sub>4</sub> Cl                                    | --      |
| FeSO <sub>4</sub> • 7H <sub>2</sub> O           | 4.98 g  | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>                       | --      |



Besiyerin hazırlanması için öncelikle stok çözeltilerinin hazırlanması gerekmektedir. Böylelikle hazırlanmış olan stok çözeltilerden belirli oranda katılarak gelişim ortamı elde edilecektir. İlk olarak 1-6 arasındaki stok çözeltilerden 10'ar ml. ve 7-10 arasındaki stoktan 1'er ml. alınıp saf su ile 1000 ml. ye tamamlanır ve pH 6.8-7 olacak şekilde ayarlaması yapılarak besiyer hazırlanmış olacaktır. Daha sonra hazırlanmış olan çözeltiyi 1000 ml'lik erlenmayer içerisine aktarılır ve sterilizasyon işlemi yapabilmek için otoklavda 121 °C de 1 atm basınçta 15 dk. süre ile steril edilmesi sağlanmıştır. Bu işlemlerden sonra silindirik yapıdaki kabarcıklı kolon tipi fotobiyoreaktör içine sıvı besi ortam ile mikroalg aşılama işlemi yapıldı. Hazırlanmış olan stok çözelti şişeleri Şekil 3.7. de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Hazırlanmış olan stok çözeltileri.

### 3.2.3. *Borodinellopsis texensis* stok kültürü

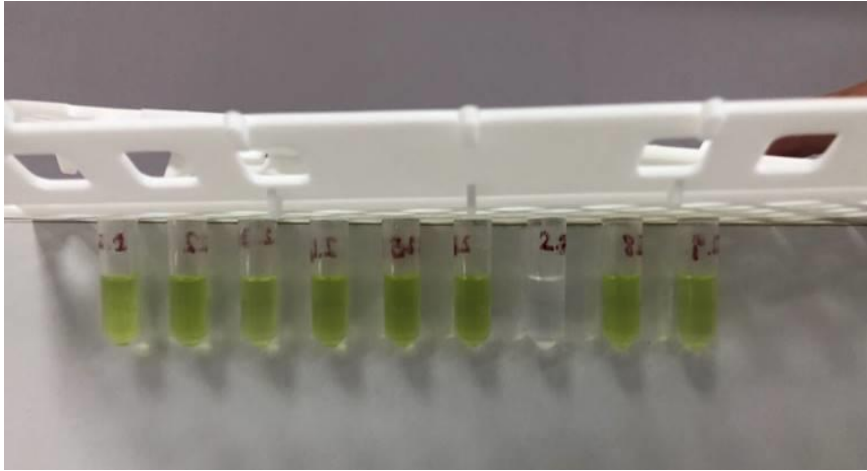
Denemede kullanılmak üzere büyütülen mikrolag türü olan *Borodinellopsis texensis* laboratuvarında iklimlendirme kabini kullanılarak,  $25\pm 1$  °C sıcaklıkta ve aydınlık-karanlık (16-8 saat) uygulanmıştır. Daha sonra sıvı besiyerinde üretim yapılarak devamlılığı sağlanarak Şekil 3.8. de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. *Borodinellopsis texensis* stok kültürü.

### 3.2.4 Hasat edilen mikroalg

Kültür ortamında büyütülen mikroalgin hasat edilmesinin belirlenebilmesi için optik yoğunluk değerleri incelenerek logaritmik büyüme evrenin bitimi ve duraklama fazın başlamasının görülmesi ile hasat işlemi yapılmıştır. Denemenin sona erdirilmesi ile alg bir mezür yardımı ile hacim hesaplanır ve 50 ml falkonlara eşit gelecek şekilde ayarlanarak 2000 rcf, 6 dakika, 14 °C’de santrifüj işlemi yapıldı. Pigment deneylerinde ise 1 ve 2 mL lik ependorflar kullanıldı. Bu çalışma Şekil 3.9. da gösterildi.



Şekil 3.9. Ependorf içerisindeki mikroalg örnekleri.

### 3.2.5. Kurutma

Santrifüj edildikten sonra eppendorf kaplarda kalan katı kısım önceden 60 °C’de ısıtılış olan etüvde bir gün bekletilerek kurutulmuştur.

### 3.2.6. Denemede yapılan analizler

#### 3.2.6.1. Optik yoğunluk

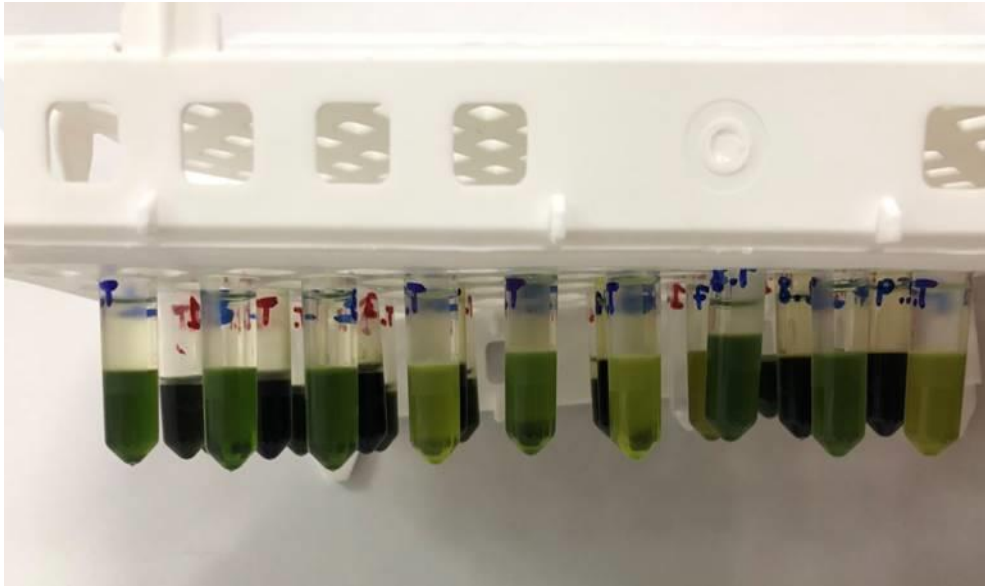
Bunun için belirli aralıklarla silindirik yapıdaki kabarcıklı kolon tipi fotobiyoreaktörün içinden numunenin homojen bir halde alınmasını sağlamak için öncelikle ortam karıştırıldıktan sonra 1 ml sıvı alınmıştır. Tüpe alınmış olan örnek 1 ml kuartz küvetin içine aktarılarak önceden 680 nm dalga boyunda ayarlanmış olan (WTW) marka 6100 VIS model spektrofotometrede okuma yapılmıştır. Çalışmada kullanılmış olan spektrofotometre cihazı Şekil 3.10. da gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Çalışmada kullanılmış olan spektrofotometre cihazı.

### 3.2.6.2. Hasat edilen mikroalgal biyokütle analizi

Santrifüj edildikten sonra kalan katı kısımlar ise daha önceden hesaplanmış olan boş eppendorfların içine aktarılır ve 1000 rcf, 5 dakika, 14 °C’de santrifüj işlemi yapılarak süper netant kısmı döküldükten sonra kalan katı kısım önceden 60 °C’de ısıtılmış olan etüvde bir gün bekletildi. Böylece bir gün sonra kurutulmuş olan eppendorf hassas terazide tartılarak kuru ağırlığı hesaplanarak biyokütle analizi yapılır Şekil 3.11. de gösterildi.



Şekil 3.11. Hasat edilen mikroalgal biyokütle.

### 3.2.6.3. Fotosentetik pigment analizi

Pigment konsantrasyon miktarlarını belirlemek için çoklu spektrofotometrik metodundan yararlanılarak belirlendi. Pigment konsantrasyon miktarlarını ölçmek için ilk olarak silindirik yapıdaki kabarcıklı kolon tipi fotobiyoreaktörün içinden homojen bir halde numunenin alınmasını sağlamak için öncelikle ortamı hafif bir şekilde karıştırıldıktan sonra bir pipet yardımıyla 1 ml sıvı örnek alındı. Denemeden alınmış olan örnek eppendorfun içine aktarılır ve 13000 rpm, 5 dakika, 14 °C’de santrifüj işlemi yapılarak süpernatant kısmı döküldü. Böylelikle eppendorfun içinde kalan katı kısma yüksek çözünürlüklü % 99.90’luk 1 ml metanol ilave edilerek vorteks yardımı ile

özütleme yapıldıktan sonra ağzı kapalı olarak etüvde 60 °C’de, 45 dakika bekletildi. Hazırlanmış olan örnek 400-750 nm dalga boyu aralığına sahip bir spektrofotometre cihazından faydalanılarak okuma yapıldı. Spektrofotometrede; 480, 652, 665, 750 nm’de dalga boylarında ölçülen değerler 750 nm’de dalga boyundaki absorbans olan bulanıklık değerinde çıkarılmış olup, elde edilen değerlerin formüller ışığında klorofil-a, klorofil-b ve karotenoid konsantrasyonlarının belirlenmesinde kullanıldı. Çıkarıldıktan sonra elde edilen değerlerin klorofil-a için ‘Eş. 3.12’, klorofil-b için ‘Eş. 3.13’ ve karotenoid için ‘Eş. 3.14’ belirtilen yerlere yerleştirilerek miktarları hesaplandı.

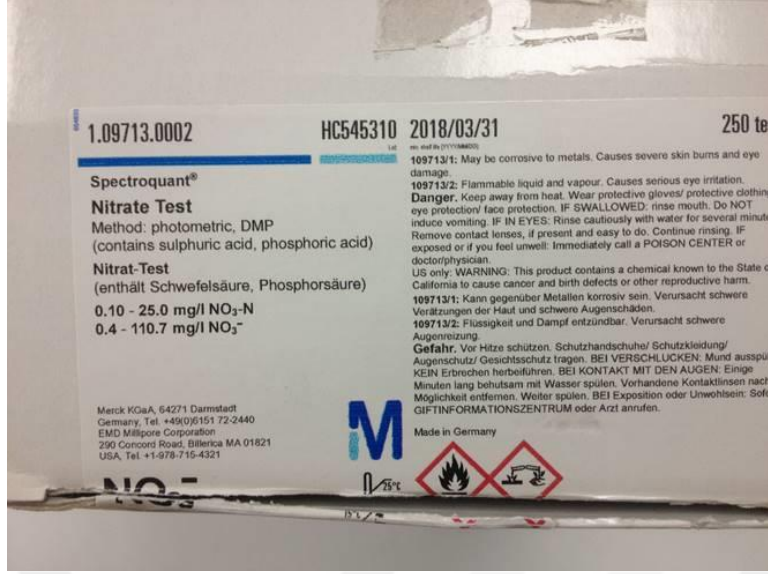
$$\text{Chl}_a (\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}) = -8,0962 \times A_{652} + 16,5169 \times A_{665} \quad (3.12)$$

$$\text{Chl}_b (\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}) = 27,4405 \times A_{652} - 12,1688 \times A_{665} \quad (3.13)$$

$$\text{Krt} (\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}) = 4 \times A_{480} \quad (3.14)$$

#### 3.2.6.4. Toplam azot analizi

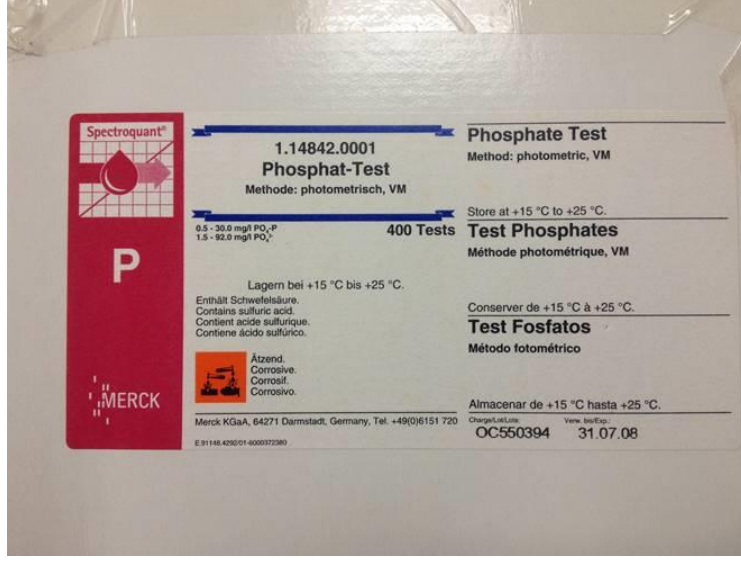
Toplam azot analizi yapmak için reaktör sistemin kurulduğu ilk anda ve deneyin bitirildiği son gün olmak üzere toplam iki defa yapıldı. Toplam azot analizi yapmak için ilk olarak silindirik yapıdaki kabarcıklı kolon tipi fotobiyoreaktörün içinden 1 ml sıvı örneği alınmıştır. Tüpe alınmış olan bu örnek 1500 rpm, 5 dakika, 14 °C’de santrifüj işlemi yapılarak süpernatant kısmı alınır ve bir kapın içine aktırılır. Daha önceden cam bir tüpün içine NO<sub>3</sub> -1 numaralı reaktiften 4 ml boşaltılır ve ardından santrifüj işlemi yapılan numuneden 0.5 ml ilave edildikten sonra en son olarak NO<sub>3</sub> -2 numaralı reaktiften 0.5 ml cam tüp içine aktarılarak çalkalanır ve 10 dakika beklendikten sonra hazırlanmış olan numunemiz spektrofotometrede 09713 kodlu dalga boyu çağrılarak NO<sub>3</sub> -N okuması yapılmıştır. Çalışmada kullanılmış olan azot kitleri Merck marka olup Şekil 3.15. de gösterildi.



Şekil 3.15. Toplam azot kitleri.

### 3.2.6.5. Toplam fosfor analizi

Toplam fosfor analizi yapmak için reaktör sistemini kurup çalıştırmaya başlatıldığı anda ve sistemin son aşamasına gelindiği anda olmak üzere toplam iki defa yapıldı. Toplam fosfor analizi yapmak için ilk olarak silindirik yapıdaki kabarcıklı kolon tipi fotobiyoreaktörün içinden 6 ml sıvı örnek alınmıştır. Tüpe alınmış olan bu örnek 1500 rpm, 5 dakika, 14 °C'de santrifüj işlemi yapılarak süpernatant kısmı alınır ve bir kapın içine aktırılır. Daha sonra santrifüj işlemi yapılan numuneden 5 ml alınarak cam bir tüpün içine boşaltılır ve ardından  $PO_4 -1$  numaralı reaktiften 1.2 ml cam tüp içine aktarıldıktan sonra hazırlanmış olan numunemiz spektrofotometrede 14842 kodlu dalga boyu çağrılarak  $PO_4 -P$  okuması yapılmıştır. Çalışmada kullanılmış olan fosfor kitleri Merck marka olup Şekil 3.16. da gösterildi.



Şekil 3.16. Toplam fosfor kitleri.





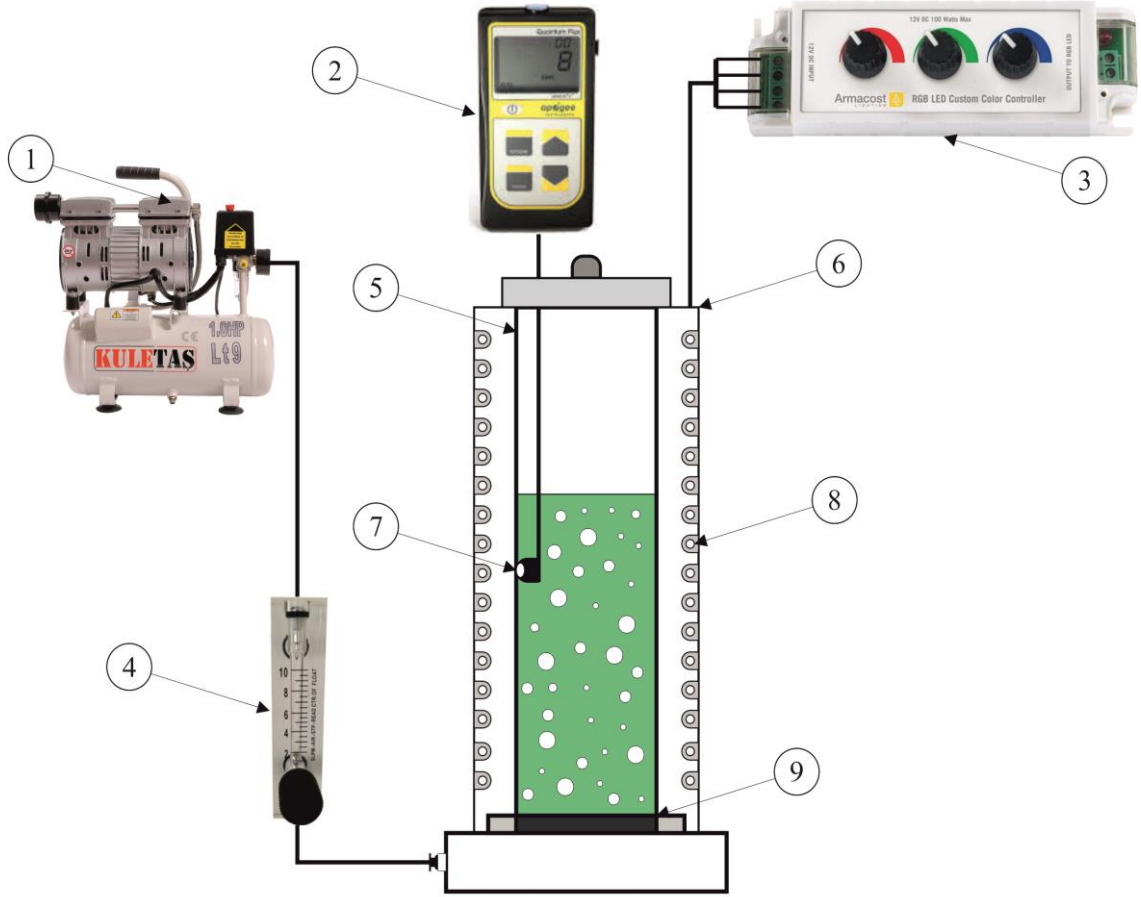
## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Çevre Mikrobiyoloji Laboratuvarında mikroalgal biyokütle'nin takip edilmesi amacıyla sıvı kültür ortamının içerisinde bulundurulan *Borodinellopsis texensis* türünün büyüme hızına etkisini belirlemek için yürütülen çalışma farklı dalga boylarında (kırmızı, yeşil, mavi, sarı, turuncu, koyu mavi, beyaz ve mor) ışıklar uygulanarak gerçekleştirildi. Deneylede tüm gruplara besi ortamı olarak BBM (Basal-Bold-Medium) besi yeri, 16:8 aydınlık:karanlık oranında,  $25\pm 1$  °C sıcaklıkta  $100 \mu\text{mol foton/m}^2\cdot\text{s}$  ışık şiddeti uygulanmış olup, optik yoğunluk (680 nm), hasat edilen mikroalgal biyokütle ( $\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ), spesifik büyüme hızı ( $\text{gün}^{-1}$ ), klorofil-a ( $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ), klorofil-b ( $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ), karotenoid ( $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ), Toplam azot (TN, ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )) ve Toplam fosfor (TP, ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )) değerleri hesaplandı.

### 4.1. Kullanılan Reaktör Sistemi

Bu tez çalışmasında kullanılan fotobiyoreaktör, pleksiglas malzemeden imal edilerek kabarcıklı kolon reaktör tipinde tasarlandı. Fotobiyoreaktörün; yükseklik; 50 cm, iç çapı; 6 cm, dış çapı; 7 cm, ışık ceketli uygulanacak bölümünde % 90.00 ışık geçirgenliğine ve 1.49 kırılma indisine sahip saydam dairesel pleksiglas tercih edildi. Fotobiyoreaktörde hacim 1.4 L olacak şekilde tasarlanmış olup, tez çalışmasında ise 1000 mL olarak işletildi. Reaktör içerisine yerleştirilmiş olan pH, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> ve sıcaklık sensörü monte edilmeden önce kalibrasyonları ayarlandı. Kültürün havalandırılması için reaktör tabanı boyunca havalandırma sağlanması amacıyla tabanına POR2 tipindeki 60 mm'lik DURAN marka cam filtre yerleştirilmiş olup, havalandırmayı sağlamak için belli aralıklarla ayarlanmış olan ring hava dağıtıcıdan yararlanılarak kontrolü sağlanmış ve havalandırma olarak KULETAŞ 2.0 HP 50 lt marka kompresör tercih edilmiştir. Kompresör ve sanayi tipi tüpten çıkan gazların silikon hortum ile fotobiyoreaktöre ihtiva edilmesi sağlandı. İklimlendirme kabini içinde erlen içerisinde büyütülen *Borodinellopsis texensis* mikroalg türünün fotobiyoreaktörün steril hala

getirildikten sonra içerisinde aktarılarak büyümesi gözlemlendi. Çalışmada tasarlanan reaktör sistemi Şekil 4.1. de gösterildi.



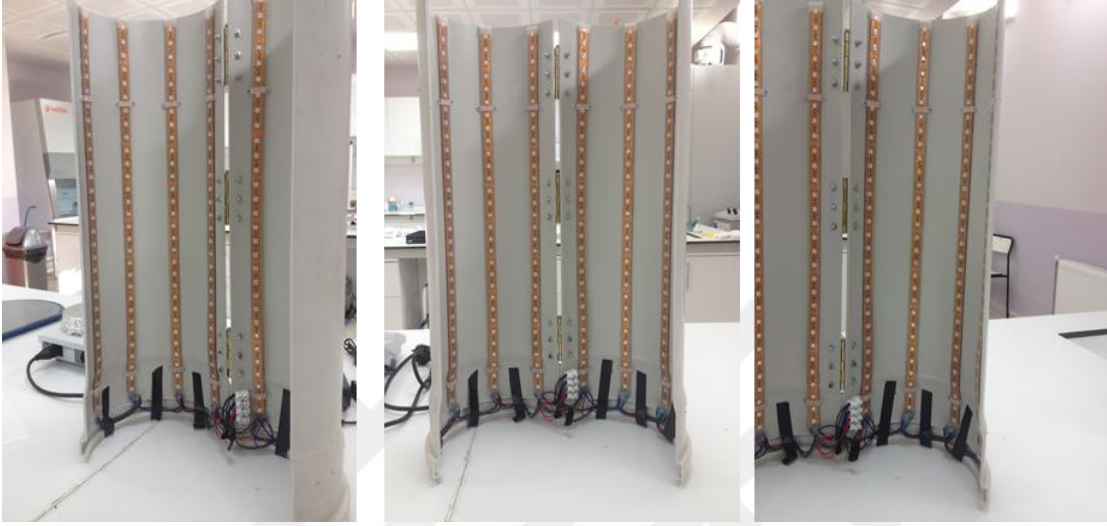
|   |                  |   |                            |   |               |
|---|------------------|---|----------------------------|---|---------------|
| 1 | Hava Kompresörü  | 4 | Hava debimetresi           | 7 | Işık probu    |
| 2 | Işık metre       | 5 | Kolon tipi fotobiyoreaktör | 8 | RGB LED       |
| 3 | RGB LED sürücüsü | 6 | RGB LED ceket              | 9 | Hava difüzörü |

Şekil 4.1. Çalışmada tasarlanan reaktör sistemi.

## 4.2. Kullanılan Işık Sistemi

Kültürlerin aydınlatılmasında, ışık kaynağı olarak rgb ledlerden oluşan ceket sistemi kullanıldı. Ceket sistemi plastik PVC atık su boru malzemesinden imal edilmiş olup, yüksekliği; 55 cm, iç çapı; 19.50 cm, dış çapı; 20 cm şeklin de tasarlandı. Ceket sisteminin iç kısmında kullanılan rgb ledlerin ise yüksekliği; 53 cm, genişliği; 1.50 cm, toplamda 240 adet led olup, her bir şeritte 30 adet bulunmuş ve 45 dik açı ile konumlandırılacak olan rgb led'lerin aynı zamanda her birinin arasındaki mesafeler 6

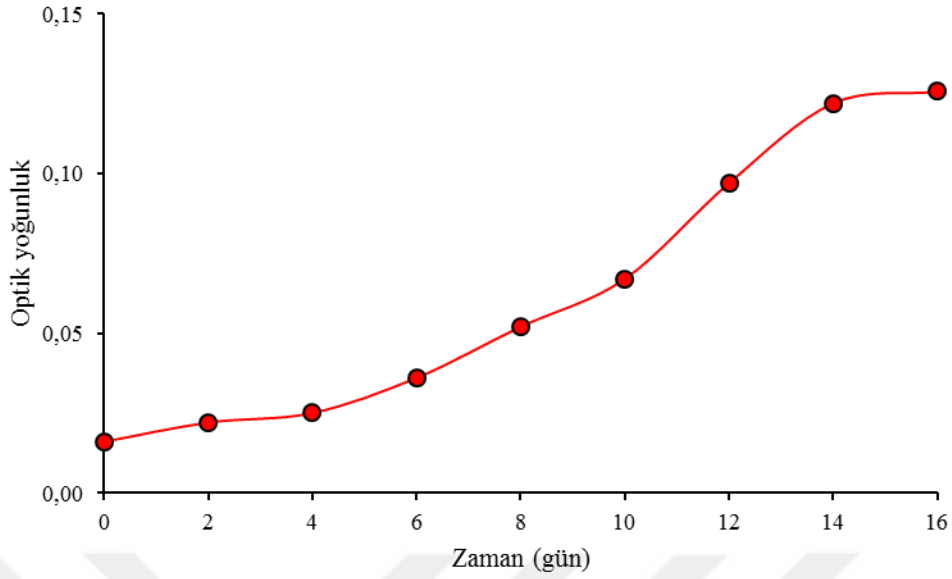
cm olarak yerleştirilmiştir. Işık şiddetini ayarlamak için kabarcıklı kolon fotobiyoreaktörün ışık ceket sistemine olan uzaklığı foto metre yardımı ile ölçülerek ışık şiddetleri  $100 \mu\text{mol foton/m}^2 \cdot \text{s}$  ayarlandı. Çalışmada kullanılmış olan ışık sistemi Şekil 4.2. de gösterildi.



Şekil 4.2. Çalışmada kullanılmış olan reaktör sistemi.

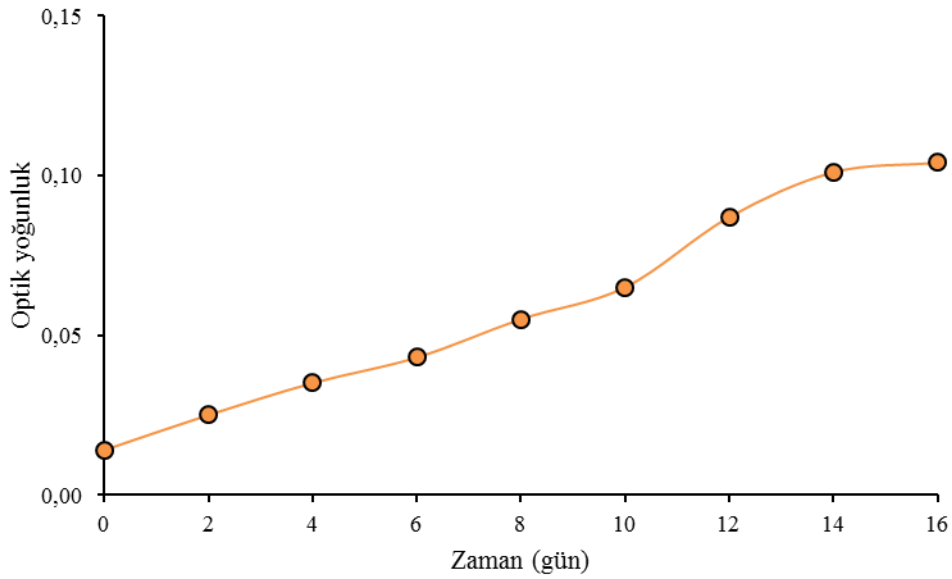
### 4.3. Optik Yoğunluk (OD)

Bu çalışmada kontrol grubu ile birlikte sekiz farklı ışık rengi uygulandı. Uygulamada tercih edilen *Borodinelopsis texensis* mikroalg kültürler ortamlarında bir büyüme parametresi olan  $OD_{680}$  tercih edildi. Bu uygulama; kırmızı renkli dalga boyu ile yapılan deneme 16 gün devam etmiş ve başlangıç optik yoğunluğu 0.01 olarak belirlendi. Optik yoğunlukları değişimine bakıldığında denemenin düzenli bir artış olduğu ve 16'nci güne doğru durakladığı gözlemlendi. Çalışma mikroalg örneklerinin durağan kısma geldiği 16. günde bitirildi ve hasat edildi. Elde edilen en yüksek optik yoğunluk değeri 0.14 olarak tespit edildi. Kırmızı renkli dalga boyuna ait OD değişim grafiği Şekil 4.3. te verilmiştir.



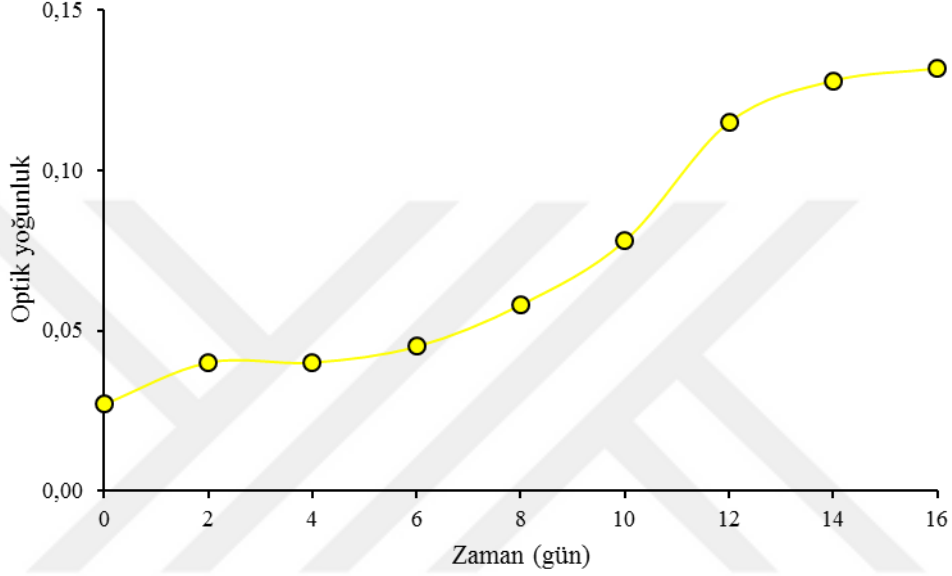
Şekil 4.3. Kırmızı renkli dalga boyuna ait optik yoğunluk değişimi.

Bu deneme grubunda turuncu renkli dalga boyu tercih edilmiş ve başlangıç optik yoğunluğu 0.01 olarak belirlenmiştir. Mikroalg örnekleri optik yoğunlukları değişimine göre incelendiğinde çalışmada düzenli bir artış olduğu gözlemlendi. Çalışma 16. günde bitirildi ve hasat edildi. Elde edilen en yüksek optik yoğunluk verisi ise 0.10 olarak tespit edildi. Turuncu renkli dalga boyuna ait OD değişim grafiği Şekil 4.4. de verildi.



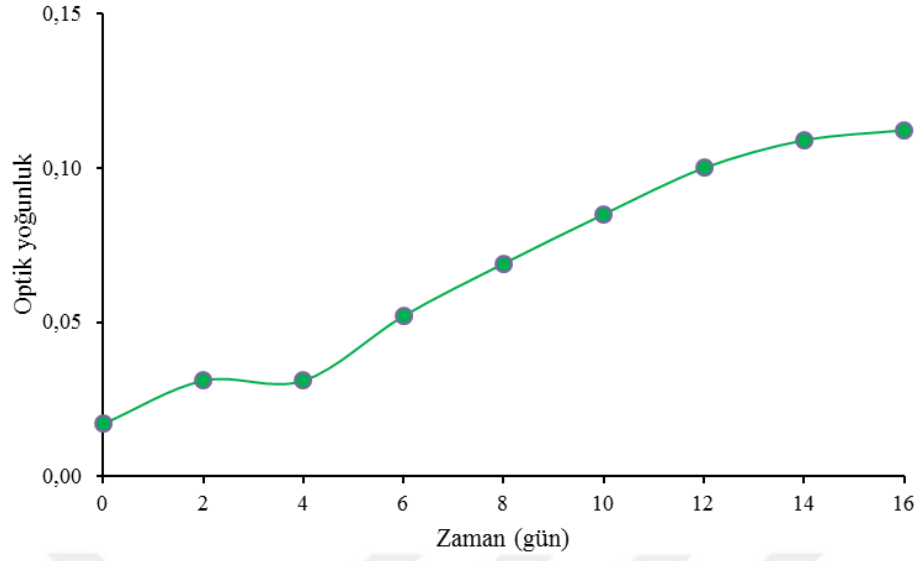
Şekil 4.4. Turuncu renkli dalga boyuna ait optik yoğunluk değişimi.

Bu çalışma grubunda sarı renkli dalga boyu tercih edilmiş ve başlangıç optik yoğunluğu 0.02 olarak belirlendi. Optik yoğunlukları değişimine bakıldığında denemenin düzenli bir artış olurken, 16'nci güne doğru kültür duraklama evresine girmiş ve hasat edilmiştir. En yüksek OD değeri 0.11 olarak tespit edilmiştir. Sarı renkli dalga boyunun OD değişim grafiği Şekil 4.5. te verilmiştir.



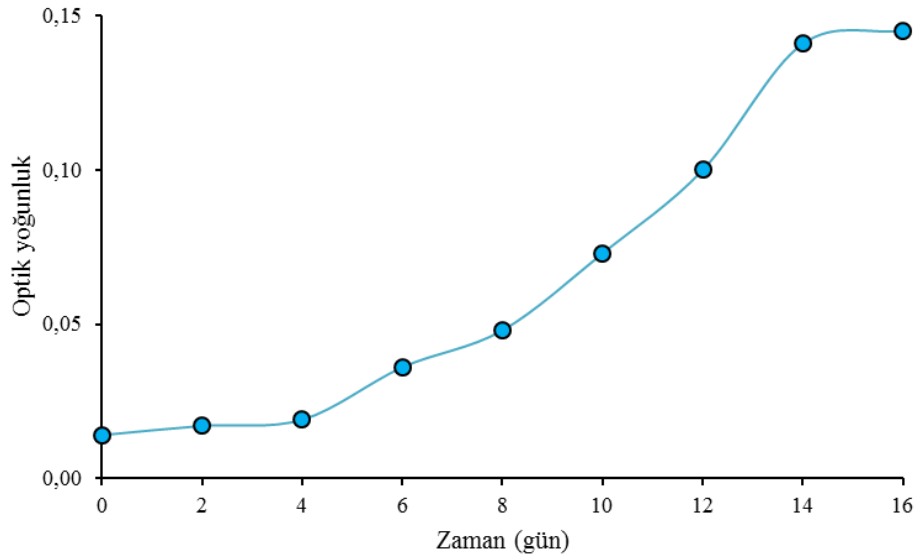
Şekil 4.5. Sarı renkli dalga boyuna ait optik yoğunluk değişimi.

Bu deneme grubunda yeşil renkli dalga boyu tercih edilmiş ve başlangıç optik yoğunluğu 0.01 olarak belirlenmiştir. Optik yoğunlukları değişimine bakıldığında denemenin düzenli bir artış olduğu gözlemlenmiş olup, deneme 16. günde hasatlandı. En yüksek OD değeri ise 0.13 olarak tespit edilmiştir. Yeşil renkli dalga boyunun OD değişim grafiği Şekil 4.6. da verildi.



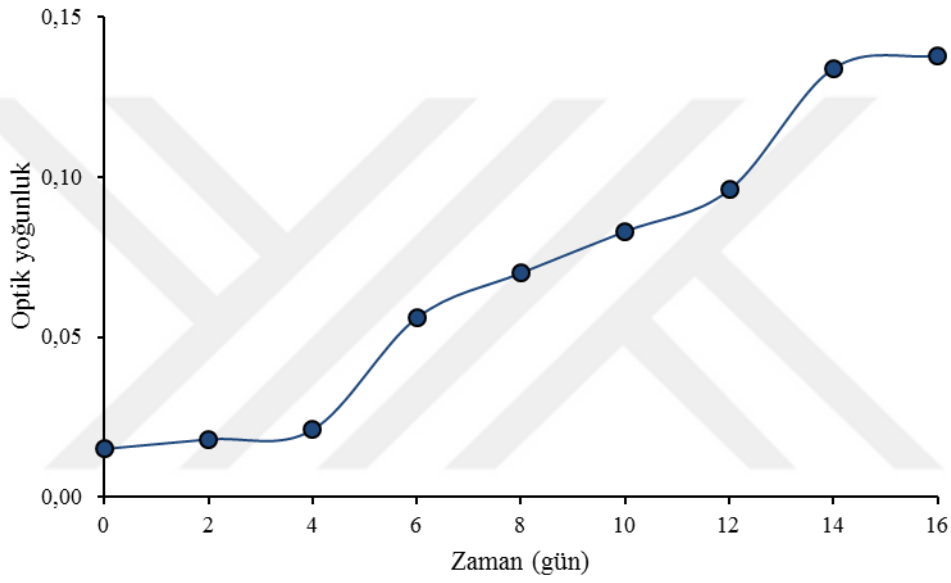
Şekil 4.6. Yeşil renkli dalga boyuna ait optik yoğunluk değişimi.

Bu deneme grubunda mavi renkli dalga boyu tercih edilmiş ve başlangıç optik yoğunluğu 0.01 olarak belirlenmiştir. Optik yoğunlukları değişim grafiğine bakıldığında denemenin mikroalgın ortama adaptasyon sürecinden sonra düzenli bir artış olduğu gözlemlendi. Denemede 16'inci güne gelindiğinde ise mikroalgın duraklama fazına girilmesi ile deney bitirildi ve hasat edildi. En yüksek OD değeri ise 0.12 olarak bulunmuştur. Yeşil renkli dalga boyunaun OD değişim grafiği Şekil 4.7. de verilmiştir.



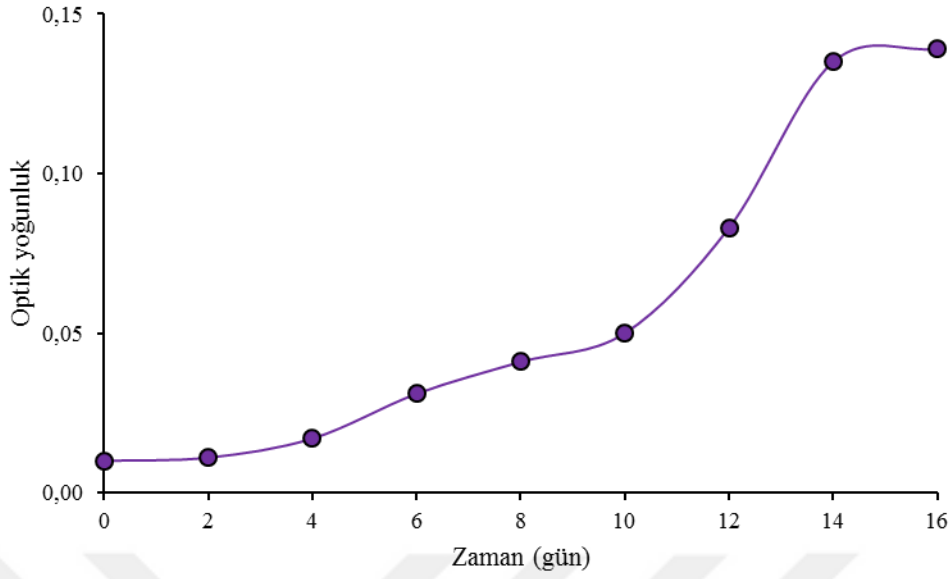
Şekil 4.7. Mavi renkli dalga boyuna ait optik yoğunluk değişimi.

Bu deneme grubunda koyu mavi renkli dalga boyu tercih edilmiş ve başlangıç optik yoğunluğu 0.02 olarak belirlendi. Optik yoğunlukları değişimin verilerine bakıldığında denemenin öncelikle ortama uyum sağlamaya çalıştığı daha sonra ise düzenli bir artış olduğu görülürken belirli bir süre sonra duraklama başladığı görülmekte ve deneme 16. günde hasatlanmıştır. En yüksek OD ise 0.10 olarak bulunmuştur. Koyu mavi renkli dalga boyunun OD değişim grafiği Şekil 4.8. de verilmiştir.



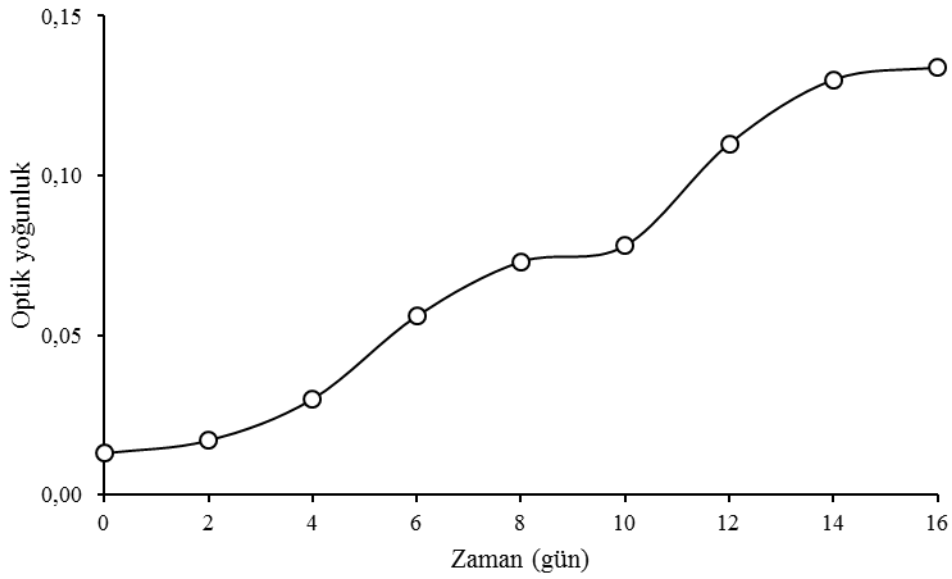
Şekil 4.8. Koyu mavi renkli dalga boyuna ait optik yoğunluk değişimi.

Bu deneme grubunda mor renkli dalga boyu tercih edilmiş ve başlangıç optik yoğunluğu 0.01 olarak belirlendi. Optik yoğunlukları değişimleri incelendiğinde denemenin düzenli bir artış olduğu gözlemlendi. Elde edilen en yüksek optik yoğunluk 0.13 olarak bulundu. Mor renkli dalga boyuna ait optik yoğunluğun değişim grafiği Şekil 4.9. da verildi.



Şekil 4.9. Mor renkli dalga boyuna ait optik yoğunluk değişimi.

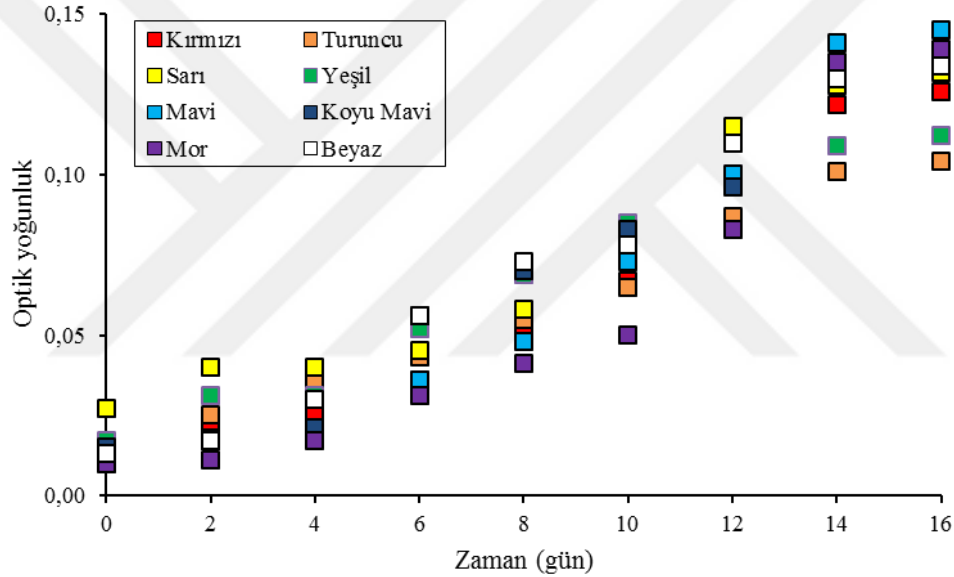
Bu deneme grubunda beyaz renkli dalga boyu tercih edilmiş ve başlangıç optik yoğunluğu 0,01 olarak belirlendi. Optik yoğunlukların değişimine bakıldığında çalışmada düzenli bir artış olduğu gözlemlendi. Deney çalışması 16. Günde hasatlandı. En yüksek OD da 0,13 olarak tespit edildi. Beyaz renkli dalga boyuna ait optik yoğunluk değişim grafiği Şekil 4.10. da verildi.



Şekil 4.10. Beyaz renkli dalga boyuna ait optik yoğunluk değişimi.



*Borodinellopsis texensis* kültüründe farklı dalga boylarında (kırmızı, yeşil, mavi, sarı, turuncu, koyu mavi, beyaz ve mor) büyütülen mikroalglerin 16 güne göre büyüme verimlilikleri birbirinden farklı bulundu. Çalışmada durağan fazda elde edilen verilere göre en düşük optik yoğunluk değeri turuncu renkte 0.01 bulunurken, en yüksek optik yoğunluk değeri ise mavi renkli dalga boyunda 0.14 olarak tespit edildi. Optik yoğunluklarındaki değişim grafikleri incelenip bakıldığı zaman düzenli bir logaritmik artış gözlenir ve ilerleyen günlerde ise kültür duraklama evresine girmesi ile deneme 16'inci günde bitirilmiş ve kültür hasat edilmiştir. *Borodinellopsis texensis*'in OD değişim grafiği Şekil 4.11. de verildi.

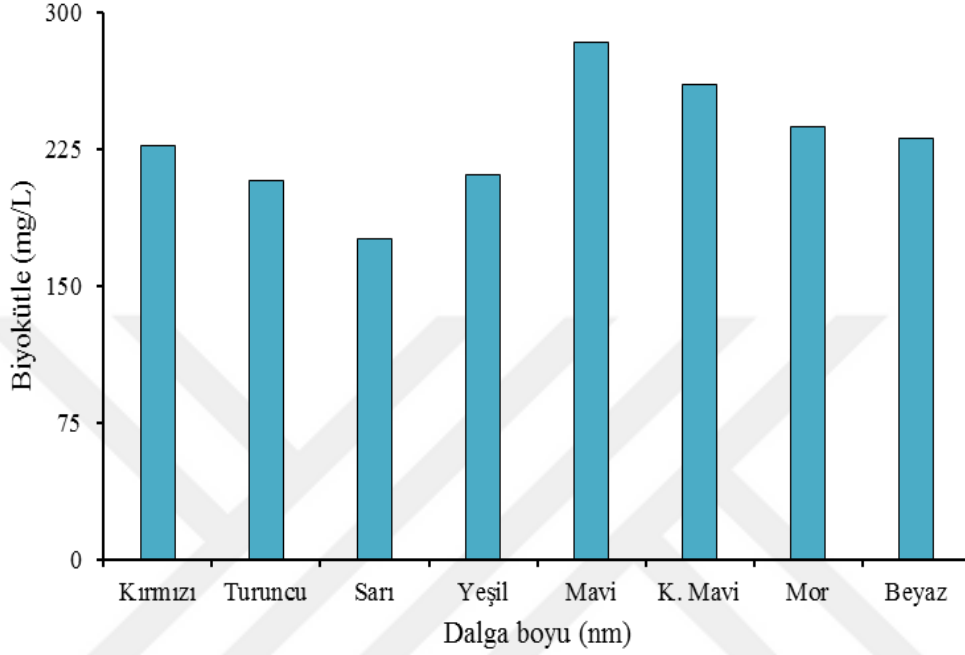


Şekil 4.11. *Borodinellopsis texensis* kültürlerine ait optik yoğunluk değişimi.

#### 4.4. Hasat edilen Mikroalgal Biyokütle

*Borodinellopsis texensis* kültürüne ait farklı dalga boylarındaki ışıklar kullanılması ile gruplar ait biyokütle değişimleri incelendi. Optik yoğunluklarındaki değişim grafikleri incelenip bakıldığı zaman düzenli bir logaritmik artış gözlenirken ilerleyen günlerde kültür duraklama evresine girmesi ile deneme 16'inci günde bitirilmiş ve kültür hasat edildi. Hasat işlemi yapılmış olan mikroalgal biyokütle'nin tüm gruplara ait değerleri hesaplanıp değişim grafiği çizildi. Denemede son gün elde edilen verilere göre en düşük biyokütle değerinin sarı renkte  $175.82 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  bulunurken, en

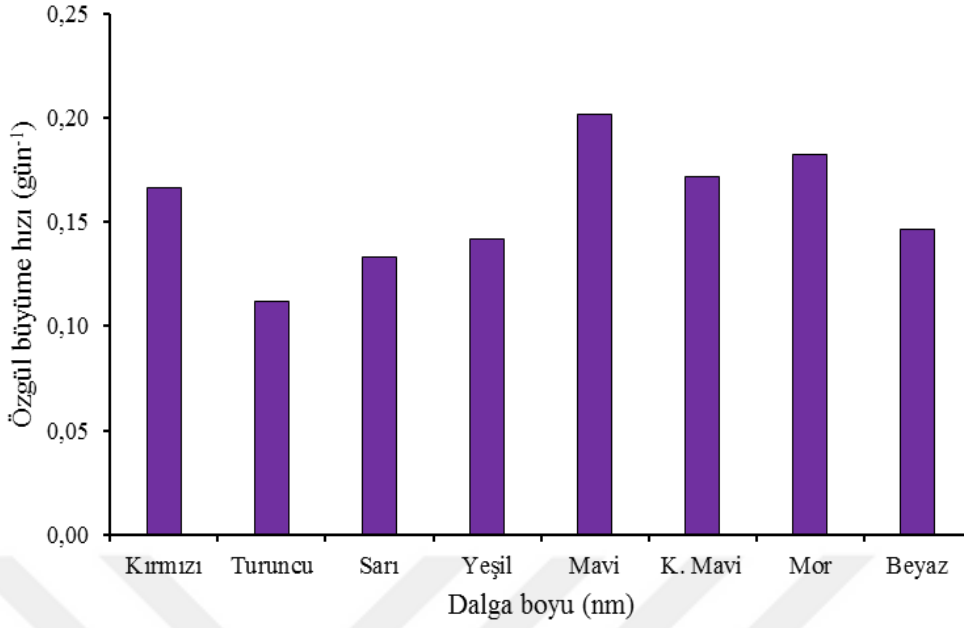
yüksek biyokütle değerinin ise mavi renkli dalga boyunda  $283.88 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  olduğu tespit edildi. *Borodinellopsis texensis* kültürlerine ait farklı dalga boyları kullanılarak elde edilen biyokütle grafiği Şekil 4.12. de verildi.



Şekil 4.12. *Borodinellopsis texensis* kültürlerine ait farklı dalga boyları kullanılarak elde edilen biyokütle grafiği.

#### 4.5. Spesifik Büyüme Hızı

Farklı dalga boylarına maruz bırakılmış olan *Borodinellopsis texensis* kültürünün büyüme hızlarındaki değişimlerini gözlemleyebilmek için optik yoğunluk ölçümlerinden yararlanıldı. Optik yoğunluk ölçümleri izlendiği zaman mikroalgin duraklama fazına girmesi ile deney bitirilip hasat edildi. *Borodinellopsis texensis* kültürünün optik yoğunluk değerleri ile çizilen grafiğe bakılarak logaritmik büyüme faz aralığının hesaplanması ile belirlenen spesifik büyüme hızı değerleri en düşük  $0.11 \text{ gün}^{-1}$  ve en yüksek  $0.20 \text{ gün}^{-1}$  olarak bulunmuştur. *Borodinellopsis texensis* kültürlerine ait farklı dalga boyları kullanılarak elde edilen spesifik büyüme hızı grafiği Şekil 4.13. de verildi.



Şekil 4.13. *Borodinellopsis texensis* kültürlerine ait farklı dalga boyları kullanılarak elde edilen spesifik büyüme hızı grafiği.

Literatürde benzer çalışmalara baktığımızda, Wang ve ark., (2007) yılında yapmış oldukları araştırmada, rgb led ışıktan faydalanarak *Spirulina platensis*'in mikroalg türünün hangi ışıpta faz artış hızını incelemeleri sonucunda, en iyi çoğalma hızının kırmızı led ışıpta olduğunu açıklamışlar ve en az çoğalma ise mavi led ışıpta tespit etmişlerdir. Hultberg ve ark., (2014), yılında yürütmüş oldukları araştırmada farklı dalga boylarında bir ışık sistemi kaynağından yararlanılarak *Chlorella vulgaris* mikroalg üzerinde etkisini incelemişler ve deney sonunda ise sarı , kırmızı ve beyaz ışıkların tesirli olduğunu rapor etmişlerdir. Das ve ark., (2011), yılında yaptığı araştırmada, farklı dalga boyundaki led ışıkları, *Nannochloropsis oculatay* incelemiş ve aydınlatma şiddetlerini farklı tutarak kullanmışlar hazırlamış oldukları bu deney düzeneğinde ışıkların mikroalg üzerinde nasıl bir artış olacağını incelemişler ve en nihayetinde etkili olandan az etkili olana sıralamasında 1.Mavi 2.beyaz 3.yeşil 4.kırmızı olarak bulmuşlardır. Teo ve ark., (2014), gerçekleştirdikleri araştırmada farklı dalga boyunda beyaz floresan lamba ve (mavi,kırmızı, kırmızı-mavi) led ışıkları ve ışık şiddetlerini farklı tutarak *Nannochloropsis sp.* ve *Tetraselmis sp.* mikroalg türünü tercih ederek kullanmışlardır. Deney sonuçlarına baktıkları zaman *Nannochloropsis sp.* ve *Tetraselmis sp.* mikroalg türüne en tesirli olarak çoğalmasını sağlayan ışık mavi dalga boyuna sahip düzeneği olduğunu belirtmişlerdir. Blair ve ark., (2014), yılında yaptıkları

çalışmada, farklı dalga boylarındaki (mavi, parlak beyaz, yeşil ve kırmızı) ışık düzeneği kullanmışlardır. Kullandıkları bu ışık düzeneğinin *Chlorella vulgaris* mikroalg türünde yapacağı çoğalma ve biyokütle üretiminde ne bir tesir olacağını incelemişlerdir. Deneyin sona ermesi ile hazırlanmış olan ortamların kıyaslaması yapıldı zaman kırmızı ve yeşil dalga boyunun mavi ışığa oranla daha az etkili olduğunu gösterdiler.

Bu tez çalışmasında, farklı dalga boylarında (kırmızı, yeşil, mavi, sarı, turuncu, koyu mavi, beyaz ve mor) led ışık ve aydınlatma şiddeti  $100 \mu\text{mol foton/m}^2 \cdot \text{s}$  olacak şekilde ayarlanmış ve mikroalg olarak ise *Borodinelopsis texensis* türü kullanılmıştır. Araştırma olarak optik yoğunluk, biyokütle ve spesifik büyüme hızları incelenmiştir. Sonuçta, mavi led ışık dalga boyunun büyüme ve biyokütle üretimine etkili olduğu tespit edilmiştir. *Borodinelopsis texensis* kültürlerine ait farklı dalga boylarında yaralanarak optik yoğunluk, biyokütle ve spesifik büyüme hızlarındaki değişim Çizelge 4.1. te verilmiştir.

Çizelge 4.1. *Borodinelopsis texensis* kültürlerine ait farklı dalga boylarında optik yoğunluk, biyokütle ve spesifik büyüme hızlarındaki değişim.

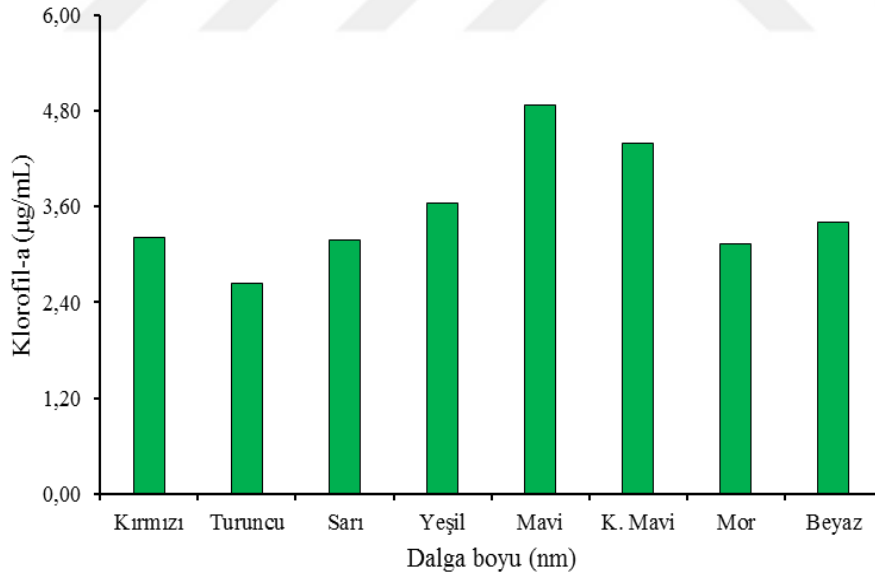
| Değişkenler                          | Kırmızı | Turuncu | Sarı   | Yeşil  | Mavi   | Koyu Mavi | Mor    | Beyaz  |
|--------------------------------------|---------|---------|--------|--------|--------|-----------|--------|--------|
| Optik yoğunluk ( $\text{OD}_{680}$ ) | 0.12    | 0.10    | 0.12   | 0.10   | 0.14   | 0.13      | 0.13   | 0.13   |
| Biyokütle (mg/L)                     | 227.17  | 207.52  | 175.82 | 211.29 | 283.88 | 260.55    | 237.36 | 231.25 |
| $\mu$                                | 0.16    | 0.11    | 0.13   | 0.14   | 0.20   | 0.17      | 0.18   | 0.14   |

## 4.6. Fotosentetik Pigment Üretimi

Farklı dalga boylarından yararlanılarak sıvı kültürde büyütülen *Borodinellopsis texensis* mikroalgın türünün hücrelerinde biriktirmekte olduğu pigment miktarını hesaplamak için deney aşamasının bitmesi ile klorofil-a, klorofil-b ve karotenoid verileri düzenlenerek tablolar halinde gösterilmiştir.

### 4.6.1. Klorofil-a miktarı

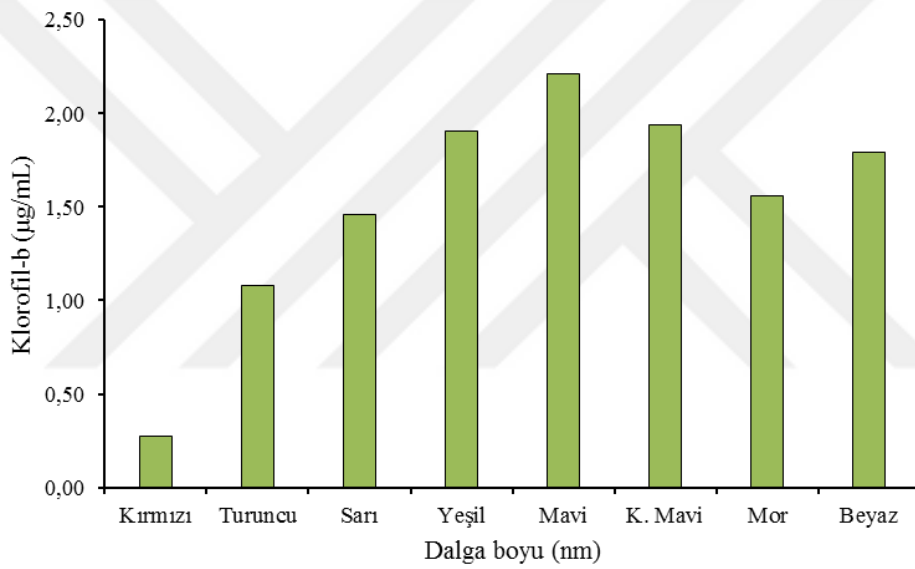
*Borodinellopsis texensis* kültüründe farklı dalga boylarında (kırmızı, yeşil, mavi, sarı, turuncu, koyu mavi, beyaz ve mor) uygulanan ışıkların 16 güne göre klorofil-a miktarları birbirinden farklı bulunmuştur. Son gün elde edilen verilere göre düşük klorofil-a değeri turuncu renkte  $2.64 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  bulunurken, en yüksek klorofil-a değeri ise mavi renkli dalga boyunda  $4.87 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  olarak tespit edilmiştir. *Borodinellopsis texensis*'in klorofil-a miktarı grafiği Şekil 4.14. de verilmiştir.



Şekil 4.14. *Borodinellopsis texensis* kültürüne ait 16. gün elde edilen klorofil-a miktarı grafiği.

#### 4.6.2. Klorofil-b miktarı

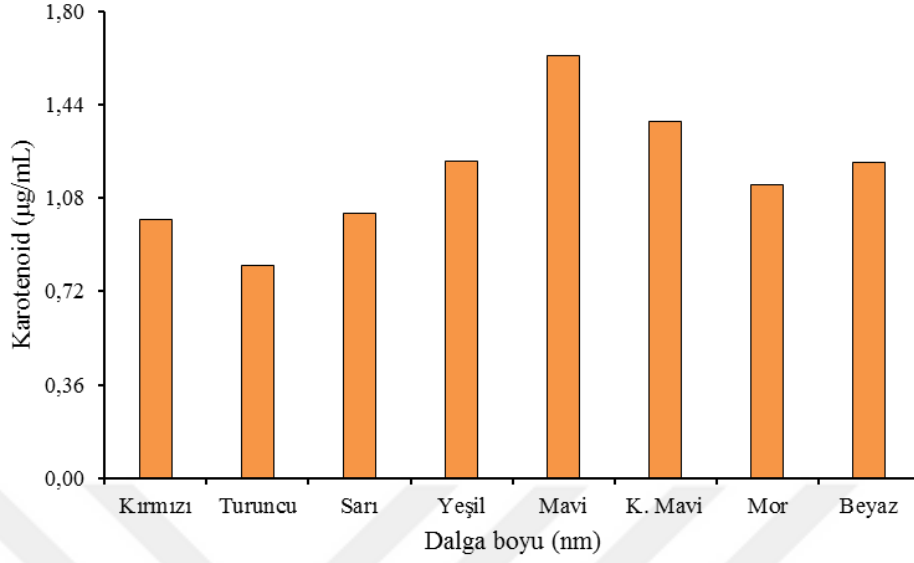
*Borodinellopsis texensis* kültüründe farklı dalga boylarında (kırmızı, yeşil, mavi, sarı, turuncu, koyu mavi, beyaz ve mor) uygulanan ışıkların 16 güne göre klorofil-b verimlilikleri birbirinden farklı bulunmuştur. Son gün elde edilen verilere göre en düşük klorofil-b değeri kırmızı renkte  $0.27 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  bulunurken, en yüksek klorofil-b değeri ise mavi renkli dalga boyunda  $2.21 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  olarak tespit edilmiştir. *Borodinellopsis texensis* kültürüne ait klorofil-b miktarı grafiği Şekil 4.15. de verilmiştir.



Şekil 4.15. *Borodinellopsis texensis* kültürüne ait 16. gün elde edilen klorofil-b miktarı grafiği.

#### 4.6.3. Karotenoid miktarı

*Borodinellopsis texensis* kültüründe farklı dalga boylarında (kırmızı, yeşil, mavi, sarı, turuncu, koyu mavi, beyaz ve mor) uygulanan ışıkların 16 güne göre karotenoid verimlilikleri birbirinden farklı bulunmuştur. Denemede son gün elde edilen verilere göre en düşük karotenoid değeri turuncu renkte  $0.82 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  bulunurken, en yüksek karotenoid değeri ise mavi renkli dalga boyunda  $1.63 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  olarak tespit edilmiştir. *Borodinellopsis texensis*'in karotenoid miktarı grafiği Şekil 4.16. da verilmiştir.



Şekil 4.16. *Borodinellopsis texensis* kültürüne ait 16. gün elde edilen karotenoid miktarı grafiği.

Saavedra ve ark., (1996), yılında yürütmüş oldukları araştırmada, aydınlatma olarak led ve floresan lamba ışık kaynağı ile *Dunaliella salina* mikroalgi geniş spektrum aralığında koyu kırmızı ışık altında deney ortamı hazırlamışlardır. Çalışma bitmesi ile sonuçları incelendiğinde koyu kırmızı led ışığın daha fazla etkili olduğunu ve yüksek miktarda karotenoid elde etmişlerdir. Sukenik, (1991), tarafından gerçekleştirilen çalışmada, üç farklı aydınlatma şiddetinden faydalanarak ve *N. oculata* mikroalg türünü kullanarak deney ortamını hazırlayarak bu deney düzeneğinin klorofil-a ve toplam karoten seviyesinde nasıl bir tesir yapacağını incelemişlerdir. Işık sistemindeki aydınlatma şiddetinin artış ile klorofil-a ve toplam karoten miktarlarının azaldığını belirtmişlerdir. Smayda, (1969), yılında yapmış olduğu incelemelerde, algler fotosentezinin yaparken ışık şiddetinden yararlanırlar ve bu konunun algler üzerinde fotosentetik pigmentler ile alakalı olduğunu belirtmiştir. Pigmentlerin aydınlatma şiddeti ile alakalı çalışmalar sonucunda yüksek gelen aydınlatma şiddetinin klorofil ve fikosiyanların gelen ışıkları absorbladığını rapor etmiştir.

Bu tez çalışmasında, farklı dalga boylarında (kırmızı, yeşil, mavi, sarı, turuncu, koyu mavi, beyaz ve mor) led ışık ve mikroalg olarak ise *Borodinellopsis texensis* türü kullanılmıştır. Araştırma olarak klorofil-a, klorofil-b ve karotenoid değerleri incelenmiştir. Sonuçta, mavi led ışık dalga boyunun klorofil-a  $4.87 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ , klorofil-b

2.21  $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  ve karotenoid ise 1.63  $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  değerlerinde olduğu tespit edilmiştir. *Borodinellopsis texensis* kültürlerine ait farklı dalga boylarında pigment miktarları Çizelge 4.2. de verilmiştir.

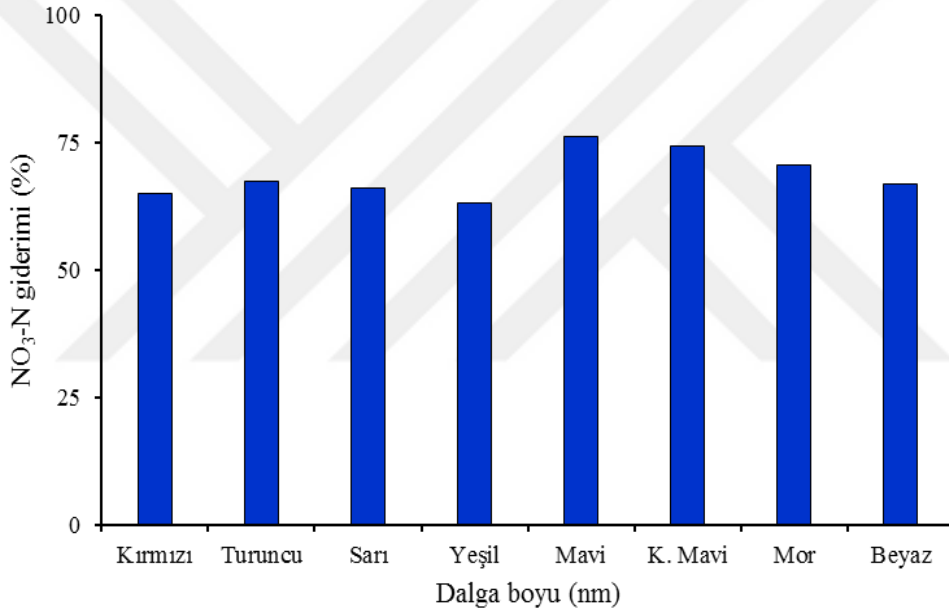
Çizelge 4.2. *Borodinellopsis texensis* kültürlerine ait farklı dalga boylarında klorofil-a, klorofil-b ve karotenoid miktarları.

| Değişkenler | Kırmızı | Turuncu | Sarı | Yeşil | Mavi | Koyu Mavi | Mor  | Beyaz |
|-------------|---------|---------|------|-------|------|-----------|------|-------|
| Klorofil-a  | 3.22    | 2.64    | 3.18 | 3.65  | 4.87 | 4.39      | 3.13 | 3.40  |
| Klorofil-b  | 0.27    | 1.08    | 1.46 | 1.91  | 2.21 | 1.94      | 1.56 | 1.79  |
| Karotenoid  | 1.00    | 0.82    | 1.02 | 1.22  | 1.63 | 1.38      | 1.13 | 1.22  |



#### 4.7. Toplam Azot Miktarı

*Borodinellopsis texensis* kültüründe farklı dalga boylarında (kırmızı, yeşil, mavi, sarı, turuncu, koyu mavi, beyaz ve mor) uygulanan ışıkların toplam azot verimlilikleri birbirinden farklı bulunmuştur. Denemede ilk ve son gün elde edilen verilere göre en düşük toplam azot değeri yeşil renkte % 63.19 bulunurken, en yüksek toplam azot değeri ise mavi renkli dalga boyunda % 76.25 olarak tespit edilmiştir. *Borodinellopsis texensis* kültürüne ait toplam azot miktarı grafiği Şekil 4.17. de verilmiştir.

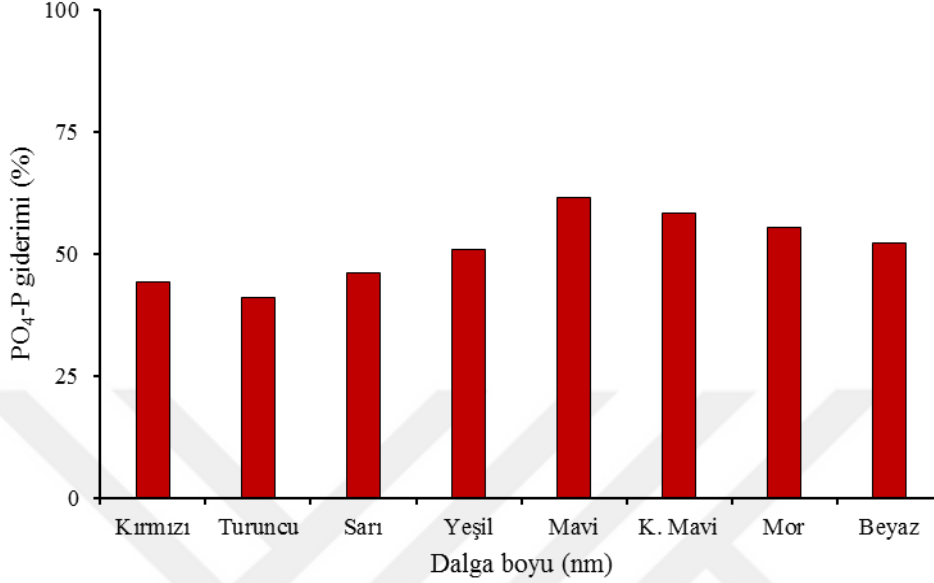


Şekil 4.17. *Borodinellopsis texensis* kültürüne ait toplam azot miktarı grafiği.

#### 4.8. Toplam Fosfor Miktarı

*Borodinellopsis texensis* kültüründe farklı dalga boylarında (kırmızı, yeşil, mavi, sarı, turuncu, koyu mavi, beyaz ve mor) uygulanan ışıkların 16 güne göre toplam fosfor verimlilikleri birbirinden farklı bulunmuştur. Denemede ilk ve son gün elde edilen verilere göre en düşük toplam fosfor değeri turuncu renkte % 41.00 bulunurken, en yüksek toplam fosfor değeri ise mavi renkli dalga boyunda % 61.50 olarak tespit

edilmiştir. *Borodinellopsis texensis* kültürlerine ait toplam fosfor miktarı grafiği Şekil 4.18. de verilmiştir.



Şekil 4.18. *Borodinellopsis texensis* kültürüne ait toplam fosfor miktarı grafiği.

Converti ve ark., (2009), yılında yürütmüş oldukları araştırmada, *N. oculata* ve *C. vulgaris* mikroalg türlerine düşük miktarda N konsantrasyonu uygulayarak mikroalgler üzerinde nasıl bir etkisinin olacağını incelemişler ve deney sonunda ise *N. oculata*'da çoğalma hızının düştüğünü, *C. vulgaris*'te ise etkisinin olmadığını belirtmiştir. Xu ve ark. (2001), yılında yapmış oldukları araştırmada, farklı N kaynakları ve azotsuz ortamlarda *Ellipsoidion* sp. mikroalg türünün hangi ortamda logaritmik büyümedeki faz artış hızını incelemeleri sonucunda en az çoğalma hızının ise azotsuz ortamdaki kültürde olduğunu tespit etmişlerdir. Thomas ve ark., (1984), gerçekleştirdikleri araştırmada, deney süresince yetecek kadar N ve azot eksikliğinin olduğu ortamlara *P. tricornutum*'u mikroalg türünü tercih ederek kurmuşlardır. Deney sonuçlarına baktıkları zaman *P. tricornutum*'u mikroalg türüne en az tesirli olarak çoğalmasını sağlayan azot eksikliğinin olduğu ortma olarak rapor etmişlerdir. (Kilham ve ark., 1997; Pruvost ve ark., 2009), yılında yaptıkları deneylerde, deney süresince yetecek kadar N ve azot eksikliğinin olduğu ortmalara *P. tricornutum*'u mikroalg türünü tercih ederek kurmuşlardır. Deney sonuçlarına baktıkları zaman *P. tricornutum*'u mikroalg türünde en az tesirli olarak hücre çoğalmasının azalmasına ve biyokütle miktarlarında düşmelere neden olduğunu söylemişlerdir.

Sonuçta, mavi led ışık dalga boyunda toplam azot % 76.25 ve toplam fosfor % 61.50 değişimleri üzerinde etkili olduğu tespit edilmiştir. *Borodinelopsis texensis* kültürlerine ait farklı dalga boylarındaki toplam azot ve toplam fosfor değişimi Çizelge 4.3. te verilmiştir.

Çizelge 4.3. *Borodinelopsis texensis* kültürlerine ait farklı dalga boylarındaki toplam azot ve toplam fosfor miktarları.

| Değişkenler       | Kırmızı | Turuncu | Sarı  | Yeşil | Mavi  | Koyu Mavi | Mor   | Beyaz |
|-------------------|---------|---------|-------|-------|-------|-----------|-------|-------|
| Toplam azot (%)   | 65.00   | 67.27   | 66.00 | 63.18 | 76.25 | 74.33     | 70.45 | 66.77 |
| Toplam fosfor (%) | 44.20   | 41.00   | 46.00 | 51.00 | 61.50 | 58.23     | 55.45 | 52.22 |



## 5. SONUÇ

Bu tez çalışmasında, ilk olarak 1L'lik kabarcıklı kolon fotobiyoreaktörün tasarımı yapıldı. Fotobiyoreaktörün; yükseklik; 50 cm, iç çapı; 6 cm, dış çapı; 7 cm, ışık ceketi uygulanacak bölümünde % 90.00 ışık geçirgenliğine ve 1.49 kırılma indisine sahip saydam dairesel pleksiglas tercih edildi. Fotobiyoreaktöründe hacim 1.4 L olacak şekilde tasarlanmış olup, tez çalışmasında ise 1000 mL olarak işletildi.

*Borodinellopsis texensis* mikroalg türü laboratuvar ortamında silindirik yapıdaki kabarcıklı kolon fotobiyoreaktörde 1 L hacimde kesikli olarak, 16:8 aydınlık:karanlık oranında,  $25\pm 1$  °C sıcaklıkta,  $100 \mu\text{mol foton/m}^2\cdot\text{s}$  ışık şiddetinde, pH dengede tutmak için belirli şartlarda karbondioksit aktarımı ve havalandırma ise bir kompresör aracılığı ile sağlandı. Farklı dalga boylarında (kırmızı, yeşil, mavi, sarı, turuncu, koyu mavi, beyaz ve mor) ışık üretilebilmesi için reaktör çevresi boyunca yerleştirilen iç kısmı RGB LED'lerle kaplı bir ışık ceketi sistemi kullanıldı. Besi ortamı olarak ise BBM (Basal-Bold-Medium) besi yeri tercih edilerek kültüre alındı. Farklı dalga boyların uygulanması ile *Borodinellopsis texensis* mikroalg türünde biyokimyasal yapısında değişikliklerin ortaya çıkmasına sebep oldu. Böylelikle tez çalışmasının sonucunda optik yoğunluk (680 nm), hasat edilen mikroalgal biyokütle ( $\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ), spesifik büyüme hızı ( $\text{gün}^{-1}$ ), klorofil-a ( $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ), klorofil-b ( $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ), karotenoid ( $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ), Toplam azot (TN, ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )) ve Toplam fosfor (TP, ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )) en verimli değerler belirlenerek optimizasyon çalışmaları yapıldı.

Bu tez çalışmasında farklı dalga boylarında büyütülen *Borodinellopsis texensis*, optik yoğunluk değişimlerine göre incelendiği zaman en iyi büyümenin mavi renkli led ışıkta olup, en düşük büyümenin ise turuncu renkteki led ışıkta meydana geldiği gözlemlendi. *Borodinellopsis texensis*'in farklı dalga boyları altındaki biyokütle değerleri incelendiği zaman sırasıyla en düşük değerdeki sarı led ışıkta bulunurken en yüksek değer sarı ışıktan 1.5 kat daha büyük olan mavi led ışıkta olduğu bulundu. Spesifik büyüme hızı için en düşük değer turuncu renkte bulunurken  $0.11 \text{ gün}^{-1}$ , en yüksek değer ise mavi led ışıkta  $0.20 \text{ gün}^{-1}$  ile bulundu. Bu çalışmada *Borodinellopsis texensis* mikroalg türünün optik yoğunluk, biyokütle ve spesifik büyüme hızı değerlerinin en yüksek mavi led ışıkta olduğunu saptandı.

*Borodinellopsis texensis*'in pigment içeriği klorofil-a, klorofil-b ve karotenoid miktarlarına bakılarak hesaplandı. Klorofil-a miktarındaki değişimler izlendiğinde en yüksek değer mavi led ışıkta  $4.87 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  olduğu ve onu ikinci olarak ise koyu mavi renkteki led ışık  $4.39 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  takip etmektedir. Yaptığımız çalışmada klorofil-b değerleri incelendiği zaman en düşük değere sahip kırmızı renkli led ışıktan 8 kat daha büyük olan mavi led ışıkta olduğu bulundu. Karotenoid miktarlarında ise en düşük değerin turuncu renkli led ışıkta  $0.82 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  ve en yüksek değerin ise mavi led ışıkta  $1.63 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  olduğu gösterildi. Sonuç olarak *Borodinellopsis texensis* mikroalg türünün klorofil-a, klorofil-b ve karotenoid değerlerinin en yüksek mavi led ışıkta olduğunu gösterdi.

Yaptığımız çalışmada ayrıca, farklı dalga boylarını kullanarak *Borodinellopsis texensis* mikroalg türünün toplam azot ve toplam fosfor miktarları hesaplandı. Toplam azot miktarındaki değişimler izlendiğinde en yüksek değerin mavi led ışıkta % 76.25 olduğunu onu ikinci olarak ise koyu mavi renkteki led ışık % 74.33 takip etmektedir. Deneylemlerden elde edilen veriler doğrultusunda en düşük fosfor değerin turuncu renkli led ışıkta % 41,00 ve en yüksek değerin ise mavi led ışıkta % 61.50 olduğu görüldü. *Borodinellopsis texensis* mikroalg türünün toplam azot ve toplam fosfor değerlerinin en yüksek mavi led ışıkta olduğunu gösterildi. Bundan sonraki çalışmalarda daha geniş reaktör sistemlerinde *Borodinellopsis texensis*'in yüksek biyokütle verimi hesaplamaları yapılabilir.

## KAYNAKLAR

- Aksay, C. S., Ketenoğlu, O., Kurt, L., 2005. Küresel ısınma ve iklim değişikliği. *Selçuk Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi*, **25**: 29-42.
- Algaebase, 2019. Mikroalg hakkında bilgi. [https://www.algaebase.org/search/species/detail?species\\_id=k4ced61b15a3d0c0a](https://www.algaebase.org/search/species/detail?species_id=k4ced61b15a3d0c0a). Erişim tarihi: 06.07.2019.
- Amponsah, N.Y., Troldborg, M., Kington, B., Aalders, I., Hough, R.L., 2014. Greenhouse gas emissions from renewable energy sources: A review of lifecycle considerations. *Renewable Sustainable Energy Reviews*, **39**: 461-475.
- Bahadar, A., Bilal Khan, M., 2013. Progress in energy from microalgae: A review. *Renewable Sustainable Energy Reviews*, **27**: 128-148.
- Barsanti, L., Gualtieri, P., 2006. *Algae: Anatomy, Biochemistry, and Biotechnology*. CRC Press, Boca Raton, New York.
- Becker, E.W., 2007. Micro-algae as a source of protein. *Biotechnol. Adv.*, **25** (2): 207-210.
- Beijerinck, M.W., 1890. Kulturversuche mit Zoochloren, Lichenengonidien and anderen niederen. *Algen, Bot Z*, **48**: 725-785.
- Bhattacharyya, S. C., 2011. *Energy Economics: Concepts, Issues, Markets and Governance*. Springer science & business media.
- Blair, M. F., Kokabian, B., Gude, V. G., 2014. Light and growth medium effect on *Chlorella vulgaris* biomass production. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, **2**: 665-674.
- Blanken, W., Cuaresma, M., Wijffels, R.H., Janssen, M., 2013. Cultivation of microalgae on artificial light comes at a cost. *Algal Research*, **2** (4): 333-340.
- BP, June 2018. Statistical Review of World Energy. [www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2018-fullreport.pdf](http://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2018-fullreport.pdf). Erişim tarihi: 06.07.2018.
- 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): 557-577.
- Carvalho, A.P., Silva, S.O., Baptista, J.M., Malcata, F.X., 2011. Light requirements in microalgal photobioreactors: an overview of biophotonic aspects. *Appl Microbiol Biotechnol*, **89** (5): 1275-1288.
- Ccala, 2019. Mikroalg hakkında bilgi. <http://ccala.butbn.cas.cz/en/borodinellopsis-texensis-dykstra>. Erişim tarihi: 06.07.2019.
- Chisti, Y., 2007. Biodiesel from microalgae. *Biotechnol. Adv.*, **25** (3): 294-306.
- Cohn, F., 1850. Zur naturgeschichte des protococcus pluvialis kützing. *Nova Acta Academia Leopoldensis Caroliensis*, **22**: 607.
- Converti, A., Casazza, A.A., Ortiz, E.Y., Perego, P., Del Borghi, M., 2009. Effect of temperature and nitrogen concentration on the growth and lipid content of *Nannochloropsis oculata* and *Chlorella vulgaris* for biodiesel production. *Chemical Engineering and Processing*, **48**: 1146-1151.
- Çanka Kılıç, F., 2011. Biyogaz, Önemi, Genel Durumu ve Türkiye'deki Yeri, *Mühendis ve Makina*, **52** (617): 94-106.
- Çukurçayır, A., Sağır, H., 2007. Enerji sorunu, çevre ve alternatif enerji kaynakları. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, **20**: 257-278.

- Das, P., Lei, W., Aziz, S. S., Obbard, J. P., 2011. Enhanced algae growth in both phototrophic and mixotrophic culture under blue light. *Bioresource Technology*, **102**: 3883–3887.
- Demirbas, A., 2010. Use of algae as biofuel sources, *Energy Conversion and Management*, **51** (12): 2738-2749.
- Dresselhaus, M.S., Thomas, I.L., 2001. Alternative energy Technologies. *Nature*, **414** (6861): 332.
- Elcik, H., Çakmakçı, M., (2017). Mikroalglerden Yenilenebilir Biyoyakıt Üretimi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **32** (3): 795-820.
- ETB, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2016. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ile Bağlı, ilgili ve ilişkili Kuruluşlarının Amaç ve Faaliyetleri, [www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FMavi%20Kitap%2FMavi\\_kitap\\_2016.pdf](http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FMavi%20Kitap%2FMavi_kitap_2016.pdf). Erişim tarihi:19.03.2018.
- Eriksen, N.T., 2008. The technology of microalgal culturing, *Biotechnol. Lett*, **30** (9): 1525-1536.
- Guschina, I.A., Harwood, J.L., 2006. “Lipids and lipid metabolism in eukaryotic algae”. *Progress in Lipid Research* **45**: 160–186.
- Hariskos, I., Posten, C., 2014. Biorefinery of microalgae - opportunities and constraints for different production scenarios. *Biotechnol. Journal*, **9** (6): 739-752.
- Hidaka, T., Inoue, K., Suzuki, Y., Tsumori, J., 2014. Growth and anaerobic digestion characteristics of microalgae cultivated using various types of sewage. *Bioresour. Technol*, **170**: 83-89.
- Hultberg, M., Jönsson, H. L., Bergstrand, K. J., Carlsson, A.S., 2014. Impact of light quality on biomass production and fatty acid content in the microalga *Chlorella vulgaris*. *Bioresource Technology*, **159**: 465–467.
- Kalkan, h., Gozlemevi.omu Elektromanyetik spektrum nedir. [https://gozlemevi.omu.edu.tr/depo/elektromanyetik\\_spektrum.pdf](https://gozlemevi.omu.edu.tr/depo/elektromanyetik_spektrum.pdf). Erişim tarihi:19.07.2019.
- Katarzyna, L., Sai, G., Singh, O.A., 2015. Non-enclosure methods for non-suspended microalgae cultivation: literature review and research needs. *Renewable Sustainable Energy Review*, **42**: 1418-1427.
- Khan, S.A., Rashmi Hussain, M.Z., Prasad, S., Banerjee, U.C., 2009. Prospects of biodiesel production from microalgae in India. *Renewable Sustainable Energy Reviews*, **13** (9): 2361-2372.
- Kilham, S.S., Kreeger, D.A., Goulden, C.A., Lynn, S.G., 1997. Effects of nutrient limitation on biochemical constituents of *Ankistrodesmus falcatus*. *Freshwater Biology*, **38**: 591-596.
- Koç, E., Şenel, M. C., 2013. “Dünyada ve Türkiye’de Enerji Durumu - Genel Değerlendirme,”. *Mühendis ve Makina*, **54** (639): 532-44.
- Koray, T., 2002. *Denizel Fitoplankton*. Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Yay. No:32, İzmir.
- Kumar, P., Barrett, D.M., Delwiche, M.J., Stroeve, P., 2009. Methods for pretreatment of lignocellulosic biomass for efficient hydrolysis and biofuel production. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, **48** (8): 3713-3729.
- Kumar, A., Ergas, S., Yuan, X., Sahu, A., Zhang, Q., Dewulf, J., Malcata, F.X., van Langenhove, H., 2010. Enhanced CO<sub>2</sub> fixation and biofuel production via microalgae: recent developments and future directions. *Trends Biotechnol*, **28** (7): 371-380.



- Küçükaya, E., 2017. Biyokütle enerjisi nedir. <https://www.enerjiportali.com/biyokütle-enerjisi-nedir>. Erişim tarihi:19.07.2019.
- Lakaniemi, A.M., 2012. *Microalgal cultivation and utilization in sustainable energy production*, Ph. D., Tampere University of Technology, Department of Chemistry and Bioengineering, Tampere.
- Lavens, P., Sorgeloos, P., 1996. Manual on the production and use of live food for aquaculture. *FAO Fisheries*, **361**: 1-295.
- Mahir E., 2015. Işık tayfi nedir. Bilimgenc.tubitak. <https://www.bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/isik-tayfi-nedir>. Erişim tarihi:19.07.2019.
- Mata, T.M., Martins, A.A., Caetano, N.S., 2010. Microalgae for biodiesel production and other applications: A review. *Renewable Sustainable Energy Reviews*, **14** (1): 217-232.
- Medeiros, D.L., Sales, E.A., Kiperstok, A., 2015. Energy production from microalgae biomass: carbon footprint and energy balance. *J. Cleaner Prod*, **96**: 493-500.
- Miao, X., Wu, Q., 2004. High yield bio-oil production from fast pyrolysis by metabolic controlling of *Chlorella protothecoides*. *Journal of Biotechnol*, **110** (1): 85-93.
- MMO, 2018. Türkiye'nin Enerji Görünümü, Yayın No:MMO/691, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, [www.mmo.org.tr/sites/default/files/EnerjiGorunumu 2018 1.pdf](http://www.mmo.org.tr/sites/default/files/EnerjiGorunumu%2018%201.pdf). Erişim tarihi:19.03.2018.
- Muñoz, R., Guieysse, B., 2006. Algal–bacterial processes for the treatment of hazardous contaminants: A review. *Water Research*, **40** (15): 2799-2815.
- Nutman, A.P., Bennett, V.C., Friend, C.R.L., Van Kranendonk, M.J., Chivas, A.R., 2016. Rapid emergence of life shown by discovery of 3,700-million-year-old microbial structures. *Nature*, **537**: 535-538.
- Obernberger, I., Thek, G., 2004. Physical characterisation and chemical composition of densified biomass fuels with regard to their combustion behaviour. *Biomass and Bioenergy*, **27** (6): 653-669.
- Oswald, J.W., Golueke, C.G., 1960. Biological transformation of solar energy. *BAdvances in applied microbiology*, **2**: 223-262.
- Pragya, N., Pandey, K.K., Sahoo, P.K., 2013. A review on harvesting, oil extraction and biofuels production technologies from microalgae. *Renewable Sustainable Energy Reviews*, **24**: 159-171.
- Pruvost, J., Van Vooren, G., Cogne, G., Legrand, J., 2009. Investigation of biomass and lipids production with *Neochloris oleoabundans* in photobioreactor. *Bioresource Technology*, **100**: 5988-5995.
- Raesossadati, M.J., Ahmadzadeh, H., McHenry, M.P., Moheimani, N.R., 2014. CO<sub>2</sub> bioremediation by microalgae in photobioreactors: Impacts of biomass and CO<sub>2</sub> concentrations, light, and temperature. *Algal Research*, **6**: 78-85.
- Rashid, N., Ur Rehman, M.S., Sadiq, M., Mahmood, T., Han, J.-I., 2014. Current status, issues and developments in microalgae derived biodiesel production. *Renewable Sustainable Energy Reviews*, **40**: 760-778.
- Rawat, I., Ranjith Kumar, R., Mutanda, T., Bux, F., 2013. Biodiesel from microalgae: A critical evaluation from laboratory to large scale production. *Appl. Energy*, **103**: 444-467.
- Razzak, S.A., Hossain, M.M., Lucky, R.A., Bassi, A.S., de Lasa, H., 2013. Integrated CO<sub>2</sub> capture, wastewater treatment and biofuel production by microalgae culturing—A review. *Renewable Sustainable Energy Reviews*, **27**: 622-653.

- REN21., 2016. "Renewables 2016 Global Status Report", Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21), <http://www.ren21.net/status-of-renewables/global-status-report>. Erişim tarihi: 8.11.2016.
- Ruiz-Martinez, A., Serralta, J., Pachés, M., Seco, A., Ferrer, J., 2014. Mixed microalgae culture for ammonium removal in the absence of phosphorus: Effect of phosphorus supplementation and process modeling. *Process Biochem*, **49** (12): 2249-2257.
- Saavedra, M.P.S., Jimenez, C., Figueroa, F.L., 1996. Far-red light inhibits growth but promotes carotenoid accumulation in the green microalga *Dunaliella bardawi*. *Physiol. Plant*, **98**: 419-423.
- Samori, G., Samori, C., Guerrini, F., Pistocchi, R., 2013. Growth and nitrogen removal capacity of *Desmodesmus communis* and of a natural microalgae consortium in a batch culture system in view of urban wastewater treatment: Part I. *Water Research*, **47** (2): 791-801.
- Schenk, P.M., Thomas-Hall, S.R., Stephens, E., Marx, U.C., Mussgnug, J.H., Posten, C., Kruse, O., Hankamer, B., 2008. Second generation biofuels: high-efficiency microalgae for biodiesel production. *Bioenergy Research*, **1** (1): 20-43.
- Siaut, M., Heijde, M., Mangogna, M., Montsant, A., Coesel, S., Allen, A., Manfredonia, A., Falciatore, A., Bowler, C., 2007. Molecular toolbox for studying diatom biology in *Phaeodactylum tricornutum*. *Gene*, **406** (1-2): 23-35.
- Singh, A., Nigam, P.S., Murphy, J.D., 2011. Mechanism and challenges in commercialisation of algal biofuels. *Bioresour. Technol*, **102** (1): 26-34.
- Singh, B., Guldhe, A., Rawat, I., Bux, F., 2014. Towards a sustainable approach for development of biodiesel from plant and microalgae. *Renewable Sustainable Energy Reviews*, **29**: 216-245.
- Singh, P., Guldhe, A., Kumari, S., Rawat, I., Bux, F., 2015. Investigation of combined effect of nitrogen, phosphorus and iron on lipid productivity of microalgae *Ankistrodesmus falcatus* KJ671624 using response surface methodology. *Biochem. Eng. Journal*, **94**: 22-29.
- Smayda, T.J., 1969. Experimental observations on the influence of temperature, light and salinity on cell division of the marine diatom, *detonula confervacea* (Cleve) gran 2. *Journal of Phycology*, **5** (2): 150-157.
- Suali, E., Sarbatly, R., 2012. Conversion of microalgae to biofuel. *Renewable Sustainable Energy Reviews*, **16** (6): 4316-4342.
- Sukenik, A., 1991. Ecophysiological considerations in the optimization of eicosapentaenoic acid production by *Nannochloropsis sp.* (Eustigmatophyceae). *Bioresour. Technol*, **35** (3): 263-269.
- Şahin, Y., Akyurt, İ., 2010. Planktonlar ve fotobiyoreaktörler (Derl.). *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi / The Black Sea Journal of Sciences*, Sonbahar **1** (2): 83-92.
- Teo, C. L., Atta, M., Bukhari, A., Taisir, M., Yusuf, A. M., Idris, A., 2014. Enhancing growth and lipid production of marine microalgae for biodiesel production via the use of different LED wavelengths. *Bioresour. Technology*, **162**: 38-44.
- Thomas, W.H., Seibert, D.L.R., Alden, M., Neori, A., Eldridge, P., 1984. Yields, photosynthetic efficiencies and proximate composition of dense marine microalgal cultures. I. Introduction and *Phaeodactylum tricornutum* experiments. *Biomass*, **5** (3): 181-209.
- TP, 2016. TP Ham Petrol Ve Doğalgaz Sektör Raporu, [http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FSekt%C3%B6r%20Raporu%2FTP\\_HA](http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FSekt%C3%B6r%20Raporu%2FTP_HA)

- M PETROLDOGAL GAZ SEKTOR RAPORU 2015.pdf**. 1-46. Erişim tarihi: 8.11.2016.
- Türkyılmaz, O., Aytaç, O. Bayrak, Y., 2017. Türkiyedeki Enerji Görünümü, **[https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/TURKIYE%20ENERJI%20GORUNUMU%2017%2825.03%29.pdf](https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/TURKIYE%20ENERJI%20GORUNUMU%202017%2825.03%29.pdf)**. Erişim tarihi: 8.11.2018.
- Wang, C.Y., Fu, C.C., Liu, Y.C., 2007. Effects of using light-emitting diodes on the cultivation of *Spirulina platensis*. ***Journal of Biochemical Engineering*, 37**: 21-25.
- Wang, B., Li, Y., Wu, N., Lan, C.Q., 2008. CO<sub>2</sub> bio-mitigation using microalgae, ***Appl. Microbiol. Biotechnol*, 79** (5): 707-718.
- Xu, N., Zhang, X., Fan, X., Han, L., Zeng, C., 2001. Effects of nitrogen source and concentration on growth rate and fatty acid composition of *Ellipsoidion* sp. (Eustigmatophyta). ***Journal of Applied Phycology*, 13**: 463-469.
- Xu, M., Bernards, M., Hu, Z., 2014. Algae-facilitated chemical phosphorus removal during high-density *Chlorella emersonii* cultivation in a membrane bioreactor. ***Bioresour. Technol*, 153**: 383-387.
- Yağlı, H., Koc, A., Karakus, C., Koc, Y. 2016. "Comparison of Toluene and Cyclohexane as a Working Fluid of an Organic Rankine Cycle Used for Reheat Furnace Waste Heat Recovery,". ***International Journal of Exergy*, 19** (3): 420-438.
- Yalçın, D.D., 1 temmuz 2018. Alglerin kültür sistemleri. **<https://algler.biyokimyalab.org/kultur-sistemleri/>**. Erişim tarihi:19.03.2019.
- Yeh, K.-L., Chang, J.-S., Chen, W.-m., 2010. Effect of light supply and carbon source on cell growth and cellular composition of a newly isolated microalga *Chlorella vulgaris* ESP-31, ***Eng. Life Scendenrct*, 10** (3): 201-208.
- Zhu, J., Rong, J., Zong, B., 2013. Factors in mass cultivation of microalgae for biodiesel, Chin. ***Journal of Catal*, 34** (1): 80-100.
- Zhu, L., 2015. Biorefinery as a promising approach to promote microalgae industry: An innovative framework. ***Renewable Sustainable Energy Reviews*, 41**: 1376-1384.



## ÖZ GEÇMİŞ

1991 yılında Van İli'nde doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Van'da tamamladı. Erzurum'da bulunan Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölüm'den 2018 yılında mezun oldu. Aynı yıl ise Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans eğitimine devam edildi.



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

Tarih: 08/01/2020

Tez Başlığı / Konusu: **Mikroalglerden Biyokütle Üretimi İçin 1'Lik Kabarcıklı Kolon Fotobiyoreaktörün Tasarımı**

Yukarıda başlığı/konusu belirlenen tez çalışmamın Kapak sayfası, Giriş, Ana bölümler ve Sonuç bölümlerinden oluşan toplam 63 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 % 6 (altı) 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 kelimedenden 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: Said Nur Gazioğlu

Öğrenci No: 17910001161

Anabilim Dalı: Çevre Mühendisliği ABD

Program: Tezli Yüksek Lisans

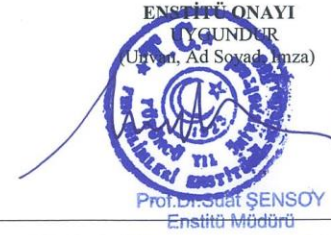
Statüsü: Y. Lisans

Doktora

**DANIŞMAN ONAYI**  
UYGUNDUR  
Dr. Öğr. Üyesi Melih ONAY



**ENSTİTÜ ONAYI**  
UYGUNDUR  
(Unvan, Ad Soyad, İmza)



Prof. Dr. Suat ŞENSOY  
Enstitü Müdürü