

**T.C.  
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**LED AYDINLATMADA FARKLI DALGA BOYLARININ  
*Botryococcus braunii* YETİŞTİRİCİLİĞİNDEN ELDE EDİLEN  
BİYOKÜTLENİN ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

**Çiğdem KURT**

**Danışman  
Prof. Dr. Kamil EKİNCİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
TARIM MAKİNELERİ VE TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ISPARTA – 2018**



© 2018 [Çiğdem KURT]

## TEZ ONAYI

**Çiğdem KURT** tarafından hazırlanan "**Led Aydınlatmada Farklı Dalga Boylarının *Botryococcus braunii* Yetiştiriciliğinden Elde Edilen Biyokütlenin Özelliklerine Etkisi**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

**Danışman**

**Prof. Dr. Kamil EKİNCİ**  
Süleyman Demirel Üniversitesi



**Jüri Üyesi**

**Prof. Dr. Ahmet Kamil BAYHAN**  
Süleyman Demirel Üniversitesi



**Jüri Üyesi**

**Dr. Öğr. Üyesi Caner KOÇ**  
Ankara Üniversitesi



**Enstitü Müdürü**

**Prof. Dr. Yasin TUNCER**

.....

## TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

**Çiğdem KURT**



## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER .....	İ
ÖZET .....	İİİ
ABSTRACT .....	İV
TEŞEKKÜR .....	V
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	VI
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	VII
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	VIII
1. GİRİŞ .....	1
1.1. Mikroalglerin Tanımı ve Genel Özellikleri .....	4
1.2. Mikroalg Üretim Sistemleri .....	5
1.3. Mikroalg Yetiştirme Parametreleri .....	6
1.3.1. Işık .....	6
1.3.2. Sıcaklık .....	7
1.3.3. pH .....	8
1.3.4. Besin etkisi .....	9
1.4. Mikroalglerin Yağ İçeriği .....	9
1.5. Mikroalg Üretiminde LED'lerin Kullanımı .....	10
1.6. Biyodizel .....	12
1.6.1 Biyodizel üretimi .....	13
2. KAYNAK ÖZETLERİ .....	15
3. MATERYAL VE METOT .....	21
3.1 Materyal .....	21
3.2. Metot .....	22
3.2.1. Sterilizasyon ve ortam hazırlığı .....	22
3.2.2. Mikroalg besin kültürünün hazırlanması .....	23
3.2.3. Mikroalg kültürünün besin yerine aşılınması .....	24
3.2.4. Mikroalglerin yetiştirilmesi ve deney düzeneği .....	24
3.2.5. FAR ölçümleri .....	26
3.2.6. Enerji ölçümü .....	28
3.2.7. pH, elektriksel iletkenlik (EC) ve çözünmüş oksijen (DO <sub>2</sub> ) ölçümleri .....	28
3.2.8. Optik yoğunluk ölçümü .....	29
3.2.9. Klorofil a ve klorofil b analizi .....	30
3.2.10. Biyokütle ölçümü .....	31
3.2.11. Mikroalglerin hasat edilmesi .....	32
3.2.12. Mikroalglerin yağ ekstraksiyonu .....	34
3.2.13. Renk ölçümü .....	36
3.2.14. Mikroalglerin yağ asitleri kompozisyonunun belirlenmesi .....	37
3.2.15. Mikroalglerin toplam karbon (C) ve azot (N) içeriğinin belirlenmesi .....	37
3.2.16. İstatistiksel değerlendirme .....	38
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA .....	39
4.1. Ortam Parametrelerinin Değişimi .....	39
4.1.1. pH değişimi .....	39
4.1.2. EC değişimi .....	40
4.1.3. DO <sub>2</sub> değişimi .....	41
4.2. Mikroalg Biyokütle İle İlgili Değişimler .....	42
4.2.1. OD değişimi .....	42
4.2.2. Biyokütle ölçümleri .....	43

4.2.3. Klorofil a ve klorofil b değişimleri.....	44
4.3. Mikroalgal Biyokütlelerin C ve N İçerikleri.....	46
4.4. Mikroalgal Biyokütle Miktarları, Yağ Oranları ve Kompozisyonları .....	47
4.5. Mikroalgal Biyokütle Üretiminde Enerji Tüketimi.....	51
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	52
KAYNAKLAR .....	55
ÖZGEÇMİŞ .....	63



## ÖZET

### Yüksek Lisans Tezi

## LED AYDINLATMADA FARKLI DALGA BOYLARININ *Botryococcus braunii* YETİŞTİRİCİLİĞİNDEN ELDE EDİLEN BİYOKÜTLENİN ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Çiğdem KURT

Süleyman Demirel Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü

Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Kamil EKİNCİ

Bu çalışmada farklı dalga boylarında LED aydınlatma sistemi kullanılarak yağ oranı yüksek olan *Botryococcus braunii* mikroalg türünün yetiştirilmesi ile elde edilen biyokütle miktarı ve bu biyokütleden çıkan yağın özellikleri ile biyodizel özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Yetiştirme parametreleri Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Algal Biyokütle Laboratuvarında belirlenmiştir. Deneme stok kültür kabinlerinde gerçekleştirilmiş olup ortam sıcaklığı 25 °C olarak ayarlanmıştır. Kabinlerdeki LED lambaların renkleri %100 mavi, %100 kırmızı, %80 kırmızı-%20 mavi, %80 mavi-%20 kırmızı, %100 soğuk beyaz (kontrol grubu) olup Fotosentetik Aktif Radyasyon değeri  $50 \pm 5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  olarak ayarlanmıştır. Mikroalglerin ışıklandırma süreleri 16:8 h aydınlık: karanlık periyotlar halinde ayarlanmıştır. Her bir LED lamba altında üç tekerrürlü olarak algler yetiştirilmiştir. Tüm deneme boyunca pH, EC, DO<sub>2</sub>, biyokütle, klorofil a, klorofil b, OD analizleri yapılmıştır ve deneme sonunda mikroalgler hasat edilmiştir. Hasat edilen mikroalglerden elde edilen biyoküteller Soxhlet Ekstraksiyonu yöntemi ile yağı çıkarılmıştır. Hasat işlemi sonunda 2.136 g ile en yüksek biyokütle değeri %80 mavi-%20 kırmızı renk altında yetişen mikroalglerde olup 0.757 g ile en düşük biyokütle değeri %100 kırmızı renk altında yetişen mikroalglerde olduğu tespit edilmiştir. %80 mavi-%20 kırmızı renk altında yetişen mikroalglerde 1.0111 g değeri ile en yüksek yağ oranı elde edilirken bu değeri 0.7410 g ile %80 kırmızı-%20 mavi renk altında yetişen mikroalgler takip etmiştir. En düşük yağ değeri ise 0.2091 g ile %100 kırmızı renk altında yetişen mikroalglerden elde edilmiştir. Deneme sonunda 5 farklı LED lamba altında yetiştirilen mikroalglerin yağ asitleri analizi Süleyman Demirel Üniversitesi Merkezi Laboratuvarında belirlenmiştir. *Botryococcus braunii* mikroalg türünün en önemli yağ asitleri oleik, linoleik ve palmitik asitlerdir. Oleik asit değerinin yüksek oluşu biyodizel üretimi açısından önemli bir parametredir. LED aydınlatma sistemlerinin elektrik sayacı ile günlük enerji tüketimleri ölçülmüştür. 0.0202 kwh/g değeri ile %80 kırmızı-%20 mavi renkli LED lambaların en ekonomik olduğu tespit edilmiştir. Bunu 0.0277 kwh/g değeri ile %80 mavi-%20 kırmızı renkli LED'ler takip etmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Alg, Mikroalg, *Botryococcus braunii*, Biyokütle, LED Aydınlatma, Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Biyodizel

2018, 63 sayfa

## ABSTRACT

M.Sc. Thesis

### THE EFFECT OF LED LIGHTING WITH DIFFERENT WAVE LENGTH ON CHARACTERISTICS OF BIOMASS OBTAINED FROM *Botryococcus braunii* CULTIVATION

Çiğdem KURT

Süleyman Demirel University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Agricultural Machinery and Technologies Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Kamil EKİNCİ

In this study, it was aimed to determine the quantity biomass, properties of oil and biodiesel obtained from biomass of microalgae (*Botryococcus braunii*) which have high lipid content by using LED lighting system in different wave lengths. Determination of cultivation parameters was carried out in Algal Biomass Laboratory of Agricultural Machinery and Technology Engineering, Faculty of Agriculture. The experiment was carried out in stock culture cabinets and the ambient temperature was set at 25 °C. The LED in the cabins were %100 blue, %100 red, %80 red-%20 blue, %80 blue-%20 red, %100 cold white (control group) and Photosynthetically Active Radiation (PAR) was set to 50±5 µmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>. The lightning period was set at 16:8 h (light: dark periods). Algae were grown in triplicate under each LED. pH, EC, DO<sub>2</sub>, biomass, chlorophyll a, chlorophyll b and OD were analyzed during the whole experiment and microalgae were harvested at the end of the experiment. The biomass obtained from harvested microalgae was extracted with Soxhlet Extraction method. At the end of the harvesting process, the highest biomass value was found in microalgae growing under %80 blue-%20 red color with 2.136 g and the lowest biomass value was determined as 0.757 g with under %100 red color. In the microalgae growing under %80 blue-%20 red color, the highest oil was obtained with 1.0111 g value, followed by microalgae which grew under %80 red-%20 blue color with 0.7410 g. The lowest oil value (0.2091 g) was obtained from microalgae growing under %100 red color. At the end of the experiment, analysis of fatty acids of microalgae grown under 5 different LED lamps was determined at Süleyman Demirel University Experimental and Observational Research Center. The most important fatty acids of *Botryococcus braunii* were determined as oleic, linoleic and palmitic acids. The high oleic acid value is an important parameter for biodiesel production. The daily energy consumption of the LED lighting systems was measured by the electricity meter. At 0.0202 kWh/g, 80% red-20% blue LED lamps were found to be the most economical. This was followed by LEDs with %80 blue-%20 red with 0.0277 kWh/g.

**Keywords:** Alga, Microalgae, *Botryococcus braunii*, Biomass, LED Lighting, Renewable Energy Sources, Biodiesel

**2018, 63 pages**



## TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın baőından sonuna kadar bilgi ve desteğini benden esirgemeyen ve anlayıőından dolayı sayın danışman hocam Prof. Dr. Kamil EKİNCİ'ye teşekkür ederim. Tezimin her aőamasında bilgi ve önerileri ile bana sabırla yol gösteren ve destekleyen sayın hocam Arő. Gör. Önder UYSAL'a teőekkürü bir borç bilirim.

4781-YL2-16 No'lu proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Baőkanlıęı'na teşekkür ederim.

Hayatımın her aőamasında olduğu gibi bu aőamasında da maddi ve manevi destekleri ile yanımda olan canım ailem; Babam Kemal KURT annem Filiz KURT ve kardeőlerime tüm kalbimle teşekkür ederim. Hayatımın tüm zor anlarında yanımda olduğu gibi tezimin her aőamasında da beni yalnız bırakmayan ve destekleyen Mehmet MORİEK 'e teşekkür ederim.

Çiğdem KURT  
ISPARTA, 2018

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Işık yayan diyot (LED) .....	10
Şekil 1.2. Mikroalg tabanlı biyodizel üretim şeması.....	13
Şekil 1.3. Transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel sentezi.....	14
Şekil 3.1. Denemede kullanılan stok kültür kabinleri .....	22
Şekil 3.2. Kurutma ve kuru sterilizasyon işlemlerinin gerçekleştirildiği etüv (a) saf su cihazı (b) .....	23
Şekil 3.3. Isıtıcı manyetik karıştırıcı .....	24
Şekil 3.4. LED lambalar; (a): (%100 K, (b): (%100 M), (c): (%80 K-%20 M), (d): (%80 M-%20 K) ve (e): (%100 SB).....	25
Şekil 3.5. Ortam sıcaklığını ölçmek için kullanılan termometre .....	26
Şekil 3.6. Deney düzeneği.....	26
Şekil 3.7. Veri kaydedici ve PAR sensörü .....	27
Şekil 3.8. LED lambaların dalga boyu spektrumu .....	27
Şekil 3.9. Elektrik sayacı.....	28
Şekil 3.10. pH, EC ve DO <sub>2</sub> için datalogger ve sensörler.....	29
Şekil 3.11. Spektrofometre.....	30
Şekil 3.12. Vortex cihazı (a) ve klorofil ölçümleri (b).....	31
Şekil 3.13. Vakum pompası ve yaş biyokütleler .....	31
Şekil 3.14. Biyokütlelerin kurutulması .....	32
Şekil 3.15. Desikatör (a) ve hassas terazi (b).....	32
Şekil 3.16. Santrifüj cihazı ve hasat edilen biyokütleler .....	33
Şekil 3.17. Etüvde kurutulacak olan mikroalgler.....	33
Şekil 3.18. Etüvde kurutulmuş mikroalgler (a): (%100 K, (b): (%100 M), (c): (%80 K-%20 M), (d): (%80 M-%20 K) ve (e): (%100 SB) .....	34
Şekil 3.19. Mikroalg biyokütellerinin yağ ekstraksiyonu işlemi .....	36
Şekil 3.20. 5 farklı LED lamba altında yetiştirilen mikroalg biyokütellerinin yağ miktarları .....	36
Şekil 3.21. Yağı çıkarılan biyokütellerin renk ölçümleri.....	37
Şekil 3.22. Yağ asitleri kompozisyonu için kullanılan gaz kromatografisi .....	37
Şekil 3.23. C ve N tayininin gerçekleştirildiği analiz cihazı.....	38
Şekil 4.1. Farklı dalga boylarında yetiştirilen mikroalglerin zamana bağlı pH değişimi .....	40
Şekil 4.2. Farklı dalga boylarında yetiştirilen mikroalglerin zamana bağlı EC değişimi .....	41
Şekil 4.3. Farklı dalga boylarında yetiştirilen mikroalglerin zamana bağlı DO <sub>2</sub> değişimi .....	42
Şekil 4.4. Farklı dalga boylarında yetiştirilen mikroalglerin zamana bağlı OD değişimi .....	43
Şekil 4.5. Farklı dalga boylarında yetiştirilen mikroalglerin zamana bağlı biyokütle değişimi .....	44
Şekil 4.6. Farklı dalga boylarında yetiştirilen mikroalglerin zamana bağlı klorofil a değişimi.....	45
Şekil 4.7. Farklı dalga boylarında yetiştirilen mikroalglerin zamana bağlı klorofil b değişimi .....	46

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 1.1. Mikroalglerin ortalama üretim koşulları .....	6
Çizelge 1.2. Bazı mikroalglerin büyüme sıcaklıkları .....	8
Çizelge 1.3. Bazı mikroalg türlerinin yağ içerikleri .....	10
Çizelge 1.4. LED'in yapısında kullanılan bazı malzemelere göre elde edilen dalga boyları .....	11
Çizelge 3.1. Bazal medium besin ortamı .....	23
Çizelge 3.2. LED'lerin teknik özellikleri .....	28
Çizelge 4.1. Farklı LED lamba altında yetiştirilen mikroalg kuru biyokütlelerinin C ve N içerikleri .....	47
Çizelge 4.2. Farklı dalga boylarında yetiştirilen mikroalglerin toplam biyokütle, yağ verimi, yağ miktarı ve kompozisyonları .....	49
Çizelge 4.3. Üretilen mikroalglerin toplam biyokütle ve yağ miktarlarına karşılık enerji tüketim miktarları .....	50

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<i>B.braunii</i>	<i>Botryococcus braunii</i>
C	Karbon
°C	Santigrat derece
cm	Santimetre
CO <sub>2</sub>	Karbondioksit
dk	Dakika
DO <sub>2</sub>	Çözünmüş oksijen
E	Enerji tüketimi
E <sub>b</sub>	Birim biyokütle için enerji tüketimi
EC	Elektriksel iletkenlik
E <sub>y</sub>	Birim yağ biyokütlesi için enerji tüketimi
g	Gram
h	Saat
H	Hidrojen
K	Kelvin
%K	%100 Kırmızı
%80K%20M	%80 Kırmızı-%20Mavi
kWh	Kilowattsaat
L	Litre
lm	Lümen
lux	Lüks
m <sup>2</sup>	Metrekare
%M	%100 Mavi
mA	Miliamper
mak.	Maksimum
min.	Minimum
%80M%20K	%80 Mavi-%20Kırmızı
ml	Mililitre
mm	Milimetre
N	Azot
n <sub>b</sub>	Birim biyokütle miktarı
nm	Nanometre
n <sub>y</sub>	Birim yağ miktarı
OD	Optik yoğunluk
OH	Hidroksil
P-N	Pozitif-Negatif
s	Saniye
%100SB	%100 Soğuk beyaz
v	Hacim
V	Volt
W	Watt
μ	Mikro
μm	Mikrometre
β	Beta
α	Alfa
(°)	Derece

## 1. GİRİŞ

Enerji dünyada olduğu gibi ülkemizde de ekonomik ve sosyal kalkınmayı etkileyen zorunlu bir ihtiyaçtır. Teknolojinin gelişmesi ile birlikte toplumların enerji ihtiyacı giderek artmaktadır. Enerji yenilenebilir ve fosil kaynaklı olmak üzere ikiye ayrılabilir. Fosil kaynaklı enerji kullanıldıkça tüketilen ve yenilenebilmesi çok uzun zaman alan enerji çeşididir. Enerji ihtiyacındaki artış fosil yakıtların kullanımını arttırdığı gibi fosil yakıt rezervleri ile ilgili sıkıntılar ve çevresel sorunları da giderek arttırmıştır. Fosil yakıt rezervlerindeki en büyük problem, rezervlerin hızlı bir şekilde azalmakta olmasıdır. Çevresel sorunların başında ise küresel ısınma gelmektedir. Küresel ısınma atmosferdeki sera gazları konsantrasyonunun artması sonucunda oluşan ciddi bir çevre problemidir. Küresel ısınma probleminin en temel nedeni karbondioksittir (CO<sub>2</sub>) (Amin, 2009; Watanabe ve Hall, 1996). Önümüzdeki 50 yıl içerisinde petrol rezervlerinin büyük ölçüde tükeneceği ve toplumların talebini karşılayamayacak duruma gelmesi tahmin edilemez bir durum değildir (Şenpınar ve Gençoğlu, 2016). Günümüzde fosil kaynakların tükeniyor olması, petrol fiyatlarındaki artışlar ve küresel ısınma tehlikeleri nedeni ile yenilenebilir enerji kaynaklarına ihtiyaç doğmaktadır.

Yenilenebilir enerji tüm dünyada ve ülkemizde teknik ve ekonomik potansiyele sahiptir. Yenilenebilir enerji insanlığın devamı ve dünyanın korunması için önem arz etmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde büyük bir potansiyele sahip olan biyokütle, diğer alternatif kaynaklar gibi kesikli olmayıp güneş enerjisi var olduğu sürece sürekli olan fotosentez yolu ile karbon depolayabilen bir kaynaktır. Biyokütle klasik ve modern biyokütle olmak üzere ikiye ayrılır. Odun ve hayvan atıklarından elde edilen yakıt klasik biyokütle enerjisi olup, enerji bitkileri, algler vs. elde edilen biyoküteller ise modern biyokütle sınıfına girmektedir. Biyokütleden enerji elde etme yöntemleri; doğrudan yakma, piroliz, havasız çürütme, fermantasyon, gazlaştırma, hidroliz, biyofotoliz, esterleşme reaksiyonudur. Bu yöntemlerden elde edilen yakıtlar; biyogaz, etanol, hidrojen, biyomotorin (biyodizel), metan, metanol ve motorindir. Bu yakıtların uygulama alanları; elektrik üretimi, ısınma, ulaşım araçları, uçaklar, roketler, seracılık ve ürün kurutmadır. Tüm dünyada artan nüfus ile birlikte enerji kaynaklarının azalması biyodizel gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimi artırmıştır.

Biyodizel bitkisel (ayçiçek, soya, kolza, aspir gibi yağlı tohumlar), hayvansal ve atık yağların bir katalizör eşliğinde kısa zincirli bir alkol ile reaksiyonu sonucunda açığa çıkan ve yakıt olarak kullanılabilen bir üründür (Dobrucalı, 2007). Dizel motorlarda biyodizelin yakılmasıyla petrolün kullanımına göre %80 oranda daha az CO<sub>2</sub> emisyonu, %68 oranda daha az partikül madde, %100 oranda daha az Kükürtdioksit (SO<sub>2</sub>), %36 oranda daha az Hidrokarbon ve %46 oranda daha az Karbonmonoksit (CO) gazı ortaya çıkmaktadır. Buna göre biyodizelin canlı yaşamı üzerinde risk oluşturmayan bir yönü olduğu ortadadır (Öner, 2006). Biyodizel yenilenebilir, çevre dostu, kansorejen madde ve kükürt içermeyen, yüksek alevlenme noktası olan, kolay depolanabilen ve taşınabilen, kara, deniz ve hava taşıtlarında kullanılabilen, motora zarar vermeyen motor ömrünü uzatan, ısıtma ve jeneratör sistemlerinde kullanılabilen, dizel motorlarda hiçbir değişiklik yapılmadan kullanılabilen yeşil bir yakıttır. Bu özellikler ile biyodizel üçüncü nesil yakıt olma özelliğine sahiptir. Avrupa Birliği (AB) ülkelerinde orman arazilerinde, ekolojik tarımda, kapalı su havzalarında, maden ocaklarında, gıda üretim tesislerinde, hava kirliliği yüksek metropollerde, ekolojik tarımda, okul servis otobüslerinde %100 biyodizelin kullanımı zorunlu hale getirilmiştir (Öner, 2006). Biyodizel bu kadar stratejik öneme sahip iken ham madde olarak kullanılan ürünler de bir o kadar önem arz etmektedir. Hammadde olarak kullanılan bitkisel yağların elde edilmesi için fazla maliyet ve uzun süre gerekmektedir. Tarım arazilerinin kullanımı verimsiz topraklara neden olacağı gibi, üretimi sırasında kullanılan su, ilaç ve iş gücü masrafları da oldukça fazladır. Ayrıca dünyada bu kadar açlıkla savaşılan ülke varken tarım arazilerini sadece yakıt üretmek için kullanımı tamamen israftan ibarettir. Bu nedenlerden dolayı biyodizel elde edilirken, yağ eldesi için yetiştirilen ikinci nesil biyokütle enerji kaynaklarının (mısır, sorgum, kanola, ayçiçeği, soya gibi enerji bitkileri) yanı sıra, üçüncü nesil olarak bilinen alglerin üretilmesi ve kullanılması son dönemlerde önemli miktarda artmıştır. Algler önceleri gübre, insan gıdası, hayvan yemi, atıksu arıtımı, kozmetik sanayinde kullanım alanı bulmasına rağmen bünyelerindeki yağ miktarı oranlarının fazla olması biyodizele olan ilgiyi arttırmıştır. Biyodizel üretimi için alg kullanım çalışmaları tüm dünyada önemli düzeyde arttığı yapılan çalışmaların bir sonucudur (Eliçin vd., 2009).

Algler, fotosentez yoluyla ışığı soğurup, inorganik maddeleri organik maddelere dönüştüren, oldukça basit yapıda, canlı, sucul organizmalardır. Küçük tek hücreli

türlerden; karmaşık, çok hücreli yapılara kadar çeşitlilik gösterirler (Gezici vd., 2012). Büyük (inç ölçeğinde ve daha büyük olanlar) ve çok hücreli olanlar makroalgler olup, genellikle havuzlarda yetişirler. En büyük çok hücreli alg, yosun olarak adlandırılmaktadır. Küçük (mikrometre ölçeğinde) ve tek hücreli olanlar ise mikroalgler olup, bir miktar su içinde süspansiyon olarak yetişirler (Chang, 2007). Mikroalgler, hücrelerinde yüksek yağ içeriği nedeniyle potansiyel ve alternatif yeni nesil yenilenebilir enerji kaynakları olarak görülmektedir. Mikroalgler %20-%50 arasında (Bazı durumlarda %80'e kadar) yağ içeriği ile biyodizel üretimi için en umut verici ham madde olarak düşünülmektedir (Okumura vd., 2015). Mikroalgler yüksek yağ oranına sahip olması ayrıca biyodizel üretimi için bazı çalışmalarda açığa çıkan karbondioksitin mikroalg gelişiminde kullanılması en önemli tercih sebeplerindedir. Mikroalg kullanımı ile az masraf, verimli ürün elde edilebilirliği birçok biyodizel üretim çalışmalarında açıkça belirtilmiştir. Mikroalg bünyesinde yaklaşık %80' den fazla bulunan oleik asit (C18:1) ve palmitoleik asit (C16:1) gibi yağ asitleri sayesinde yüksek enerji içerirler. Bu sebeple mikroalgleri yakıtla çevirmek çok elverişlidir (Eliçin vd., 2009). Mikroalg ile elde edilen yağlardan üretilen biyodizel roket yakıtı ve araç yakıtı olarak kullanılabilir. Mikroalglerin hücrelerindeki yüksek lipit içeriği nedeniyle potansiyel ve alternatif gelecek nesil yenilenebilir enerji kaynakları olarak kabul edilmiştir. Biyoyakıt üretmek için fotobiyoreaktörde mikroalg biyokütlelerinin hızlı bir şekilde üretilmesi için verimli bir ışık kaynağı ön şarttır ve son zamanlarda mikroalglerin üretimi için etkili ve düşük maliyetli enerji kaynakları olarak tanımlanmıştır (Okumura vd., 2015).

Mikroalgler kapalı ve açık sistemler olarak iki şekilde yetiştirilir. Açık sistemlerin kontamine sorunu bulunmaktadır. Kapalı sistemlerde ışık kaynağının etkin kullanımı, daha az kontaminasyon riski, sıcaklık kontrolüne uygun olması gibi nedenlerden dolayı daha kaliteli üretim gerçekleştirilmekte olup elde edilen verim değerleri daha yüksektir. Mikroalg üretiminde en önemli unsurlardan biride aydınlatmadır. Mikroalgler hızlı biyokütle verimi ve yüksek lipid üretimi için optimum ışık kaynağına ihtiyaç duyarlar. Bu ışık kaynağının en önemlilerinden biride Işık Yayan Diyotlardır (LED). Son yıllarda LED aydınlatma kaynaklarının kullanımı; enerji kullanımlarının az olması, uzun kullanım süreleri ve istenilen dalga boyunda çalışması gibi özelliklerinden dolayı mikroalg yetiştiriciliğinde ilgiyi artırmıştır. LED'ler geleneksel florasan ve halojen lambalara alternatif olarak yaygın kullanıma

sahiptir (Okumura vd., 2015). Bu çalışmada farklı dalga boylarında LED aydınlatma sistemleri kullanılarak, yüksek yağ içeriğine sahip *Botryococcus braunii* (SAG 807-1) mikroalg türünün yetiştirilmesinde (1) biyokütle oranının tespit edilmesi, (2) aydınlatmadan dolayı enerji kullanımı (3) bu biyokütlelerin yağ oranlarının belirlenmesi (4) ve (5) yağ kompozisyonlarının biyodizel özelliklerine etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

### 1.1. Mikroalglerin Tanımı ve Genel Özellikleri

Plankton; nehir, göl ve okyanuslarda su yüzeyi veya içinde asılı kalabilen ya da biraz yüzebilen 2 cm'den daha küçük bitki ve hayvanlardan oluşan organizmalar grubudur. Bu grup içerisindeki canlılar çeşitli özelliklerine göre gruplandırılırlar. Ancak planktonların sınıflandırılırken en fazla iki önemli özellik kullanılmaktadır. Bunlar; boyları ve biyolojik özellikleridir. Biyolojik olarak, fitoplanktonlar (bitkisel kökenli olanlar) ve zooplanktonlar (hayvansal kökenli olanlar) olarak sınıflandırılırken, boylarına göre picoplanktonlar (<2 µm), ultraplanktonlar (2-5µm), nannoplanktonlar (5-20µm), mikrop planktonlar (20 µm - 2mm), makrop planktonlar (2mm–2 cm) ve megaplanktonlar (>2cm) olarak sınıflandırılma işlemi yapılmaktadır (Koray, 2002). Algler içerdikleri pigment bakımından da gruplara ayrılırlar (Pamir, 1985). Bu gruplar; yeşil algler (*Chlorophyta*), mavi-yeşil algler (*Cyanophyta*), kamçılı algler (*Euglenophyta*), ateş rengi algler (*Pyrophyta*), altın rengi algler (*Chrysophyta*), esmer algler (*Phaeophyta*) ve kırmızı algler (*Rhodophyta*) dir.

Hücrelerinde klorofil yardımıyla, ışıkta fotosentezle karbondioksit ve inorganik maddelerden organik maddeler sentezleyen, basit yapılı, boyutları birkaç mikron (µ) ile birkaç yüz mikron arasında değişen bitkisel planktona, fitoplankton denilmektedir. Fitoplanktonik alglerin boyutları çok küçük olduğundan bunlara mikroalg de denilmektedir. Mikroalgler hızlı büyüeyebilen, tek hücreli ve çok hücreli yapıları olan, prokaryotik ve ökaryotik mikroorganizmalardır. Yapılarında karbonhidrat, yağ ve protein bulunmaktadır. Mavi-yeşil mikroalgler farklı renklerde pigment içerdikleri için kahverengimsi veya kırmızı renkte görülebilmektedir. Yeşil mikroalgler ökaryotiktir. Klorofil a, klorofil b, β- ve α-karoten ile ksantofiller gibi fazla sayıda pigment içerirler. Yeşil algler ile mavi-yeşil algler fotosentez yapabildikleri için yağ depolama özellikleri vardır. Fotosentez yapımları havadaki



karbondioksit azalmasına katkıda bulunduğu gibi oluşan ürünlerin bünyelerine yağ olarak depolanması biyodizel için çok iyi hammadde olabileceğinin bir göstergesidir. Algler fotosentetik gelişme için ışığa, CO<sub>2</sub>, su ve inorganik tuzlara ihtiyaç duyarlar. Gelişme ortamında büyümeyi sağlayan azot ve fosfor gibi inorganik elementler bulunmalıdır. Yukarıda da belirtildiği gibi mikroalg hücrelerinin sorunsuz bir şekilde hızla çoğalabilmesi için kültür ortam şartlarının uygun olması gerekir.

## 1.2. Mikroalg Üretim Sistemleri

Mikroalg üretiminin başarılı ve ekonomik olması kullanılan sistemlerle yakından ilgilidir. Üretim yaparken en az masraf ile en çok ve kaliteli ürün elde etme yolları düşünülmektedir. Ekonomik ve başarılı bir üretim için gerekli olan tüm etmenlerin doğru kullanımı ancak üretim sisteminin doğru karar verilmesi ile mümkündür (Koc vd., 2013).

Mikroalg üretim sistemleri açık ve kapalı olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır. Açık sistemler; doğal göletler, havuzlar (kanal tipi, dairesel ve karıştırılmayan büyük havuzlar), her türlü malzemedan üretilen tanklar olarak sayılabilmektedir (Sukatar, 2002). Kapalı sistemler ise; küçük ölçekli torbalar, tübüler ve düz levha fotobiyoreaktörler, büyük ölçekli torbalar (Big-Bag) olarak sayılabilmektedir. Açık sistemler olarak adlandırılan, mikroalglerin dış mekanlardaki üretim sistemleri ile kapalı sistemler yani mikroalglerin iç mekanlarda daha kontrollü koşullarda yetiştirildiği sistemler arasında bazı önemli farklar bulunmaktadır. Açık sistemlerin kapalı sistemlere göre maliyeti düşüktür. Ayrıca kapalı sistemlere göre çok büyük ölçekte yetiştirme yapılabilmektedir. Fakat açık sistemlerde kontaminasyon sorunu büyük önem arz etmekle birlikte kültür kirliliği de ayrıca bir tehdit sebebidir. Bunun için açık sistemlerde kontaminasyona az duyarlı olan mikroalg türleri yetiştirilebilmektedir. Kapalı sistemler ileri teknoloji gerektirdiği için yüksek maliyeti olan sistemlerdir. Fakat mikroalglerin kaliteli gelişimi için önemli bazı hususlara dikkat edilmelidir. Bunların başında kontaminasyon problemi gelmektedir. Bu yüzden kapalı sistemlerin yüksek maliyetli olması üretimin kalitesi için gözardı edilmektedir. Açık sistem yetiştiriciliğinde yüksek oranda buharlaşma ile oluşan kayıplar ve CO<sub>2</sub>'nin atmosfere salınımı da kapalı sistemlerin tercih edilme nedenlerindedir (Sforza vd., 2010). Kapalı sistemlerde, mikroalg yetiştirme

ortamının türüne bağlı olarak optimum koşulların sağlanabilmesi (mikroalg yetiştiriciliğinde ışığın etkin kullanımı, ortam sıcaklığının kontrollü olması, yetiştirme ortamının istenilen hijyenin sağlanabilmesi gibi) büyük önem arz etmektedir.

### 1.3. Mikroalg Yetiştirme Parametreleri

Mikroalg üretimi yapılırken ortam şartlarının optimum olması gerekmektedir. Ortam şartları her bir mikroalg çeşidi için farklılık göstermektedir. Işık, sıcaklık, pH ve besin maddeleri mikroalglerin en önemli yetiştirme parametrelerinin arasındadır. Kaliteli ürün elde etmek için bu parametrelerin en uygun seviyelerde olması gerekmektedir. Eliçin vd. (2013), yaptıkları çalışmada mikroalglerin ortalama üretim koşullarını Çizelge 1.1’de tanımlamaktadır.

Çizelge 1.1. Mikroalglerin ortalama üretim koşulları (Eliçin vd., 2013)

Parametreler	Sınır değerler	Optimum şartlar
Sıcaklık (°C)	16 – 40	18 – 24
Tuzluluk (g/l)	12 – 40	20 – 24
Işık yoğunluğu (lux)	1000 – 10000	2500 – 5000
Işıklenme süresi (Gündüz:gece, saat)	-	16 – 8 (min.) 24 – 0 (mak.)
pH	7–9	8,2 – 8,7

#### 1.3.1. Işık

Işık insan yaşamında, tarımda ve hayvancılıkta ne kadar önemli ise mikroalg yetiştiriciliğinde de bir o kadar önemlidir. İnsan ve hayvanların görme gibi yaşamsal faaliyetini etkileyen aydınlatma, bitkiler ve mikroalgler için direk yaşam kaynağı olarak tanımlanmaktadır. Bitkiler ve mikroalgler fotosentez yapabilen canlılar oldukları için ışığa ihtiyaç duymaktadırlar. Gerekli olan ışık, güneş ışığından sağlanabileceği gibi yapay ışıkla da sağlanabilir. Gün ışığının gece ve gündüz döngülerinin olması, hava koşullarındaki değişimler ve mevsim değişimleri gibi dezavantajları vardır. Işınımındaki bu dalgalanmaları engellemek için yapay aydınlatma kullanımına yönelme olmuştur. Mikroalg yetiştiriciliğinde ışık kesinlikle kontrol altında olması gereken bir parametredir. Mikroalgler genellikle fotosentez yapabilmeleri için gerekli olan dalga boyu 400-700 nm olan ışığı kullanırlar (Blair

vd., 2014; Kim vd., 2013). Mikroalgler türüne göre absorbe edilen dalga boyu değişebilmektedir. Yeşil mikroalgler fotosentez sırasında klorofil pigmentlerini ve en iyi 450-475 ile 630-675 nm aralığındaki ışık enerjisini absorbe etmektedir (Kim vd., 2013; Teo vd., 2014). Siyanobakteriler ve kırmızı algler (*Rhodophyta*) bünyelerinde yalnızca klorofil a bulundururken, yeşil algler (*Chlorophyta*) ve öglena (*Euglenophyta*) klorofil a yanında klorofil b içerirler. Diğer deniz algleri ve tatlı su diyatomları ise klorofil a ve b'nin yanında klorofil c, klorofil d ve klorofil e pigmentlerine de sahiptirler (Kurhan, 2012). Işık yoğunluğunun azalması hücrelerdeki klorofil a ve ışığı tutan diğer pigmentlerin (klorofil b, klorofil c, fitobiliproteinler ve birincil karotenoidler) artmasında rol oynamaktadır. Düşük ışık mikroalglerde büyümeyi sınırlandıran etken olarak değerlendirilebilmektedir. Diğer yandan yüksek ışık yoğunluğunda klorofil a ve diğer pigmentler azaldığından fotosentez miktarının azalmasına neden olur. Karotenoidlerin birikmesi türlerin yapısına göre değişmektedir (Richmond, 2004). Aşırı ışık, mikroalgaların büyümesini azaltabilecek zararlı reaktif oksijen türlerinin (ROS) ve oksidatif stresin oluşmasına yol açabilir (Okumura vd., 2015).

### 1.3.2. Sıcaklık

Sıcaklık mikroalg gelişimi için en önemli unsurlardan biridir. Sıcaklığın optimum koşullarda olması kesinlikle çok önemlidir. Çünkü düşük sıcaklık mikroalg büyümesini engellemektedir. Bununla birlikte ortam sıcaklığının gereğinden fazla azalması mikroalglerdeki doymamış lipitlerin derecesini ve hücrelerin akışkanlığını arttırmaktadır (Richmond, 2004). Yüksek sıcaklık ise metabolizma hızını arttırmaktadır. Sıcaklığın artması buharlaşmaya neden olacağından hacim kaybı sorunu ortaya çıkarmaktadır. Mikroalglerin genellikle gelişebildikleri sıcaklık aralığı 5-35°C'dir (Rashid vd., 2014). Fakat birçok mikroalg türünün optimum büyüme sıcaklığı 20-30°C'dir (Chisti 2007; Wang vd., 2008). Sıcaklık aynı zamanda mikroalg hücreleri için bir stres faktörü olarak değerlendirilebilir. Hücrelerin lipit kompozisyonu, besin maddesi alımı, karbon fiksasyonu ve büyüme hızı sıcaklıktan etkilenir (Venkata Subhash vd., 2014). Ortamdaki sıcaklık değişimlerine mikroalgler çok çabuk tepki göstermektedir. Bunun için kullanılan mikroalg türüne göre en uygun ortam sıcaklığı ayarlanmalı ve üretim bitene kadar süreklilik sağlanmalıdır.

Elcik ve akmakcı (2017), yaptıkları çalışmada mikroalglerin büyüme sıcaklıklarını izelge 1.2 tanımlamaktadır.

izelge 1.2. Bazı mikroalglerin byme sıcaklıkları (Elcik ve akmakcı, 2017)

Mikroalg	Yetiştirme sıcaklığı (°C)
<i>Chlorella sp.</i> ADE5	30 ± 2
<i>Spirulina platensis</i>	25 ± 1
<i>Botryococcus braunii</i>	26 ± 1
<i>Desmodesmus sp.</i> EJ9-6	24 ± 1
<i>Desmodesmus communis</i>	18 - 25
<i>Chlorella zofingiensis</i>	25 ± 1
<i>Coccomyxa actinabiotis</i>	24 ± 2
<i>Platymonas subcordiformis</i>	25
<i>Chlorella vulgaris</i>	22 ± 2
<i>Anabaena sp.</i> PCC 7120	30
<i>Chodatella sp.</i>	25
<i>Scenedesmus obliquus</i>	30 ± 3
<i>Chaetoceros sp.</i>	35
<i>Monoraphidium sp.</i> SB2	25 - 35

### 1.3.3. pH

Mikroalglerin yetiştirilmesinde besin içeriği pH değişiminde doğrudan etkilidir. Besin ortamından CO<sub>2</sub> ve nitrat alımı, pH değerini yükseltirken, amonyak alımında pH değeri düşer (Rashid vd., 2014). Mikroalglerin üreyebilmesi için 7-9 pH aralığı uygun görülmektedir. pH için optimum aralık ise 8.2 – 8.7'dir. Mikroalglerin retimi sırasında bu aralığın altına düşmesi veya üzerine çıkması mikroalgin ölümüne neden olmaktadır. Örneğin; çok yoğun mikroalg kültürlerinde zamanla pH artışı olur ve bu duruma nlem alınmazsa (CO<sub>2</sub> ilavesi gibi) kültürün ölümüne sebep olunur. pH birimi azaldıkça, hidrojen (H<sup>+</sup>) iyon konsantrasyonu artarken, buna karşılık hidroksil (OH<sup>-</sup>) iyon konsantrasyonu azalmaktadır. Mikroalglerin fotosentez yapması ortamdaki CO<sub>2</sub>'nin azalmasına neden olmaktadır. CO<sub>2</sub>'nin azalması ise ortamın alkalitesini arttırır. Bu sorunların yaşanmaması için mikroalg üretimi sırasında havalandırma, ortama CO<sub>2</sub> ilavesi, asit veya baz ilaveleri ile ortamın pH'sı istenilen düzeyde tutulabilir. Ayrıca büyümeyi ve oğlalmayı olumsuz etkileyen pH değişimini dengede tutabilmek için besin ortamına K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> eklenebilir. Bunun nedeni, K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> hidrojen (H<sup>+</sup>) ve hidroksil (OH<sup>-</sup>) iyonlarının serbest kalmasının önüne geçer ve onlarla birleşikler oluşturur. Bu nedenle de ortamın pH'sı hemen asit veya alkali olmaz bir süre optimal limitler arasında kalır. Tampon özelliğinden

dolayı pH dengede kalır. Ayrıca  $K_2HPO_4$  tuzu fosfor olarak da kullanılır (Richmond, 2004 ve Sukatar, 2002).

#### **1.3.4. Besin etkisi**

Mikroalglerin yetiştirilmesinde gerekli olan başlıca besin maddeleri karbon, azot ve fosfordur. Bu besin maddelerinin yanında silika, kalsiyum, magnezyum, potasyum, demir, mangan, sülfür, çinko, bakır, kobalt gibi mikro besin maddelerine de ihtiyaç duyulmaktadır (Christenson ve Sims, 2011). Mikroalg biyokütellerinin kuru ağırlık olarak %50'si karbon içermektedir (Converti vd., 2009; Miron vd., 2003). pH'nın dengede kalabilmesi için bir karbon kaynağı olan  $CO_2$ 'nin istenilen seviyede tutulması gerekmektedir. Mikroalglerin büyüme ve çoğalması için gerekli olan besin maddesi azottur. Bir azot kaynağı olan amonyumun mikroalgler tarafından kullanılması ortamın pH değerini azaltır. Diğer bir azot kaynağı olan nitratın mikroalgler tarafından kullanılması ortamın pH değerini arttırmaktadır. Amonyum ve nitratın besin maddesi olarak kullanımı mikroalg türüne ve isteğine göre değişmektedir. Fosfor, mikroalg gelişiminde önemli bir yere sahip olduğu gibi fotosentez, enerji transferi gibi hücrel metabolik olaylarda rol oynar (Singh vd., 2015). Ayrıca fosfor mikroalglerin lipit üretiminde de önemli bir yere sahiptir.

#### **1.4. Mikroalglerin Yağ İçeriği**

Mikroalglerin yağ içeriği türe, yetiştirme koşullarına, fiziksel ve kimyasal etkilere göre değişim gösterdiği yapılan çalışmaların bir sonucudur. Bazı türler toplam kuru ağırlığının %1-40'ı kadar yağ depolayabildiği gibi bazen bu oran %40'tan daha yüksek değerlere (%70-80) kadar artmaktadır. Mikroalgler yetiştirilirken türüne göre yeterli besin ve kontrollü koşullar sağlandığında yağ verimi yüksek oranda artmaktadır. Mikroalglerin yağ miktarı, yağ verimleri ve yağ asidi özellikleri biyodizel üretim aşamasını doğrudan etkilemektedir. Çizelge 1.3'te bazı mikroalglerin yağ içerikleri verilmiştir (Tawfig vd., 2004).

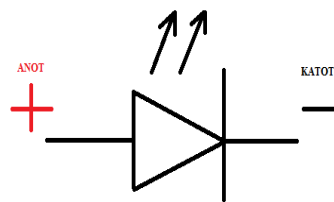
Çizelge 1.3. Bazı mikroalg türlerinin yağ içerikleri (Tawfig vd., 2004)

Mikroalgler	Yağ içeriği (% kuru ağırlık)
<i>Botryococcus braunii</i>	25 - 75
<i>Chlorella sp.</i>	28 - 32
<i>Cryptocodinium cohnii</i>	20
<i>Dunaliella primolecta</i>	23
<i>Dunaliella salina sp.</i>	28 - 42
<i>Isochrysis sp.</i>	25 - 33
<i>Nonnochloris sp.</i>	20 - 35
<i>Nonnochloropsis sp.</i>	31 - 68
<i>Neochloris oleoabundans</i>	35 - 54
<i>Nitzschia sp.</i>	54 - 47
<i>Palmellopsis muralis</i>	42 - 58
<i>Tetraselmis sueica</i>	15 - 23

Mikroalglerden elde edilen yağlar doymuş ve doymamış yağ asitlerine sahip olabilirler. Doymuş yağ asitleri genelde çift karbon atomlarından oluşur ve yapılarında çift bağ olmayan organik asitlerdir. Laurik asit (C12:0), miristik asit (C14:0), palmitik asit (C16:0), stearik asit (C18:0), araşidik asit (C20:0) ve behenik asit (C22:0) önemli doymuş yağ asitlerindendir (Karaca ve Aytaç, 2007). Yapılarında bir çift bağ içeren yağ asitleri tekli doymamış yağ asitleri olarak isimlendirilmektedir. Bu grubun en önemli iki üyesi, palmitoleik asit (C16:1) ve oleik asittir (C18:1) (Kayahan 2003, Karaca ve Aytaç, 2007). Doymamış yağ asitleri zincir yapısında bir, iki ya da daha fazla çift bağın yer alması ile karakterize edilirler. Yapılarındaki çift bağlar nedeniyle, doymamış yağ asitleri doymuş yağ asitlerine göre daha reaktiftirler (Nas vd.,2001).

### 1.5. Mikroalg Üretiminde LED'lerin Kullanımı

Doğru yönde gerilim uygulandığında ışıyan; yani elektriksel enerjiyi ışık enerjisine dönüştüren özel katkı maddeli PN (Pozitif, Negatif) diyotlarına denilmektedir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Işık yayan diyot (LED)

LED’lerde, uygulanan akım arttıkça LED’in ışık akısı da doğru orantılı olarak artmaktadır. Eşik değeri aşıldığında LED ısınmaya başlamakta ve bunun sonucunda LED’in ışık akısı hızla azalmakta, kullanım ömrü kısaltmakta ve hatta LED bozulmaktadır. Üzerlerinden akımın geçmesiyle beraber görünür veya görünür olmayan ışık veren bir diyottur (Düzenli vd., 2013). Bu nedenle LED çalıştırılırken üretici firma tarafından belirtilen maksimum akım değerinin aşılması gerekmektedir (Ünal, 2009). LED’lerin farklı renklerde ışık oluşturabilmeleri için yarı iletken malzemeye ilave edilen bazı katkı maddeleri Çizelge 1.4’de verilmiştir. Renk değişimine göre 1.8–5 V arası gerilime sahiptir. Genellikle kırmızı ve sarı renkler 1.9–2.6 V yeşil, mavi ve beyaz renkler 2.5–4 V arası gerilimlerde çalışırlar. LED lambaların rengine bağlı olarak verimlilikleri değişmektedir. Kırmızı renkli LED 45 lm/W, sarı 35 lm/W, yeşil 18 lm/W, mavi 8 lm/W ve beyaz 18 – 25 lm/W civarındadır (Erol ve Canbolat, 2011). LED ışık kaynaklarının ömürleri en az 50000 saat düzeyinde olabilmektedir.

Çizelge 1.4. LED’in yapısında kullanılan bazı malzemelere göre elde edilen dalga boyları (Musayev, 2002)

Yarı iletken malzeme	Dalga Boyu(nm)
<i>SiC, InGaP, GaN</i>	400-680
<i>GaP, GaAsP</i>	600-700
<i>GaAs, GaAsP</i>	700-950
<i>GaAlAs</i>	700-950
<i>GaAsSb, AlGaAsSb</i>	1000-2000

Geleneksel aydınlatma sistemleri ile LED’ler karşılaştırıldıklarında, LED’lerin sahip oldukları birçok olumlu özellikten dolayı her geçen gün biraz daha geliştirilerek aydınlatma sektöründeki yerlerini almaktadırlar. LED’lerin geleneksel aydınlatma sistemlerine göre üstün özellikleri bulunmaktadır (Ünal, 2009). LED’ler, (1) çok düşük enerji tüketmektedirler, (2) yüksek ışık verimliliğine sahiptirler, (3) minimal boyutlara sahiptirler, (4) geniş renk yelpazesine ve farklı renk sıcaklıklarına sahiptirler, (5) şok ve titreşimlere karşı daha dayanıklıdırlar, (6) cam, flaman gibi kırılabilir elemanlara sahip değildirler, (7) doğru akım kullandığı için tamamıyla sessizdirler, (8) yapılarında cıva gibi ağır metaller ve halojen gazlar bulundurmadıkları için çevre dostudurlar, (9) titreşimsiz çalışma özelliğine sahiptirler, (10) ısı ışınlarını düşük düzeyde içeren dalgaboyu aralığına sahip olmaları

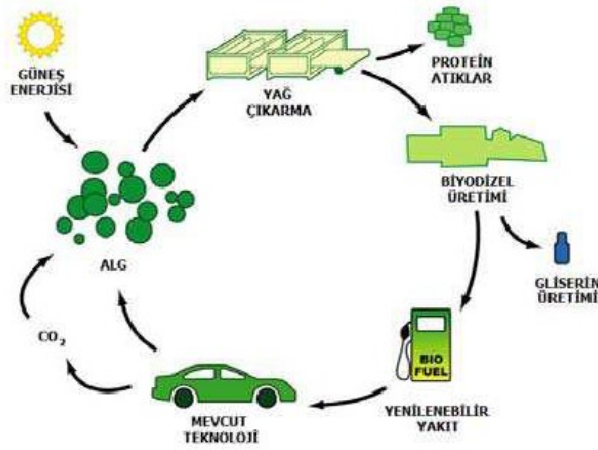
nedeniyle güvenli ve verimli çalışmaya sahiptirler. LED'lerin üstün özelliklerinden dolayı mikroalg kullanımına oldukça elverişlidir. Mikroalg biyokütlesinin hızlı üretimi için etkin bir ışık kaynağı ön şarttır. Mikroalg yetiştiriciliği için son zamanlarda LED'ler en etkili aydınlatma kaynakları olarak tanımlanmaktadır. LED'ler; düşük güçlü ve düşük parlaklıklı standart LED'ler, yüksek parlaklıklı LED'ler ve yüksek güçlü LED'ler olarak üç gruba ayrılmaktadırlar (Anonim, 2011a). Yapay aydınlatmada genellikle tercih edilen flüorışıl ve yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalara alternatif olarak daha uzun kullanım ömrüne sahip, tükettiği enerjiyi ışığa daha büyük oranda dönüştüren daha verimli çalışan LED'ler kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle doku kültürü çalışmalarında kullanılan LED aydınlatma lambaları ile enerjiden tasarruf sağlanırken, yetiştiriciliği yapılan bitkiye en uygun Fotosentetik Aktif Radyasyon (FAR) verilebilmektedir. Fotosentez işleminde diğer renklere kıyasla kırmızı ve mavi renklerin üstünlükleri bilinmektedir. Sadece kırmızı ve mavi rengin karışımıyla elde edilen LED lambalar ise piyasada satılmaktadır. İlk yatırım maliyeti diğer lambalara kıyasla yüksek olmasına karşın, bitki gelişimi için istenilen aydınlatma sağlanabilmektedir.

Mikroalglerin aydınlatma süresi, zamanı ve miktarı doğrudan verime etki etmektedir. Aydınlatmanın gereğinden az veya çok yapılması mikroalg üretiminden elde edilen biyokütle miktarına ve yağ içeriğine doğrudan olumsuz etki yapmaktadır. Bu gibi olumsuzlukları en aza indirmek için son yıllarda mikroalg yetiştiriciliğinde LED lambaların kullanımı ve bu konudaki araştırmalar giderek artmıştır.

## **1.6. Biyodizel**

Yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları günümüzde giderek artmaktadır. Fakat yapılan çalışmalarında bir gösterge olarak bu kaynaklar içerisinde en önemli teknik potansiyele sahip olan biyokütle kökenli yakıtlardır. Biyokütle kökenli yakıtlar içerisinde en önemlisi ise dizel yakıtı alternatif olan biyodizel'dir. Biyodizel soya, aspir, kolza, kanola, ayçiçek gibi yağlı tohum bitkileri, bitkisel ve hayvansal atık yağlar, kullanılmış atık yemek yağlarının yanı sıra son yıllarda mikroalglerden elde edilen yağlarla da üretilen yenilenebilir bir yakıt türüdür. Mikroalg tabanlı biyodizel üretim şeması Şekil 1.2'de görülmektedir (Eliçin vd., 2009).





Şekil 1.2. Mikroalg tabanlı biyodizel üretim şeması (Eliçin vd., 2009)

Biyodizel; üretiminde kullanılan ham maddeler ile tarıma destek olması, kükürt içermediği için çevreci bir yakıt olması, enerji çeşitliliğinin çok olması, dolaylı olarak kozmatik ve ilaç sanayinde kullanılır olması ayrıca dizel yakıtlara göre kayganlığının fazla olması ve bu nedenle motor aşınmalarının önüne geçilmesi, dizel motorlarında hiç değişiklik yapılmadan veya çok küçük değişimlerle hiçbir sorun yaşanmadan kullanılabilir olması, yüksek alevlenme noktası olması, kolay depolanıp taşınabilme özelliğinin olması önemli olumlu özelliklerindedir. Fakat bu olumlu özelliklerin yanı sıra biyodizel; dizel yakıtlara göre hızlı ve kolay bozunabilir olması, düşük sıcaklıklarda akışkanlığını kaybetme özelliğinin olması ve bu durumda soğuk kış günlerinde kullanıma yatkın olmaması, maliyetinin yüksek olması gibi olumsuz özellikleride mevcuttur. Biyodizel üretim maliyetinin yüksek oluşu araştırmacıları farklı hammadde arayışlarına yöneltmiştir. Bu amaçla günümüzde maliyet düşürme odaklı çalışmaların giderek artmış olduğu yapılan araştırmaların bir sonucudur.

### 1.6.1 Biyodizel üretimi

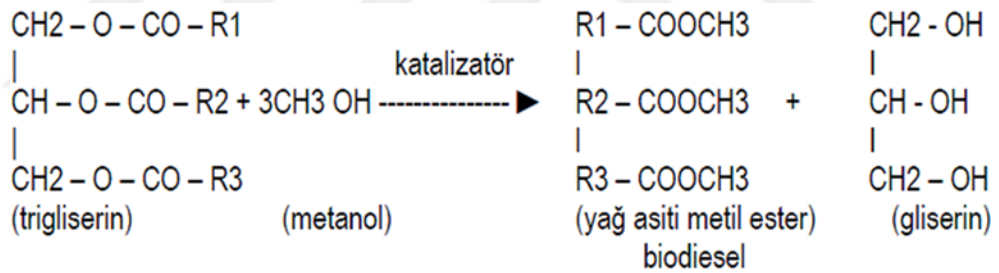
Biyodizel trigliserit içeren bitkisel, hayvansal ve algal yağlardan üretilmektedir. Trigliserit; yağ asitlerinin gliserinle esterleşmesi ile yağdaki ana yapıyı oluşturmuş halidir. Biyodizel üretiminde kullanılan bitkisel ve algal yağların viskozitesi dizel yakıtlara göre oldukça fazladır. Bu sorunun giderilmesi için ısı ve kimyasal yöntemler kullanılır. Kimyasal yöntemler 4'e ayrılır. Bu yöntemler;

- Piroliz (Ayrıştırma)
- Gazifikasyon

- Transesterifikasyon
- Seyreltme

Bu yöntemler içerisinde en yaygın kullanılan transesterifikasyon yöntemidir (Şekil 1.3). Çünkü bu yöntem için kullanılan kimyasallar düşük fiyatlı ve kolay ulaşılabilir. Aynı zamanda viskoziteyi azaltmanın en etkili yoludur. Transesterifikasyon; trigliseritin (bitkisel yağlar, hayvansal yağlar, evsel atık yağlar ve algal yağlar) bazik bir katalizör eşliğinde (sodyum hidroksit (NaOH), potasyum hidroksit (KOH) alkol ile (metanol, etanol vb.) esterleşme reaksiyonudur. Bu reaksiyon sonucunda biyodizel (yağ asidi metil esterleri) ve gliserol oluşmaktadır. Gliserol faz ayırma ile rahatça biyodizelden ayrılabilir. Transesterifikasyon esnasında mikroalg yağının verimine etki eden bazı parametreler aşağıdaki gibidir:

- Mikroalg yağının kalitesi
- Alkol ve mikroalg yağının molar oranı (3:1)
- Reaksiyonun sıcaklığı ve süresi
- Kullanılan katalizörün çeşidi ve miktarı.



Şekil 1.3. Transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel sentezi (Ulusoy ve Alibaş, 2002)

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Amin (2008), yaptığı bir çalışmada, mikroalglerin yenilenebilir enerji kaynakları için büyük bir potansiyel olduğunu bildirmiştir. Araştırmasında, mikroalglerin enerjiye dönüşümlerinin ana dönüşüm süreçlerini ele almıştır. Termokimyasal olarak petrol ve gaz üretiminin olabileceğinden, biyokimyasal süreçleri kullanarak etanol ve biyodizelin üretilebileceğini bildirmiştir. Mikroalglerin özelliklerinin bitkisel yağların benzeri olduğundan bu nedenle fosil yakıtların yerine kabul edilebileceğini ortaya koymuştur.

Kural (2013), *N. oculata* türünün farklı dalga boylarındaki ışıklarda büyütülmesi ve stres koşullarında yağ birikimini araştırmıştır. *Nannochloropsis oculata* saf kültürleri, tüplerden hacim artırma yöntemiyle 1 L hacimli cam şişelere aşılanmıştır. Kültürler 10 watt gücündeki LED'ler ile aydınlatılmıştır. Denemelerde yapay deniz suyu ortamı kullanılmıştır. *N. oculata* taksonunun büyütülmesinde dört farklı renkte LED kullanılmıştır. Kullanılan renkler beyaz, günışığı, mavi ve kırmızıdır. Mavi ve beyaz ışıklar kültürü büyütmek amacıyla en uygun seçenek olduğu bildirilmiştir. Günışığı ve özellikle kırmızı renkli aydınlatmalar büyüme bakımından diğerleri kadar iyi sonuç vermemiştir. LED lambalar ile beyaz ışığın elde edilebilmesi için farklı uygulamalar yapılmaktadır. Denemelerde mavi ışığın 10 cm mesafede FAR değeri 122.5  $\mu\text{mol foton m}^{-2} \text{sn}^{-1}$  iken beyaz ışıkta bu değer 100.0  $\mu\text{mol foton m}^{-2} \text{sn}^{-1}$  olarak bulunmuştur. Dolayısıyla büyüme amacıyla mavi LED kullanımı önerilmiştir.

Eliçin vd. (2013), farklı dalga boylarına sahip ışık kaynaklarının, farklı aydınlanma süreleri, farklı sıcaklıklar ve farklı ışık şiddetleri gibi yetiştirme parametrelerinin; hücre sayıları, pH ve iletkenlik değerleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Tür olarak biyoyakıt üretimine uygunluk, yağ ve protein miktarının fazla olması, kolay bulunabilirlik ve kontaminasyona dayanıklı olması nedeni ile *chlorophyceae* sınıfına ait *Nannochloropsis salina* kullanmışlardır. Işık kaynak renklerini; mavi, sarı, kırmızı ve beyaz olarak seçmişlerdir. Aydınlanma süreleri (saat:saat) 12/12, 18/6, 6/18, 24/0 olarak kullanmışlardır. Sıcaklık değerleri; 21, 28 ve 35 °C olarak belirlemişlerdir. Işık şiddetleri ise; 172 lux, 186 lux ve 265 lux değerlerini kullanmışlardır. Kullanılan parametrelere bağlı olarak en iyi sonuç; beyaz ışık

kaynağı, 24 saat aydınlanma süresi ve en yüksek ışık şiddeti değerlerinde ulaşıldığını belirlemişlerdir.

Gezici (2012), biyodizel üretimine uygun olan *Palmellopsis muralis* ve *Dunaliella salina*'yı kullanarak, farklı dalga boyu ve farklı renkteki LED'lerin farklı ayınlatma süresi ve ortam sıcaklığı koşullarında mikroalglerin gelişimi üzerine etkilerini araştırmıştır. Denemelerde kullanılan ışık renkleri ve ışık şiddetleri, sarı ışık 117 lux, mavi ışık 194 lux, kırmızı ışık 224 lux ve beyaz ışık 265 lux olarak bildirmiştir. Birinci denemede farklı dalga boylarındaki ve farklı renklerdeki ışıklar kullanılmış olup mikroalgler 24 saat süreyle aydınlatılmaya tabi tutularak mikroalglerin zamana bağlı olarak, hücre sayıları, pH, tuzluluk ve iletkenlik değişimlerini incelemiştir. *Dunaliella salina sp.* türü için en iyi büyüme beyaz ışık altında olduğu bildirilmiştir. *Palmellopsis muralis* türü için yine en iyi büyüme beyaz ışıkta olduğu belirtilmiştir. İkinci denemede aydınlatma sürelerinin mikroalglerin yetiştirilmesine etkileri incelenmiştir. Bu deneme süresinde sadece beyaz ışık kullanılmış ve aynı parametreler incelenmiştir. Burada, önce 24 saat aydınlık, ikinci de 18 saat aydınlık 6 saat karanlık, üçüncüde 6 saat aydınlık 18 saat karanlık ve son olarak 12 saat aydınlık 12 saat karanlık durumları incelenmiştir. *Dunaliella salina sp.* türü için 24 saat aydınlık ortamda en yüksek hücre sayısına ulaşılmışken, 18 saat karanlık/6 saat aydınlık ortamda en düşük hücre sayısı gözlenmiştir. *Palmellopsis muralis* türü için hücre sayısındaki değişim diğer tür ile aynı olduğu belirtilmiştir. Üçüncü denemede ise sıcaklığın aynı parametrelere etkisi incelenmiştir. Bu denemede 268 lux beyaz ışık kullanılmıştır. Ortam sıcaklığı sırasıyla 21°C, 28°C ve 35°C olacak şekilde ayarlanmış ve 12 saat aydınlık – 12 saat karanlık süreleri içinde 12 saate bir ölçüm alınarak aynı parametreler incelenmiştir. *Dunaliella salina sp.* türü için en yüksek hücre sayısına 35°C 'de ve en düşük hücre sayısına ise 21°C ulaşıldığı belirtilmiştir. *Palmellopsis muralis* türü için 21°C'de en yüksek hücre sayısı gözlemlenirken, 35°C'de hücre sayısında azalma olduğu belirtilmiştir. Denemenin dördüncü bölümünde ise yine beyaz ışık kaynağını kullanarak 12 saat aydınlık 12 saat karanlık periyotlar ile farklı ışık şiddeti uygulanmıştır. Sırasıyla 6V, 9V ve 12V'luk adaptörlerin 60 cm LED ışık kaynağına sağladığı ışık şiddetlerinin aynı parametreler üzerindeki değişimlerini belirlemişlerdir. *Dunaliella salina sp.* türünde en yüksek hücre sayısına 12 V yani 265 lux'de ulaşılmıştır. *Palmellopsis muralis* türünde hücre sayısı, tuzluluk ve iletkenlik değeri diğer tür ile benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Araştırmacı *Dunaliella salina* sp. türünün yüksek sıcaklıklarda yüksek verimler elde edildiğini ve dış ortamlardan çabuk etkilendiği için kapalı sistemlere uygun olduğunu vurgularken, *Palmellopsis muralis* türü için ise düşük sıcaklıklarda çok rahat yetişebilen ve dış ortamlardan daha az etkilendiği için açık sistemlerde rahat kullanılabilen bir tür olduğu sonucuna varmıştır.

Okumura vd. (2015), farklı dalga boylarına ve aydınlatma yoğunluklarına sahip LED'ler kullanılarak *Botryococcus braunii* (NIES-836) mikroalg türünün büyümesi üzerine etkilerini araştırmışlardır. Bu çalışmada *Botryococcus braunii* mikroalg türü diğer mikroalglerden daha yüksek lipit içeriğine sahip olduğu için tercih edilmiştir. *Botryococcus braunii* (NIES-836) mikroalg türünün spektrofotometre kullanılarak hücrelerin optik yoğunluğu ( $OD_{540}$ ) ölçülmüştür ve dönüşüm denklemi ile büyüme oranları tespit edilmiştir. Işık yoğunluğunun büyüme üzerine etkisi belirlemek için yapay iklim odasında ışık yoğunlukları 20, 50, 80, 110, 150  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  olan flüoresan lambalar ve ışık yoğunluğu 21, 37, 65, 115, 200  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  olan mavi LED lambalar kullanılmıştır. Bu uygulamada flüoresan lambalarda 50  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ışık yoğunluğunda maksimum mikroalg biyokütlesi ve büyüme oranını elde etmişlerdir. 150  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ışık yoğunluğunda ise diğer ışık yoğunluklarına göre en düşük büyüme hızı olduğu belirtilmiştir. Mavi LED lambalarda ise kırmızı yeşil mavi LED'lere göre en yüksek verim elde edilmiştir. Bu yüzden farklı ışık yoğunlukları kullanılarak tekrar ölçümler yapılmıştır. Mavi LED'lerde ışık yoğunluğu arttıkça büyüme ve büyüme oranının arttığı sonucuna varılmıştır. Işık dalga boyunun büyüme üzerine etkisini belirlemek için ise ışık yoğunluğu 30  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  olan kırmızı, yeşil ve mavi renklerde LED lambalar kullanılmıştır. Yetiştirilmek üzere hazırlanan ve kutulara yerleştirilen mikroalgler için bu renkler ayrı ayrı kullanılmıştır (kullanılan LED'ler kutuların tepelerine yerleştirilmiştir). Buradan elde edilen sonuç ise *Botryococcus braunii* (NIES-836) mikroalg türünün büyüme oranı mavi LED lambanın kırmızı ve yeşile oranla çok daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca denemede kırmızı yeşil ve mavi renklerdeki LED'lerin karışımı sağlanarak büyüme oranı tespitine gidilmiştir ve kırmızı yeşil mavi kombinasyonundan en yüksek verim elde edildiği tespit edilmiştir. Fakat çalışmada mikroalg türünün yetiştirilmesinde ekonomik, pratiklik ve biyokütle verimi açısından inceleme yapıldığında mavi kırmızı kombinasyonunun kullanılabilceği belirtilmiştir.

Al-Hothaly vd. (2016), mikroalg türlerinden *Botryococcus braunii* sınıfına ait *Kossou-4* ve *Overjuyo-3* türlerinin besin maddelerinin (azot ve demir) ve çevresel koşulların (sıcaklık, ışık yoğunluğu ve fotoperiyod) biyokütle ve yağ üretimi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada iki farklı tür için dört deneme planlanmıştır. Tüm deneme 60 gün boyunca devam etmiş ve BG11 (blue-green) besin türü kullanılmıştır. Tüm denemelerde biyokütle ve yağ verimi analizleri yapılmıştır. Biyokütle çoğalmasını gözlemek için beş farklı biyokütle analizi (hücre sayımı, optik yoğunluk (680nm-750nm), kuru ağırlık ve klorofil flüoresan) yapılmıştır. İlk denemede BG11 besin maddesinin azot konsantrasyonunda değişiklik yapılmıştır. İki tür için kullanılan konsantrasyonlar 370, 750 ve 1500 mg l<sup>-1</sup> olarak ayarlanmıştır. İkinci deneme en iyi azot konsantrasyonuna göre kurulmuştur ve BG11 besin maddesinin demir konsantrasyonu değiştirilmiştir. İki tür için kullanılan demir konsantrasyonları 3, 6 ve 9 mg l<sup>-1</sup> olarak ayarlanmıştır. Üçüncü denemede 20, 25 ve 30°C olmak üzere üç farklı ortam sıcaklığı kullanılarak ve 54 µmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> foton sürekli ışık altında mikroalgler yetiştirilmiştir. Bu deneme kurulurken ilk iki denemede biyokütle ve yağ verimi hangi konsantrasyonlarda en iyi sonucu verdi ise o konsantrasyona göre kurulmuştur. Dördüncü denemede farklı ışık yoğunlukları ve fotoperiyotları kullanılmıştır. İlk üç denemede en iyi sonucu veren BG11 konsantrasyonu kullanılmıştır. Mikroalglerin üretiminde 54, 81 ve 135 µmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> foton olmak üzere üç farklı ışık yoğunluğu kullanılmış ve her bir ışık yoğunluğunda ise üç farklı ışık periyodu (24 saat aydınlık, 12 saat aydınlık:12 saat karanlık, 16 saat aydınlık:8 saat karanlık) kullanılmıştır. Sonuç olarak, *Kossou-4* ve *Overjuyo-3* mikroalg türlerinin üretiminde en iyi biyokütle ve yağ verimi için, BG11 besin maddesi içeriğindeki azot (750 mg l<sup>-1</sup>) ve demir (6 mg l<sup>-1</sup>) miktarının optimum olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca, biyokütle (6.9 – 10.6 kat) ve yağ üretiminde (8.1-10.5 kat) verimi arttırmak için üretim koşullarının optimum sıcaklık (25°C), ışık yoğunluğu (135 µmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> foton) ve ışık periyodu (16 saat aydınlık:8 saat karanlık) olduğunu tespit etmişlerdir.

Yusof vd. (2011), *Chlorella vulgaris* mikroalg türünü çeşitli kültür koşullarına tabi tutarak yağ asidi içeriklerini ve diğer besin maddelerini incelemişlerdir. Çalışmada besin maddesi olarak Bold Basal Medium (BBM) kullanılmıştır. Tüm çalışma boyunca ortam sıcaklığı 25°C ve pH 6.8 olarak ayarlanmıştır. *Chlorella vulgaris* mikroalg türü yetiştirilirken ortamın aydınlatma süresi 12 saat doğal güneş ışığı ve

24 saat ışık (12 saat doğal güneş ışığı-12 saat 40W floresan lamba) olmak üzere ayarlanmıştır. Ayrıca ortamın CO<sub>2</sub> oranı %1 ile %10 olarak ayarlanmıştır. Tüm deneme boyunca biyokütle büyümesi spektrofotometre (680 nm dalga boyunda) ile izlenmiştir ve sabit faza ulaşıncaya deneme sonlandırılmıştır (21 gün). Mikroalglerin hasat işlemi santrifüj kullanılarak (1000 devirde 15 dakika süre ile) çökeltme yöntemiyle yapılmıştır. Elde edilen biyokütle dondurma işlemi ile kurutulmuştur. Sonuç olarak diğer kültür koşullarına kıyasla 24 saat ışık altında ve %10 CO<sub>2</sub> kültür koşullarında *Chlorella vulgaris* en iyi büyüme hızına sahip olduğu tespit edilmiştir ve bu koşullarda toplam biyokütlenin 250 g olduğu bildirilmiştir. Aynı kültür koşullarında nem, yağ ve protein sonuçları diğer kültür koşullarına kıyasla daha yüksek olduğu belirtilmiştir. 12 saat ışık altında %1 CO<sub>2</sub> kültür koşulunda düşük besin değerleri olduğu tespit edilir iken en fazla mineral bu kültürde elde edildiği bildirilmiştir. Yağ içeriğinde değişimlerin CO<sub>2</sub> ile yakından ilişkili olduğu sonucuna varılmıştır ve her iki kültür (12 ve 24 saat aydınlatma) koşulunda yüksek CO<sub>2</sub> konsantrasyonlarında C18:1-C18:2-C18:3 (oleik-linoleik-linolenik asit) miktarlarının arttığı bildirilmiştir.

Miao ve Wu (2006), yaptıkları çalışmada mikroalg yağından biyodizel üretim metotlarını incelemişlerdir. Biyodizel üretimi için *Chlorella protothecoides* türünü seçmişlerdir ve bu türü seçmelerindeki nedeni yüksek yağ oranı olarak açıklamışlardır (%55). Yağ çıkarma işleminde hegzan kullanmışlardır. Biyodizele çevrim işleminde ise asidik transesterifikasyon metodunu kullandıklarını bildirmişlerdir. Araştırmanın sonucunda ise; mikroalglerden biyodizel üretiminin yeni bir süreç olduğu, biyomühendislikle kombine edildiği takdirde yüksek kaliteli biyodizel üretiminin mümkün olacağını bildirmişlerdir.

Velichkova vd. (2012), *Botryococcus braunii* mikroalg türünü iki besin ortamında (BBM ve 3N-BMM) yetiştirerek biyodizel üretim potansiyelini incelemişlerdir. Deneme oda sıcaklığında (25-27°C), floresan lamba altında 15 saat aydınlık 9 saat karanlık ışık periyodu kullanılarak sürdürmüşlerdir. Toplam deneme süresi 25 gün olarak belirtilmiştir. Deneme boyunca mikroalglerin büyüme oranı, klorofil ve karoten miktarını belirlemek için ölçümler yapmışlardır. Deneme sonunda ise toplam yağ miktarı belirlemişlerdir. Büyüme oranını, spektrofotometre (optik yoğunluk 550 nm dalga boyunda) ve biyokütle kuru ağırlığı üzerinden belirlemişlerdir. Klorofil ve

karoten içeriğini belirlemek için kültürden 2 ml alınıp 1000 rpm'de 3 dakika boyunca santrifüjleme yapmışlardır, işlem sonunda üst kısımdaki sıvı kısım atılmış olup geriye kalan mikroalg hücrelerine metanol/su (90/10 v/v) ilave edilerek 1 dakika boyunca vorteks cihazı ile karıştırmışlardır. Elde edilen karışımı bir su banyosu kullanarak 60°C sıcaklıkta yarım saat ısıtmışlardır. Daha sonra karışım oda sıcaklığına ulaşana kadar soğutulmuş ve tekrar santrifüj (1000 devir/dakika'da 3 dakika) işlemine tabi tutmuşlardır. Son olarak spektrofotometre kullanılarak (klorofil için 665 ve 652, karoten için 470 ve 666) absorbans değerlerini kaydedip hesaplamalarını yapmışlardır. Toplam yağ miktarını ise Bligh and Dyer metodunu kullanarak belirtmişlerdir. Kloroform/metanol (1/2 v/v) karışımı kullanılarak yağ elde etmişlerdir. Sonuç olarak, yaklaşık 21 günden sonra vejetatif büyümeye ulaşıldığını belirtmişlerdir. Bu süre içerisinde en fazla büyüme oranı 3N-BBM besin ortamında (kuru ağırlık 1.84 g/l) gözlemlendiği bildirilmiştir. Aynı zamanda bu besin ortamında toplam yağ miktarında BBM besin ortamına göre daha yüksek olduğu belirtilmiştir. *Botryococcus braunii* mikroalg türü BBM besin ortamında yetiştirilmesi sonucunda toplam yağ oranı %20.3 iken 3N-BBM besin ortamındaki toplam yağ oranı %25.2 olarak bildirmişlerdir.

Atta vd. (2013), *Chlorella vulgaris* mikroalg kültürü yetiştirilirken floresan (beyaz) ışık ve mavi LED ışık altında, farklı yoğunluklarda ve fotoperiyotlarda büyüme ve yağ verimliliğini inlemişlerdir. Çalışmada mikroalgler yetiştirilirken mavi LED'lerin 100, 200 ve 300  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  yoğunlukları ve 12:12, 16:8 ve 24:00 saat aydınlık:karanlık döngülerini kullanmışlardır. Beyaz ışık (kontrol grubu) altında ise 200  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  yoğunluk ve 12:12, 16:8 ve 24:00 h aydınlık:karanlık döngüleri kullanılarak araştırmalarını yapmışlardır. Ortam sıcaklığı 25°C olup çalışmayı 13 günde tamamlamışlardır. Sonuç olarak, 200  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  yoğunlukta, 12:12 saat aydınlık:karanlık döngüde mavi LED ışık altında yetişen *Chlorella vulgaris*'in 8 günün sonunda yağ içeriğinin % 23.5 ile en yüksek değere ulaştığını aynı zamanda bu koşullarda maksimum büyüme hızı ve kuru ağırlık elde edildiğini bildirmişlerdir. Beyaz ışık 16:8 saat aydınlık karanlık döngüde, 10 günün sonunda %20.9 yağ içeriği ile en yüksek değere ulaştığını bildirmişlerdir. Ayrıca *Chlorella vulgaris* mikroalg türü yetiştirilirken mavi LED ışığın düşük güç tüketimi, sisteme uyumluluğu, ısı dağılımının az olması gibi nedenlerden dolayı floresan lambaya kıyasla verimli bir enerji kaynağı olduğunu bildirmişlerdir.



### 3. MATERYAL VE METOT

#### 3.1 Materyal

Bu çalışma, Süleyman Demirel Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Algal Biyokütle Laboratuvarında yürütülmüştür. Bu tez çalışmasında biyodizel hammaddesi olarak kullanılmaya yatkın, yağ içeriği diğer mikroalgelere göre nispeten daha yüksek ve yeşil bir mikroalg türü olan *Botryococcus braunii* kullanılmıştır. Çalışma materyali *Botryococcus braunii* (SAG 807-1) mikroalg türü SAG'dan temin edilmiştir. *Botryococcus braunii* Dictyosphaeriaceae familyasından Chlorophyceae sınıfına ait bir türdür. Koloni oluşturan ve lipit üreten biyodizel üzerinde çalışmaları sürdürülen bir organizmadır. Koloni büyüklüğü 30 µm ile 2 mm arasında değişmektedir. 6-10 µm uzunluğunda ve 3-6 µm genişliğindedir. Tatlı ve acı sularda, göllerde, barajlarda, havuzlarda, geçici göletlerde, nehir ağızlarında, atık suların biriktiği havuzlarda yaşarlar. *Botrococcus braunii* radyal bölünme sonucu oluşan 4-8 adet otosporla eşeysiz olarak üreyebilmektedir (John vd., 2002). Lipit değeri yaklaşık %25-75 arasında değişmektedir. Yaşadığı doğal ortamlarda kuru ağırlığının %80' ine varan oranlarda hidrokarbonca zengin yağları sentezler. Büyüme için optimum sıcaklık 25°C'dir (Lupi vd., 1991). *B. Braunii*'nin biyokütle artışı ve lipit miktarı; sıcaklığa, tuzluluğa, ortamdaki ışık yoğunluğuna, pH'a, azot ve fosfor miktarına bağlı olarak değişmektedir (Seyhaneyıldızı, 2010).

Deneme stok kültür kabinlerinde 5 farklı renkteki ve dalga boyundaki LED lambalar ile kullanılarak kurulmuştur (Şekil 3.1). Çalışmada kullanılan LED lambalar uzun ömürlü (100000 saate kadar) olup, enerji açısından akkor ve halojen lambara kıyasla verimleri yüksektir. Düşük voltaj uygulamalarına uygun olup UV bulunmamaktadır. Çalışmada kullanılan LED'lerin özellikleri aşağıdaki gibidir:

- 1W Edison power led, soğuk beyaz (6000 K, 90 lm),
- 1W Edison power led, kırmızı (623nm, 40 lm),
- 1W Edison power led, mavi (470nm, 20 lm).



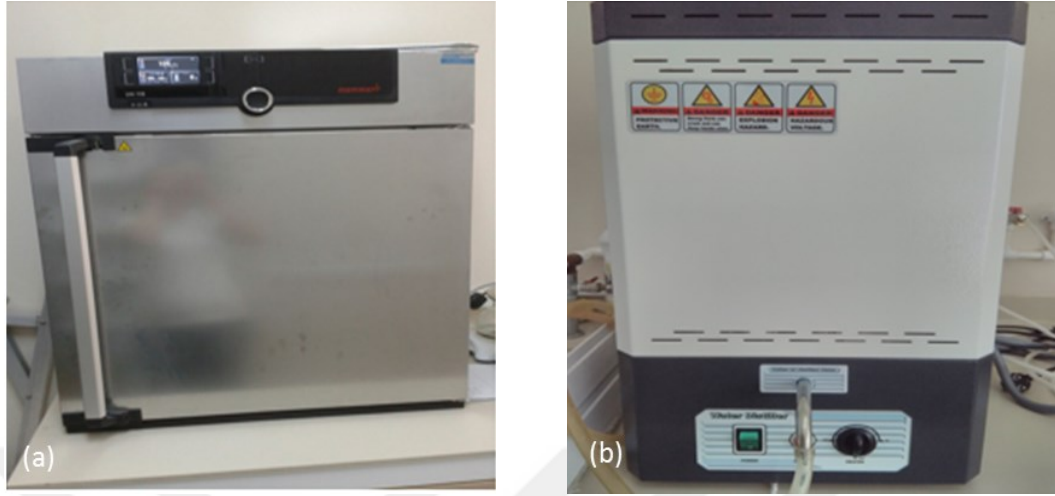
Şekil 3.1. Denemede kullanılan stok kültür kabinleri

## 3.2. Metot

### 3.2.1. Sterilizasyon ve ortam hazırlığı

Mikroalg yetiştirilirken dikkat edilmesi gereken en önemli parametre kontaminasyondur. Kontaminasyon kullanılan cihaz ve ekipmandan kaynaklanabildiği gibi mikroalg yetiştirilen ortamın ve havanın kirliliğinden de kaynaklanabilmektedir. Denemeye başlamadan önce kullanılacak olan tüm makina, ekipman ve ortam sterilizasyon işlemine tabi tutulmuştur. Tüm erlenler, pipetler ve kullanılan diğer cam malzemeler %10 oranında seyreltilerek %99,9 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>'den geçirilip, 121°C'de 1 atmosfer buhar basıncında otoklavda ıslak sterilizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra aynı ekipmanlara 180°C'de 2 saat etüvde (Memmert marka) kuru sterilizasyon yapılmıştır (Şekil 3.2). Sterilizasyon işlemi devam ederken saf su cihazından (Mikrotest Mds) (4L/h) denemede kullanılacak olan saf su temini yapılmıştır (Şekil 3.3). Denemeye başlamadan kabinlerde bulunan 5 farklı renkteki LED ışıklar 50±5 µmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> olarak FAR sensörü ile ayarlanmıştır. Aynı ebattaki stok kültür kabinlerinde %100 kırmızı, %100 mavi, %80 kırmızı-%20 mavi, %80 mavi-%20 kırmızı ve kontrol grubu olan %100 soğuk beyaz renkler mevcuttur. Stok kültür kabinlerindeki LED'ler her bir kabinin tepe kısmında bulunmaktadır.

Miroalglerin yetiştirilmesi için ortam sıcaklığı 25°C olarak ayarlanmıştır. Deneme isimleri LED renkleri olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.2. Kurutma ve kuru sterilizasyon işlemlerinin gerçekleştirildiği etüv (a) Saf su cihazı (b)

### 3.2.2 Mikroalg besin kültürünün hazırlanması

2 L'lik erlenlere Bazal Medium besin ortamı hazırlanmıştır. Besin ortamına ait reçete aşağıdaki Çizelge 3.1'de verilmiştir. Besiyeri içerisine her bir bileşen tek tek eklenerek, bileşenlerin saf su içerisinde çözünmesi sağlanmıştır. Bu işlemi yaparken iki manyetik karıştırıcı kullanılmıştır (DAIHAN MSH-20A) (Şekil 3.3). İstenilen miktarda besiyeri çözeltisi hazırlanmıştır. Çözeltilerin pH değeri 6.6 olarak ölçülmüştür. Bu çözelti hazırlanırken bekalevin kullanılarak gereken hijyen sağlanmıştır.

Çizelge 3.1. Bazal medium besin ortamı

	Stok çözelti (g/100 ml)	Besin çözeltisi (ml/2L)
KNO <sub>3</sub>	1	40
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	0.1	40
MgSO <sub>4</sub> -7H <sub>2</sub> O	0.1	40
Mikro çözeltisi	-	10
Toprak ekstraktı	30	60
Saf su	-	1.810



Şekil 3.3. Isıticılı manyetik karıştırıcı

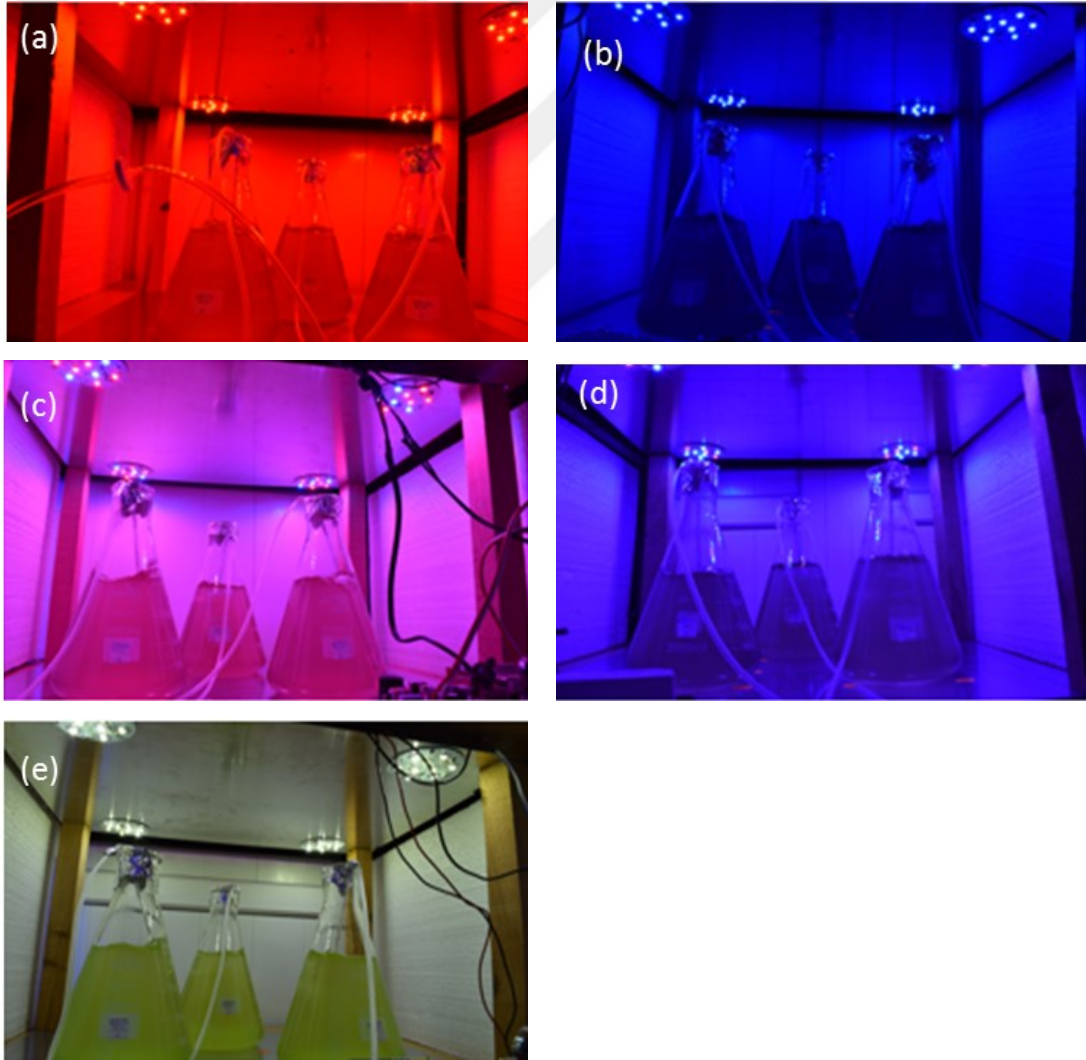
### 3.2.3. Mikroalg kültürünün besin yerine aşılınması

Saf ve steril olarak temin edilen *Botryococcus braunii* (SAG 807-1) mikroalg türü çoğalma için hazır hale gelmiştir. 2 L'lik erlenlere 400 ml *Bortyococcus braunii* mikroalg türü, 1600 ml besin eklenerek ekim yapılmıştır. Ekim işleminin tamamı için 6 L *Botryococcus braunii* ve 24 L besin kullanılmıştır. Aşılama işlemi 15 erlene eşit miktarda dağıtılarak yapılmıştır. Aşılama esnasında bekalevin kullanılarak ortam sterilizasyonu sağlanmıştır.

### 3.2.4. Mikroalglerin yetiştirilmesi ve deney düzeneği

Erlenlerde yetiştirilmesi için hazır bulunan mikroalgler havalandırma pipetleri ve havalandırma hortumları takılıp, erlenlerin ağız kısmı alüminyum folyo ile kapatılmıştır. Havalandırma mikroalglerde ışık, sıcaklık ve gazların homojen dağılımı ve çökelmeyi engellemek için önemli bir işlemdir. Daha sonra stok kültür kabinindeki her bir LED lamba altına mikroalgler 3 tekerrürlü olarak yerleştirilmiştir (Şekil 3.4). Mikroalglerin havalandırma ile karışımını sağlayacak olan pompaya havalandırma hortumları bağlanmıştır. Kontaminasyonu önlemek için havalandırma hortumlarının giriş kısmına filtreler yerleştirilmiştir. Stok kültür kabinlerinde sıcaklık bir klima ile dengede tutulmaktadır. Sıcaklığı 25°C olarak ayarlanan stok kültür kabinlerine 2 tane termometre yerleştirilerek günlük sıcaklık kontrolü yapılmıştır (Şekil 3.5). Mikroalglerin kontaminasyon riskini azaltmaya yönelik stok kültür kabinlerinde bulunan küçük fanlar tüm deneme boyunca çalıştırılmıştır. Deneme

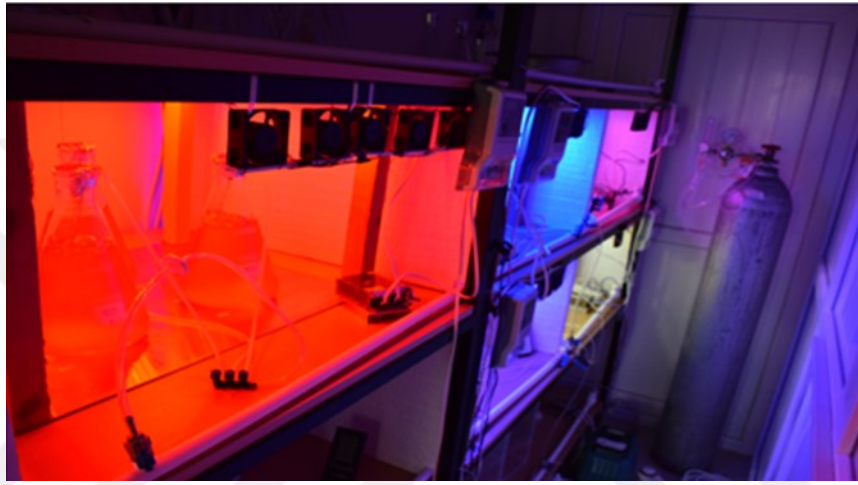
boyunca ışıklandırma süresi 16 saat aydınlık 8 saat karanlık periyotlarda ayarlanmıştır. Dene düzenneği Şekil 3.6'da verilmiştir. 20 gün süren deneme boyunca 4'er gün periyotlarla, aynı saatlerde pH, elektriksel iletkenli (EC), çözülmüş oksijen (DO<sub>2</sub>), biyokütle, klorofil a, klorofil b, optik yoğunluk (OD) ölçümleri yapılmıştır ve deneme sonunda mikroalgler hasat edilmiştir. Ölçümlere mikroalglerin ortama adapte fazyı, üreme fazyı, durağan (sabit) fazyı takip edilerek devamı sağlanmıştır. Daha sonra yağ çıkarılma işlemleri yapılmıştır. Elde edilen yağın kompozisyonları Süleyman Demirel Üniversitesi Merkezi Laboratuvarında belirlenmiştir. Denemeler, %100 kırmızı (%100 K), %100 mavi (%100 M), %80 kırmızı-%20 mavi (%80 K-%20 M), %80 mavi-%20 kırmızı (%80 M-%20 K) ve kontrol grubu olan %100 soğuk beyaz (%100 SB) olarak isimlendirilmiştir.



Şekil 3.4. LED lambalar; (a): (%100 K), (b): (%100 M), (c): (%80 K-%20 M), (d): (%80 M-%20 K) ve (e): (%100 SB)



Şekil 3.5. Ortam sıcaklığını ölçmek için kullanılan termometre



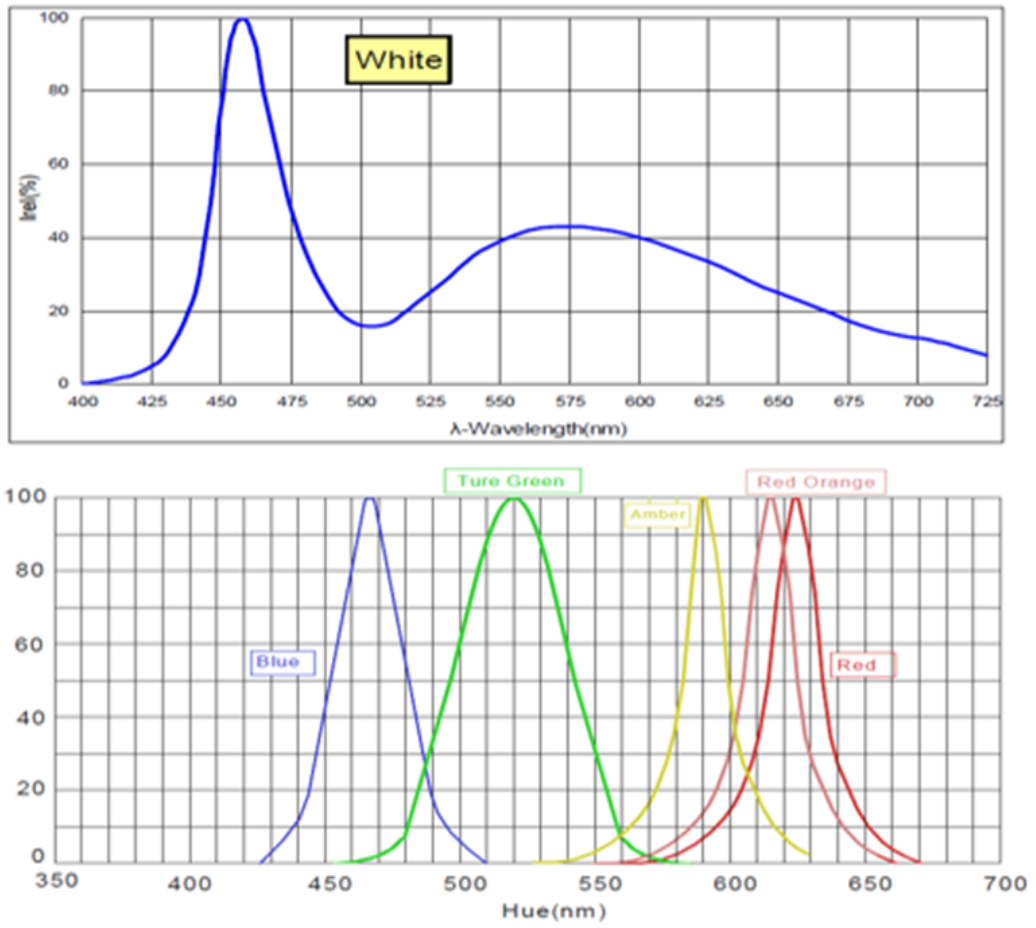
Şekil 3.6. Deney düzeneği

### 3.2.5 FAR ölçümleri

FAR 400–700 nm dalga boyları arasında kalan, fotosentez aktivitesi sağlayan ışık anlamına gelir ki mikroalglerin yeşil rengini alabilmesi buna bağlı olarak klorofil ve karoten miktarı için önemli bir parametredir. 5 farklı renkteki stok kültür kabinlerine mikroalgler yerleştirilmeden önce her bir stok kültür kabini içinde bulunan LED lambaların altında 16 nokta belirlenip FAR ölçümleri yapılmıştır. Mikroalglerin yetiştirilmesi için LED lambalar  $50 \pm 5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  FAR değerini sağlayacak şekilde ayarlama yapılmıştır. FAR ölçümü bir veri kaydedici (Delta ohm 9847K ) ve FAR sensörü (LP 471 photo, delta ohm) ile yapılmıştır (Şekil 3.7). FAR sensörü ile farklı renkteki her bir stok kültür kabini içinde 16 noktada ölçümler yapılmıştır. Çalışmamızda kullanılan LED lambaların dalga boyu spektrumu Şekil 3.8’de verilmiştir. Çalışmada kullanılan LED’lerin teknik özellikleri Çizelge 3.2’de verilmiştir (Anonymous, 2011).



Şekil 3.7. Veri kaydedici ve PAR sensörü



Şekil 3.8. LED lambaların dalga boyu spektrumu (Anonymous, 2011)

Çizelge 3.2. LED'lerin teknik özellikleri (Anonymous, 2011)

LED Lamba	Renk	Işıma açısı (°)	Işık akısı (lm)	Akım (mA)	Gerilim (V)
Edixeon marka 1W güç LED	Beyaz 5000-8000 K	140	40	350	2.8-4.0
	Kırmızı 620-630 nm	120	26	350	2.0-2.75
	Mavi 460-475 nm	140	10	350	2.8-4.0

### 3.2.6 Enerji ölçümü

Her bir stok kültür kabinine bağlı elektrik sayacı ile LED aydınlatma sistemlerinin günlük enerji tüketimleri ölçülmüştür ve kütle başına tüketilen enerji tüketimi miktarı belirlenmiştir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Elektrik sayacı

### 3.2.7 pH, elektriksel iletkenlik (EC) ve çözülmüş oksijen (DO<sub>2</sub>) ölçümleri

pH, bir çözeltinin asidiklik veya baziklik derecesini gösteren bir ölçümdür. Elektriksel iletkenlik (EC), sulu bir çözeltinin elektriği iletme kabiliyetinin sayısal bir ifadesidir. Suyun iletkenliği sudaki iyonların toplam ve bağlı konsantrasyonlarına, hareketliliğine, değerliklerine ve ölçüm sıcaklığına bağlıdır. Çözülmüş oksijen



(DO<sub>2</sub>) ise; sularda çözünmüş halde bulunan oksijen miktarını ifade etmektedir. Çalışmada HD98569 DELTA OHM datalogger'a bağlı pH, EC ve DO<sub>2</sub> sensörleri ile ölçümler yapılmıştır. pH, EC ve DO<sub>2</sub> ölçümleri yapılırken; ortamlardan 15'er mL örnekler alınmış pH, EC ve DO<sub>2</sub> ölçümleri yapılmıştır. (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. pH, EC ve DO<sub>2</sub> için datalogger ve sensörler

### 3.2.8. Optik yoğunluk ölçümü

Stok kültür kabinlerinden ölçüm için alınan mikroalgler homojenliği sağlamak için birkaç kez karıştırıldıktan sonra erlenlerin tam orta kısmından pipet yardımı ile alınmış ve kuvars tüpleri 3 ml örnekler ile doldurulup spektrofotometre (Mecacys marka optizen pop uv/visible spektrofotometre) (Şekil 3.11) ile yapılan 680 nm dalga boyunda optik yoğunluk ölçümleri ile belirlenmiştir (Kang vd., 2005). Spektrofotometrede ölçümler 3 tekerrürlü olarak yapılmıştır.



Şekil 3.11. Spektrofotometre

### 3.2.9. Klorofil a ve klorofil b analizi

Klorofil a ve klorofil b analizi için 10'ar mL'lik örnekler alınıp santrifüj cihazında (Hettich EBA 200) 6000 devir/dakika'da 20 dakika çöktürülüp üst yüzeyde kalan besin uzaklaştırılmıştır. Sonra kütlenin içerisindeki besinin tamamen giderilmesi için üzerine 10 ml saf su eklenip tekrar santrifüj cihazında 6000 devir/dakika'da 20 dakika çöktürme işlemi yapılmış ve üst yüzeyde kalan sıvı kütleden uzaklaştırılmıştır. Elde edilen kütleye 10 ml %99.7 aseton ilave edilerek vortex cihazı (Ismix Jr Vt) ile karışımı sağlanmıştır. Elde edilen çözelti karanlıkta +4°C'de 24 saat bekletilmiştir. Sonra spektrofotometrede 662 nm, 645 nm ve 450 nm dalga boyları kullanılarak ölçümler yapılmıştır (Şekil 3.12). Bu ölçümler sonunda alınan ortalama değerler ile klorofil a ve klorofil b değerleri bulunmuştur. Klorofil a ve klorofil b formülleri aşağıda verilmiştir (Lichtenthaler ve Wellburn, 1985).

$$C_a = 11,75 * A_{662} - 2,350 * A_{645} \quad (3.1)$$

$$C_b = 18,61 * A_{645} - 3,960 * A_{662} \quad (3.2)$$

$$C_{a+b} = (1000 * A_{470} - 2,270 * C_a - 81,4 * C_b) / 227 \quad (3.3)$$

Eşitlikte;

$C_a$  = Klorofil a değeri,

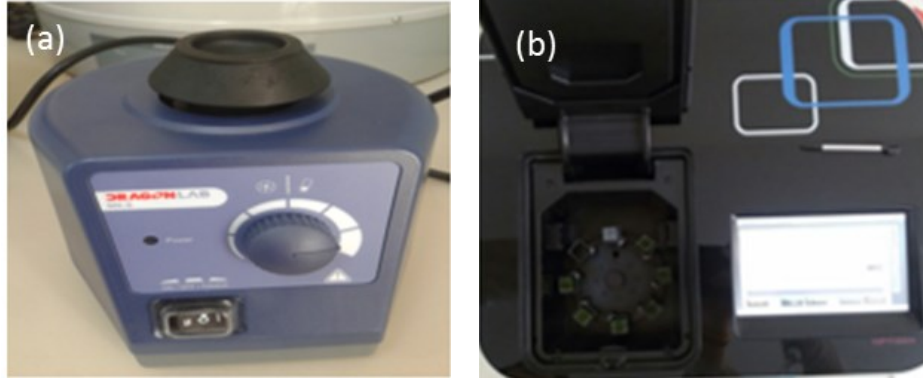
$C_b$  = Klorofil b değeri,

$C_{a+b}$  = Toplam karoten miktarı,

$A_{662}$  = Spektrofotometrede 662 dalga boyunda ölçümü yapılan mikroalg değeri,

$A_{645}$  = Spektrofotometrede 645 dalga boyunda ölçümü yapılan mikroalg değeri,

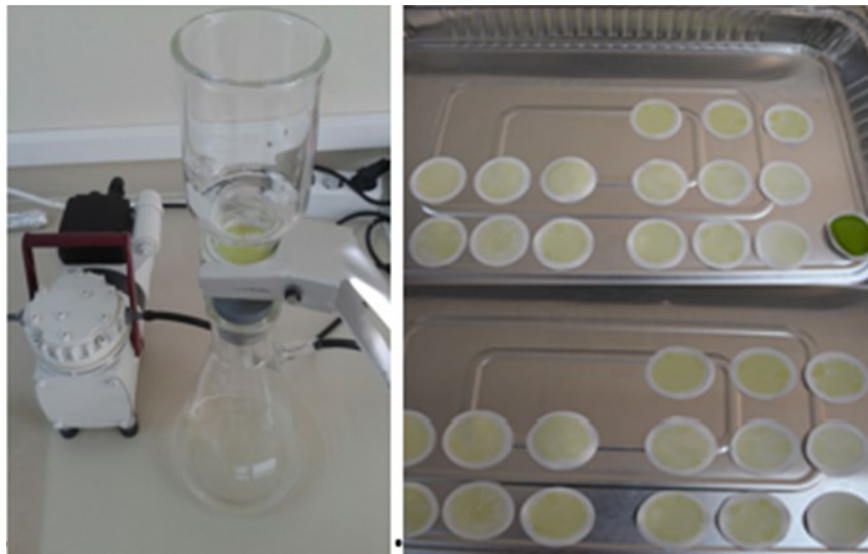
$A_{470}$  = Spektrofotometrede 470 dalga boyunda ölçümü yapılan mikroalg değeri.



Şekil 3.12. Vortex cihazı (a) ve klorofil ölçümleri (b)

### 3.2.10. Biyokütle ölçümü

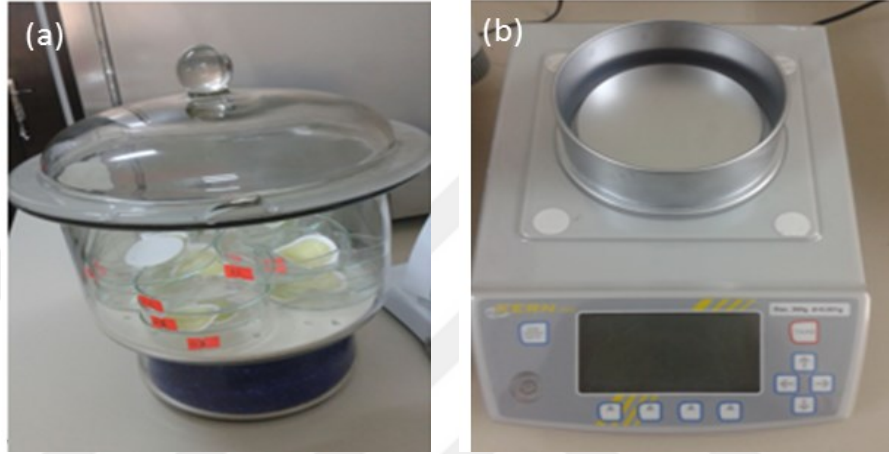
Biyokütle ölçümü için vakum pompası (DrVac-600) kullanılmıştır. Süzme işlemi 0.45 µm delik çaplı Whatman (filtre) kağıtları ile yapılmıştır. Whatman kağıdının ağırlığı 0.076 g olup biyokütle hesaplamaları buna göre yapılmıştır. Her bir örnekten 10 mL alınıp vakum pompasında suyu süzülene kadar bekletilmiştir (Şekil 3.13). Elde edilen kütle etüvde 105°C sıcaklıkta 24 saat kurutulmuştur (Şekil 3.14) (Blight, Dyer). Kurutulmuş biyokütle örnekleri nem kaybı riskine karşı desikatörde 10-15 dakika bekletilip sonra hassas terazide tartımı yapılmıştır (Şekil 3.15). Tartımı yapılan biyokütle örneklerinden filtre kağıdının darası çıkarılarak biyokütle miktarları belirlenmiştir.



Şekil 3.13. Vakum pompası ve yaş biyoküteller



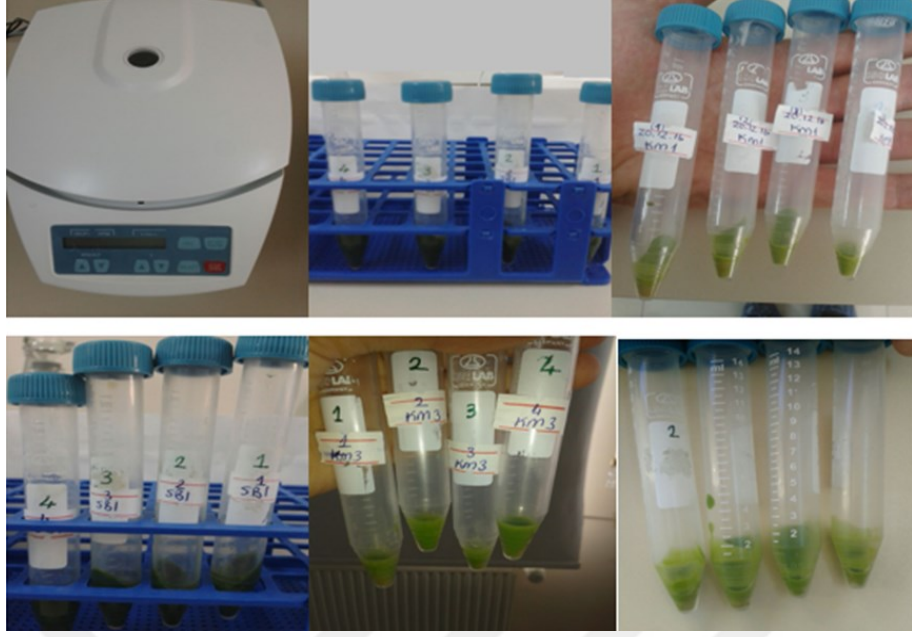
Şekil 3.14. Biyokütlelerin kurutulması



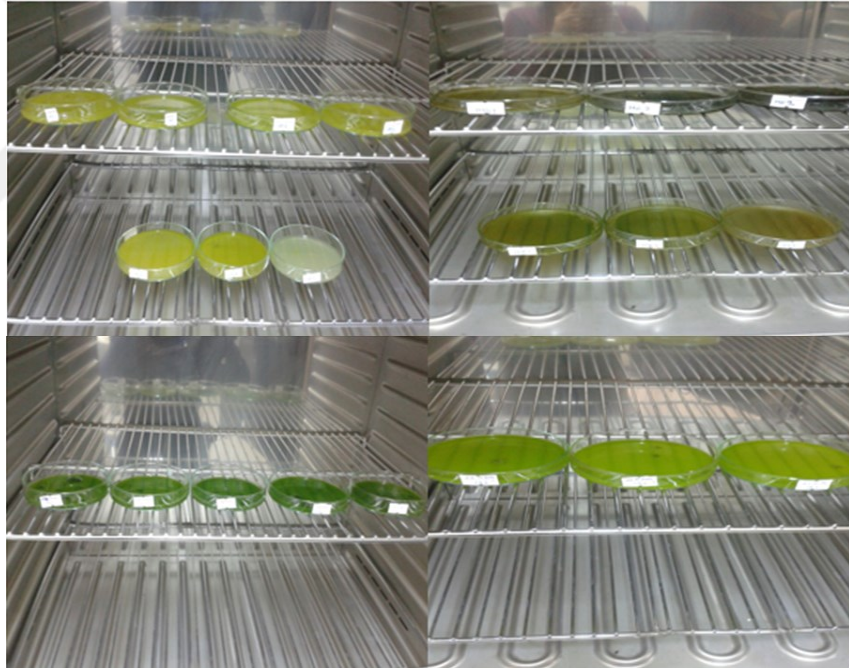
Şekil 3.15. Desikatör (a) ve hassas terazi (b)

### 3.2.11. Mikroalglerin hasat edilmesi

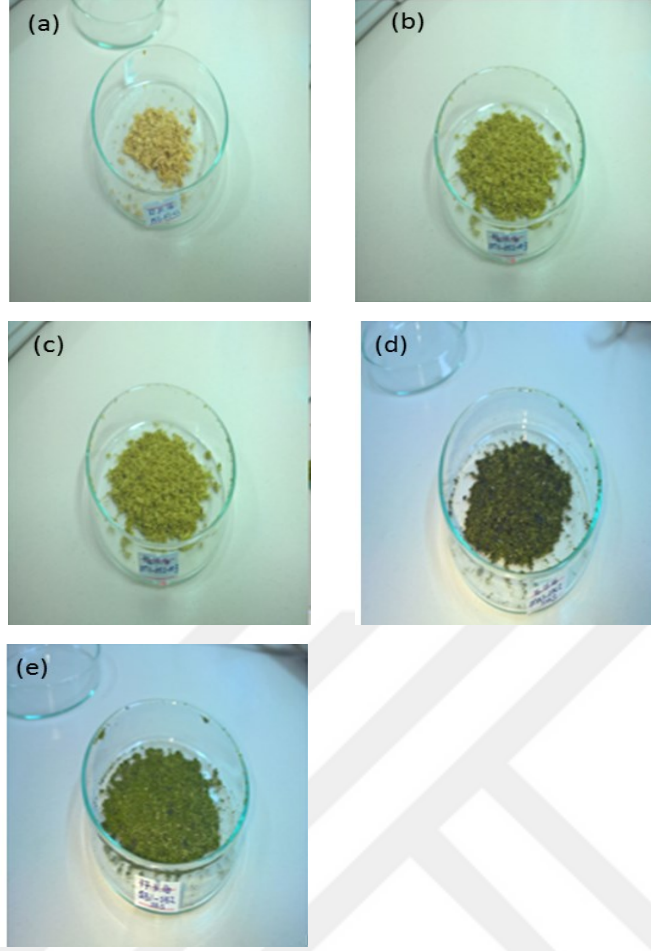
Mikroalglerin hasat işleminde birçok yöntem kullanılmaktadır. Bu çalışma laboratuvar ölçekli olduğundan hasat işlemi santrifüj yöntemi tercih edilmiştir. Bunun nedeni ise denemede kullanılan hacmin az oluşudur. Mikroalgler 15 mL'lik falkon tüplerine eşit miktarlarda doldurulup santrifüj makinasına yerleştirilmiştir. Daha sonra santrifüjde 6000 devir/dakika'da 20 dakika çöktürülerek hasat edilmiştir. Çöken mikroalg hücreleri besin ortamından ayrılmıştır. 15 mL'lik falkon tüplerinden alınan mikroalgler petri kaplarına aktarılmıştır (Şekil 3.16). Hasat işleminden sonra mikroalgler 55°C sıcaklıkta 48 saat etüvde kurutulmuştur (Şekil 3.17). (Nautiyal vd., 2014). Kurutulmuş mikroalglerin (Şekil 3.18) tartımları hassas terazi kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 3.16. Santrifüj cihazı ve hasat edilen biyokütleler



Şekil 3.17. Etüvde kurutulacak olan mikroalgler

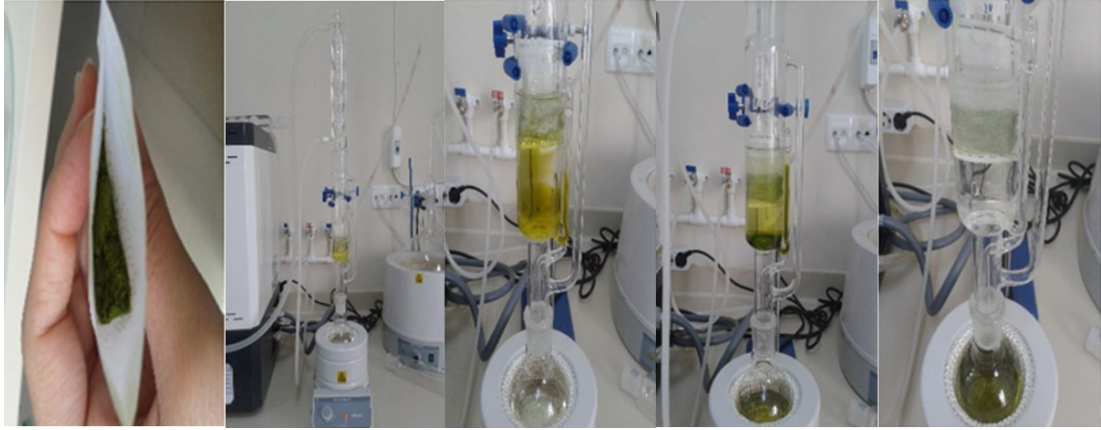


Şekil 3.18. Etüvde kurutulanan mikroalgler (a): (%100 K, (b): (%100 M), (c): (%80 K-%20 M), (d): (%80 M-%20 K) ve (e): (%100 SB).

### 3.2.12. Mikroalglerin yağ ekstraksiyonu

Hasat ve kurutma işleminden sonra her bir LED lamba atındaki mikroalglerin yağ oranlarının tespiti yapılmıştır. Bu çalışmada, mikroalglerden yağ eldesi için Bligh and Dyer (1959), metod'una göre yapılması karar verilmesine rağmen yapılan ön denemelerin sonucunda ve literatürde kullanılan miktarlar göz önüne alınarak, az miktarda yapılan mikroalg denemelerinde bu yöntemin olumlu sonuç vermediği düşünülmüştür. Ayrıca çalışmanın yürütüldüğü laboratuvarın alt yapısı bu metot için yeterli olmadığı sonucuna varılmıştır. Bu nedenlerden dolayı çalışmamızda kurutulmuş mikroalglerden yağ tayini Soxhlet Ekstraksiyon Metodu kullanılarak yapılmıştır. Bu metot için elde edilen her bir LED altındaki mikroalg kütleleri cihazın içerisine yerleştirilen kartuşa yeterli miktarda konulmuştur. Kartuşun ağız kısmı kapatılıp tartımı yapıldıktan sonra soxhlet cihazına yerleştirilmiştir. Sonra 225

mL hexan kartuşun bulunduğu bölgeye aktarılmıştır. Aktarılan bölgede hexan'ın bir sifon yapması sağlanmıştır (sifon yapan hexan balon jodede toplanmaktadır) ve geriye kalan 75 mL hexan kartuşun bulunduğu kısma aktarılmıştır. Daha sonra cihazın üst kısmına yoğuşmanın sağlandığı, içerisinde soğuk suyun geçtiği aparat takılmıştır. Yaklaşık 70°C'de cihaz çalıştırılmıştır. Cihazın balon joje kısmında toplanan hexan ısındıkça buharlaşmakta ve suyun geçtiği üst kısımda yoğuşarak kartuşun bulunduğu haznede toplanmaktadır. Bu haznede toplanan hexan bir süre sonra sifon yaparak tekrar balon jeye inmektedir. Bu işlem mikroalg'in bulunduğu bölgede hexan tamamen kendi rengini alana kadar devam etmektedir. Ekstraksiyon işlemi yaklaşık 6 saat boyunca devam etmiştir. Bu süre zarfında her bir sifon sayısı takip edilmiştir. Bu aşama bitince cihazın üst ve orta aparat kısmı değiştirilmiş ve hexan damıtma işlemine başlanmıştır. Hexan damıtma işlemi de yaklaşık 70°C'de gerçekleştirilmiştir. Cihazın balon joje kısmında bulunan hexan-yağ karışımı ısındıkça hexan buharlaşmakta ve suyun geçtiği aparatta yoğuşmaktadır. Yoğuşan hexan cihazın orta aparatında toplanmaktadır. Toplanan hexan tekrar kullanılabilir durumda olduğu için oda koşullarında soğuduktan sonra cihazdan alınmıştır. Damıtma işlemi ile hexan yağdan yaklaşık 50 dakika da ayrılmıştır. Şekil 3.19'da soxhlet cihazı ile mikroalg biyokütellerinin yağ ekstraksiyonu işlemi görülmektedir. Ayırma işleminden sonra balon jopenin içerisinde bulunan yağda bir miktar daha hexan olduğu gözlemlenmiştir. Bu yüzden cihazın balon joje kısmında kalan yağ ve hexan, darası alınmış olan viallere aktarılmıştır. Ham yağ eldesi için viallerin ağzı açık bir şekilde oda koşullarında 24 saat bekletildi. Bu bekleme süresinde belirli aralıklarla tartımlar yapılmıştır. Daha sonra vialler etüvde 70°C'de 15 dakika ısıtılmıştır. 5 dakika aralıklarla desikatörde bir miktar bekletilerek viallerin tartımları yapılmıştır ve tartımlarda sabitlenme gözlemlenmiştir. Yağ içerisinde kalan hexan bu işlemlerden sonra tamamen uçmuştur. Vialde kalan yağ tartımları yapılmıştır. Viallerin ağz kısmı parafin ile kapatılarak elde edilen yağlar analize hazır hale getirilmiştir. Bu işlemler 5 farklı LED lamba altında yetiştirilen mikroalgler için gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.20'de ham yağ miktarları görülmektedir.



Şekil 3.19. Mikroalg biyokütellerinin yağ ekstraksiyonu işlemi

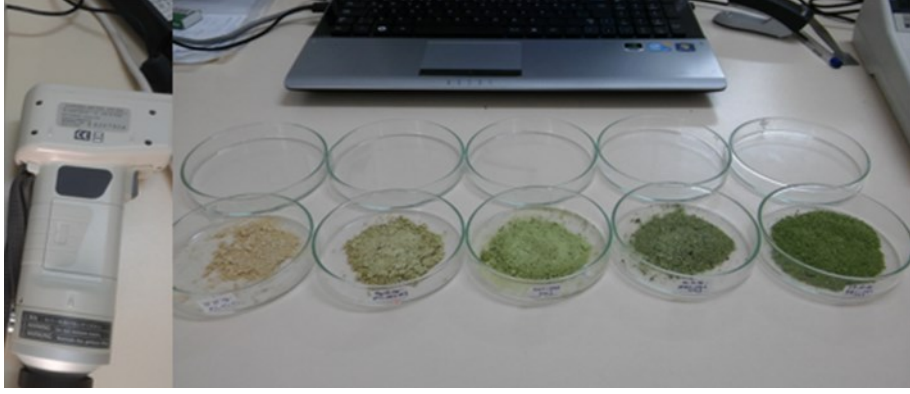


Şekil 3.20. 5 farklı LED lamba altında yetiştirilen mikroalg biyokütellerinin yağ miktarları

### 3.2.13. Renk ölçümü

*B. braunii* mikroalg türünün yağı çıkarılmadan ve yağı çıkarıldıktan sonra renk ölçümleri yapılmıştır. Ölçüm için chroma meter CR-400 marka cihaz kullanılmıştır. Renk ölçüm cihazında okunan parametreler; L\* değeri parlaklığı temsil etmekte olup 0 ile 100 arasında değişmektedir. 0 siyahlığı, 100 beyazlığı ifade etmektedir. a\* değeri pozitif ise kırmızılık ve negatif ise yeşilliği ifade etmekte olup, -90 ile +90 arasında değişmektedir. b\* değeri pozitif ise sarılığı ve negatif ise maviliği ifade etmekte olup -90 ile +90 arasında değişmektedir. Renk ölçüm sonuçları değerlendirildiğinde L\* (parlaklık) değeridir. Renk ölçüm işlemleri şekil 3.21’de verilmiştir.

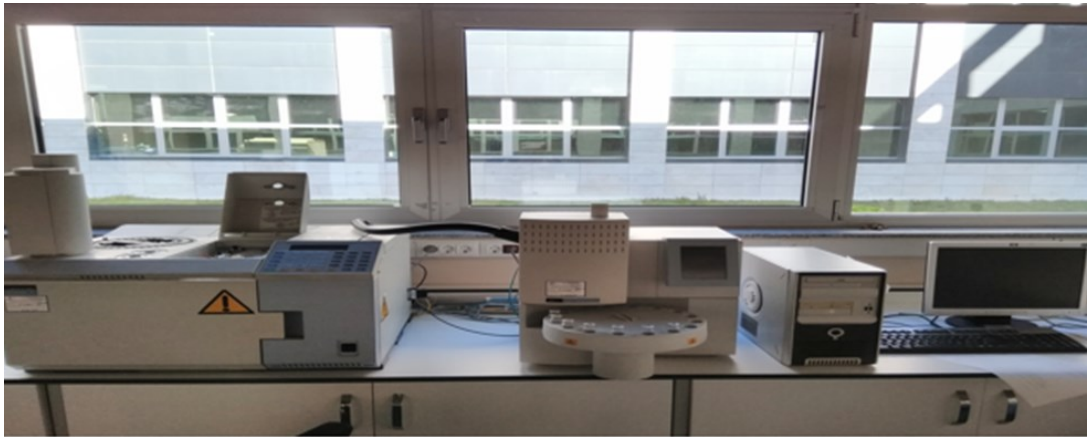




Şekil 3.21. Yağı çıkarılan biyokütlelerin renk ölçümleri

#### 3.2.14. Mikroalglerin yağ asitleri kompozisyonunun belirlenmesi

5 farklı renkteki LED lamba altında yetiştirilen mikroalglerin yağ oranları belirlendikten sonra yağ asitlerini belirlemek üzere Süleyman Demirel Üniversitesi Merkezi Laboratuvarına götürülmüştür. Analiz için alınan yağ miktarlarınının 10 katı kadar hexan ekleyip, yağ hexan karışımı karanlık ortamda bir gece bekletilmiştir. Sonra bir rotary cihazı sayesinde evaporatör işlemi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra elde edilen yağlar türevlendirilerek Gaz Kromatografisi'nde (Şekil 3.22) AOAC 996.06 metoduna göre değerlendirme yapılmıştır.



Şekil 3.22. Yağ asitleri kompozisyonu için kullanılan gaz kromatografisi

#### 3.2.15. Mikroalglerin toplam karbon (C) ve azot (N) içeriğinin belirlenmesi

Mikroalglerin C ve N içeriği Elementar Vario MAX CN analizörünü kullanarak yapılmıştır. Bu analizörde yüksek sıcaklıkta (960°C) yakma ile elementlerin

gazlaştırılması sağlanmaktadır. Gaz, ayrıştırıcıdan geçtikten sonra içerisindeki konsantrasyon "kantitatif analiz metodu"na göre termal iletkenlik dedektörü (TCD) ile belirlenmiştir. Cihazda numune başına en fazla 150 mg C, 100 mg N tespit edilebilmektedir. Örneklerin karbon ve azot miktarlarını belirlemek için örnekler 65°C'de ağırlık değişimi sabitlenene kadar etüvde kurutulmuş ve nem analizleri yapılmıştır. Daha sonra örnekler öğütülerek karbon ve azot tayini için hazır duruma getirilmiştir (Şekil 3.23).



Şekil 3.23. C ve N tayininin gerçekleştirildiği analiz cihazı

### 3.2.16. İstatistiksel değerlendirme

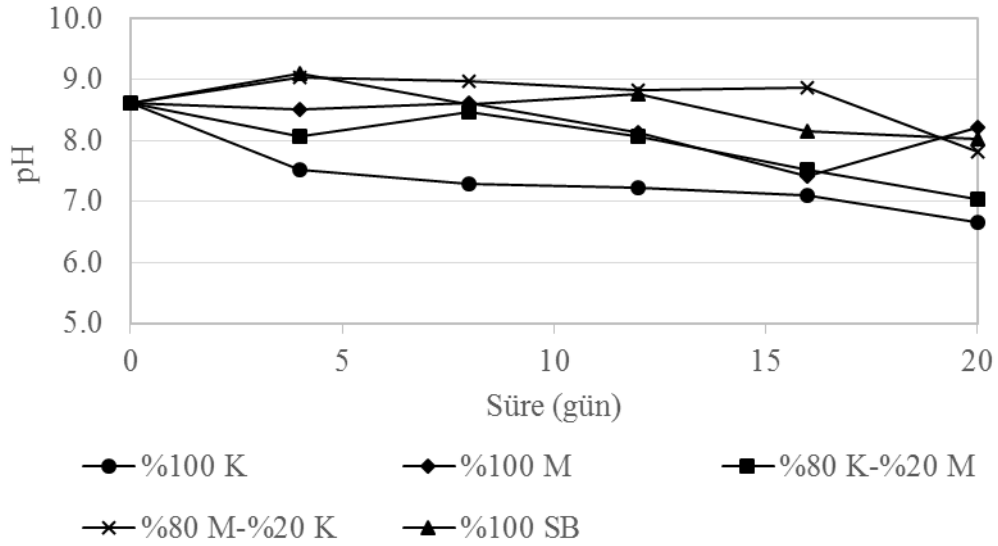
Çalışmada biyokütle, OD, klorofil a, klorofil b, ölçümleri bakımından elde edilen veriler faktöriyel düzende tekrarlanan ölçümlü varyans analizi tekniği ile analiz edilmişlerdir. Çalışmada LED faktörünün %100 K, %100 M, %80 K-%20 M, %80 M-%20 K ve %100 SB olmak üzere 5 seviyesi, zaman faktöründe 4 gün aralıklar ile 6 seviyesi mevcuttur. Tekrarlanan ölçümler zaman faktörünün seviyelerinde gerçekleştirilmiştir. Renk özellikleri bakımından yapılan ölçümler ise tek yönlü varyans analizi tekniği ile analiz edilmişlerdir. Denemede faktörlerin seviye ortalamaları arasındaki farklılıkların belirlenmesinde çoklu karşılaştırma yöntemlerinden tukey testi kullanılmıştır.

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

### 4.1. Ortam Parametrelerinin Değişimi

#### 4.1.1. pH değişimi

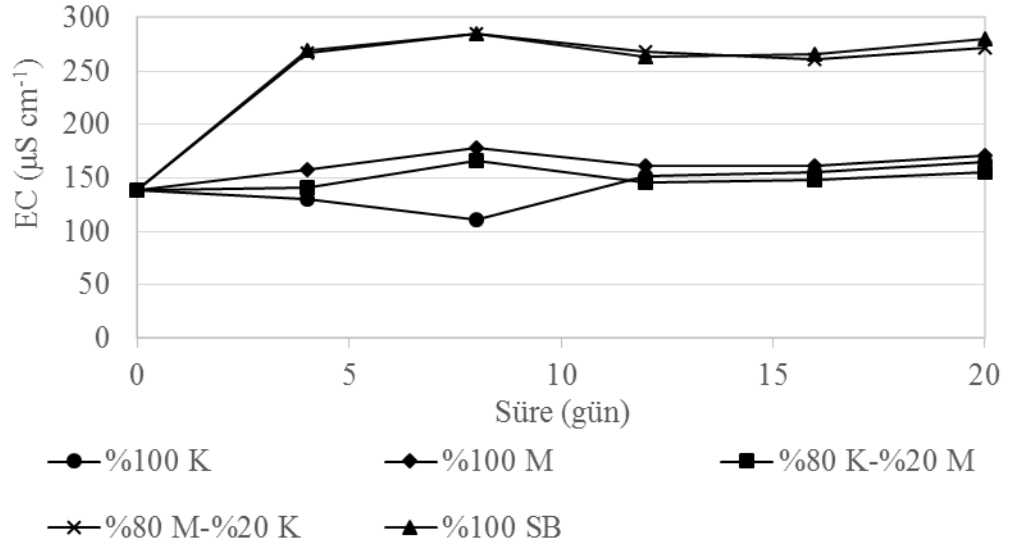
*Botryococcus braunii* mikroalg türünün %100 K, %100 M, %80 K-%20 M, %80 M-%20 K ve %100 SB LED uygulamaları altında zamana bağlı olarak değişen pH değerleri Şekil 4.1’de görülmektedir. Deneme başlangıcında tüm renkler için hazırlanan mikroalglerin pH değeri 8.6 olarak gözlemlenmiştir. Deneme süresince %100 K LED uygulaması altında yetişen mikroalglerde sürekli azalma olurken diğer renkler altında yetiştirilen mikroalglerin pH değerlerinde küçük dalgalanmalar olmuştur. pH değişimleri, mikroalglerin besin maddelerinden biyolojik olarak yararlandığı anlamına gelmektedir (Carrion vd., 2001). Deneme sonunda yetiştirilen mikroalglerin pH değerleri deneme baŐlangıcına göre azaldığı gözlemlenmiştir. pH değerleri ve deneme sonundaki pH değerlerindeki düŐüŐler Gezici (2012) tarafından yapılan farklı ışık kaynakları kullanılarak yetiştirilen *Dunaliella salina* ve *Palmelopsis muralis* mikroalg türlerinin zamana bağlı pH değişimleri ile karşılaştırılabilir düzeydedir. pH, fotosentez ve solunumda enzim aktivitesini ve elektron taŐınımını etkilemektedir. Bu nedenle azalan pH değerinin mikroalgal büyümeyi etkilediği söylenebilir (Liu vd., 2008). Deneme sonunda en az pH 6.6 olup %100 K altında yetişen mikroalglerde gözlemlenirken, en yüksek pH 8.2 ile %100 M altında yetişen mikroalglerde gözlemlenmiştir. %100 K dıŐında tüm LED’ler altında yetişen mikroalglerin pH değeri optimum düzeyde olduğu görülmektedir. %100 K altında yetişen mikroalglerin pH değerinin deneme sonunda en düşük olması renk stresinden kaynaklandığı söylenebilir.



Şekil 4.1. Farklı dalga boylarında yetiştirilen mikroalglerin zamana bağlı pH değişimi

#### 4.1.2. EC değişimi

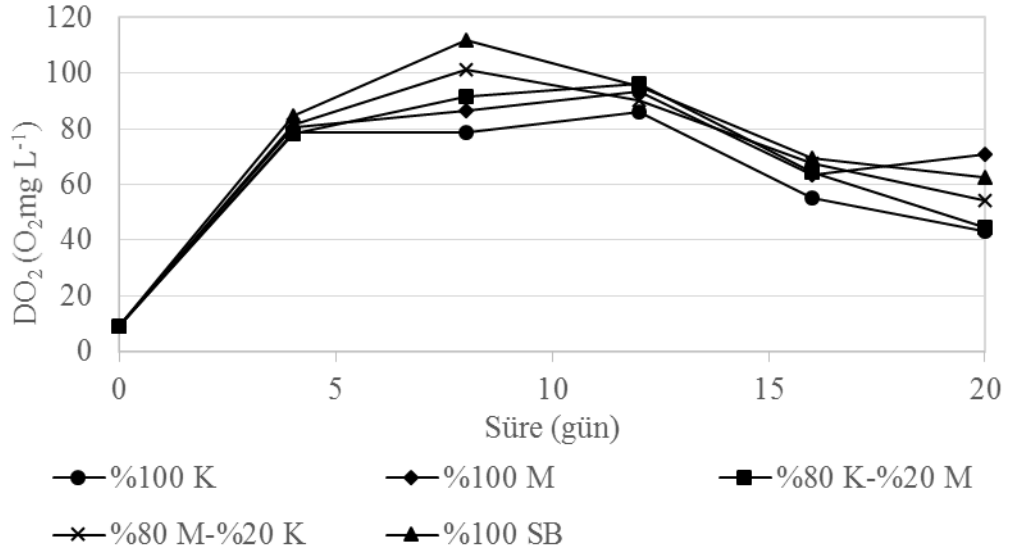
*Botryococcus braunii* mikroalg türünün %100 K, %100 M, %80 K-%20 M, %80 M-%20 K ve %100 SB uygulamaları altında zamana bağlı olarak değişen EC değerleri Şekil 4.2'de görülmektedir. 5 farklı LED uygulamasında yetiştirilen mikroalglerin zamana bağlı olarak EC miktarlarında artışlar gözlemlenmiştir. EC, çözeltinin hareketliliğine ve iyon konsantrasyonuna bağlı olduğu düşünülürse, deneme süresince yapılan karıştırma oranı ve besin içeriği optimal düzeyde olduğu söylenilebilir. Deneme başlangıcında tüm renkler için hazırlanan mikroalglerin EC değeri  $138.9 \mu\text{S cm}^{-1}$  olarak ölçülmüştür. Deneme sonunda en yüksek EC değeri  $279.9 \mu\text{S cm}^{-1}$  olup %100 SB altında yetişen mikroalglerde belirlenmiş olup ve bunu  $272 \mu\text{S cm}^{-1}$  EC değeri ile %80 M-%20 K altında yetişen mikroalgler takip etmiştir. En düşük EC değeri ise  $155.1 \mu\text{S cm}^{-1}$  ile %80 K-%20 M altında yetişen mikroalglerde belirlenmiş olup bunu  $165 \mu\text{S cm}^{-1}$  EC değeri ile % 100 K altında yetişen mikroalgler takip etmiştir. %100 M altında yetişen mikroalglerin EC değeri ise  $170.5 \mu\text{S cm}^{-1}$ 'dir.



Şekil 4.2. Farklı dalga boylarında yetiştirilen mikroalglerin zamana bağlı EC değişimi

#### 4.1.3. DO<sub>2</sub> değişimi

*Botryococcus braunii* mikroalg türünün %100 K, %100 M, %80 K-%20 M, %80 M-%20 K ve %100 SB uygulamaları altında zamana bağlı olarak değişen DO<sub>2</sub> değerleri Şekil 4.3'de görülmektedir. 5 farklı LED altında yetiştirilen mikroalglerin zamana bağlı olarak DO<sub>2</sub> miktarlarında artışlar gözlenmiştir. Deneme başlangıcında tüm renkler için hazırlanan mikroalglerin DO<sub>2</sub> değeri 9.350 (O<sub>2</sub> mg L<sup>-1</sup>) olarak belirlenmiştir. Denemenin ilk günlerinde önemli bir yükselme tespit edilirken sonraki günlerde dalgalanmalar olmuştur. Denemenin son günlerine doğru DO<sub>2</sub> miktarında azalmalar söz konusu olmuştur. Bu durum yetiştirme ortamındaki besin maddesinin azaldığının ve mikroalg gelişiminin azaldığının bir göstergesi olabilir. Aynı zamanda bazı biyolojik aktivitelerin yavaşladığı düşünülebilir.

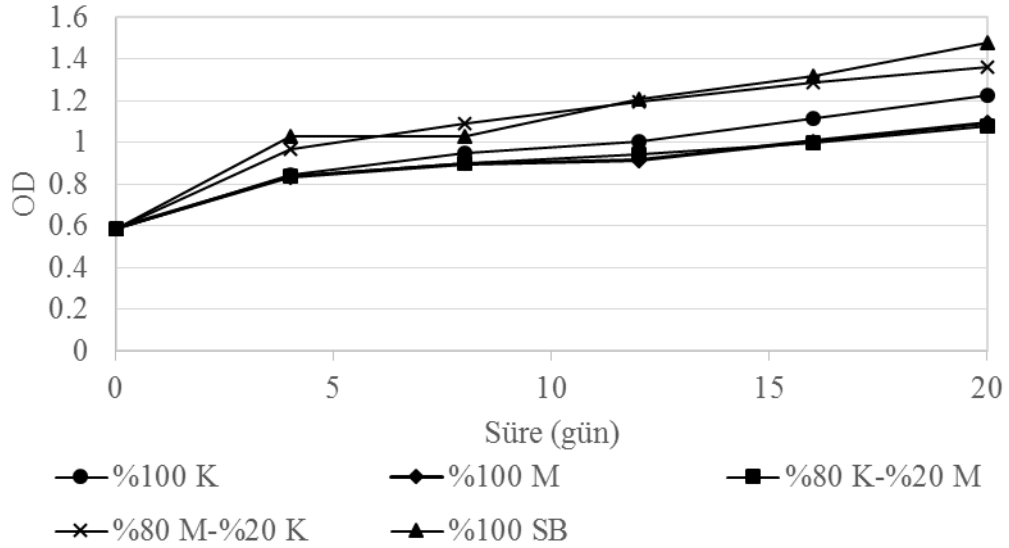


Şekil 4.3. Farklı dalga boylarında yetiştirilen mikroalglerin zamana bağlı DO<sub>2</sub> değişimi

## 4.2. Mikroalgal Biyokütle İle İlgili Değişimler

### 4.2.1. OD değişimi

*Botryococcus braunii* mikroalg türünün %100 K, %100 M, %80 K-%20 M, %80 M-%20 K ve %100 SB uygulamaları altında zamana bağlı olarak değişen OD değerleri Şekil 4.4'te görülmektedir. Mikroalglerin hücre sayımı spektrofotometrik yöntem kullanılarak absorbans değerinin ölçümü ile gerçekleştirilmiştir. Optik yoğunluk değişimlerine bakıldığı zaman tüm LED uygulamalarında 20. güne kadar optik yoğunlukta artış (büyüme fazı) meydana gelmiştir (Velichkova vd., 2012). OD özelliği bakımından elde edilen verilere yapılan varyans analizi sonucunda zaman X LED interaksiyonu istatistik olarak önemli değildir. LED'lerin ortalamaları arasındaki fark istatistik olarak önemlidir ( $p < 0.05$ ). En yüksek OD değeri 1.479 ile %100 SB altında yetişen mikroalglerde görülmüştür. Bunu 1.361 değeri ile %80 M-%20 K altında yetişen mikroalgler takip etmiştir. En düşük OD değeri ise 1.082 değeri ile %80 K-%20 M altında yetişen mikroalglerde gözlemlenmiştir. Bu değerler, Velichkova vd. (2012), yaptıkları çalışmada *Botryococcus braunii* mikroalg türünü iki besin ortamında (BBM ve 3N-BMM) yetiştirerek ölçümlerini yaptıkları optik değerler ile karşılaştırılabilir düzeydedir.

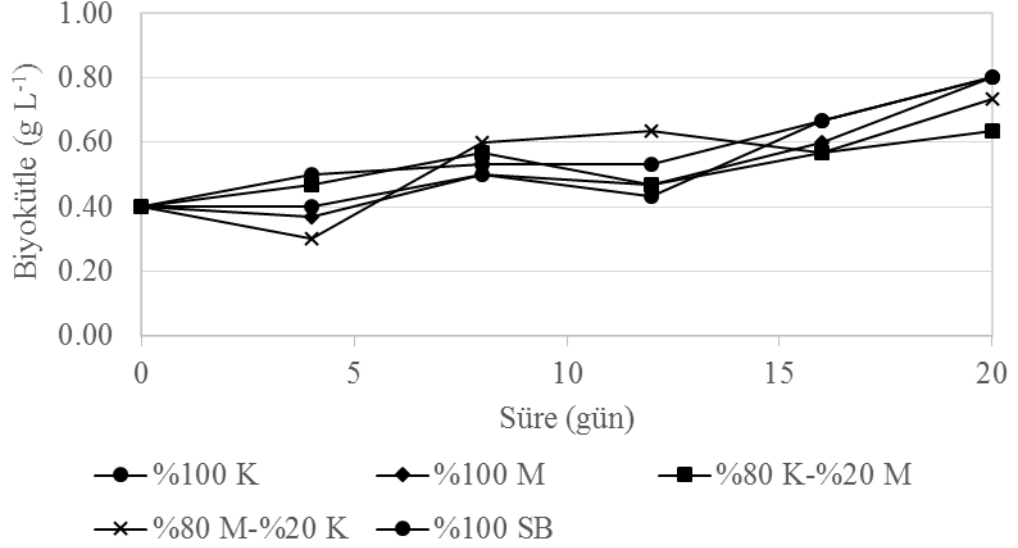


Şekil 4.4. Farklı dalga boylarında yetiştirilen mikroalglerin zamana bağlı OD değişimi

#### 4.2.2. Biyokütle ölçümleri

*Botryococcus braunii* mikroalg türünün %100 K, %100 M, %80 K-%20 M, %80 M-%20 K ve %100 SB uygulamaları altında zamana bağlı olarak değişen biyokütle değerleri Şekil 4.5’de görülmektedir. 5 farklı renk altında yetişen mikroalglerin biyokütle miktarları optik yoğunluk ile paralellik göstermiştir. Biyokütle özelliği bakımından LED’ler arasında fark yoktur. Zamana bağlı olarak değerler artmıştır ( $p < 0.05$ ). Bu bağlamda en yüksek biyokütle değeri  $0.800 \text{ mg L}^{-1}$  ile %100 SB, %100 K ve %100 M altında yetişen mikroalglerde görülmüştür. Bunu sırasıyla  $0.733 \text{ mg L}^{-1}$  değeri ile %80 M-%20 K altında yetişen mikroalgler takip etmiştir. En düşük biyokütle değeri ise  $0.633 \text{ mg L}^{-1}$  değeri ile %80 K-%20 M altında yetişen mikroalglerde gözlemlenmiştir. OD değeri ile biyokütle değerindeki bazı küçük sapmalar, biyokütle ölçümlerinde kullanılan hassas teraziden kaynaklandığı düşünülmektedir. Benzer bir şekilde, Okumura ve ark. (2015) *B. braunii* NIES-836’yi FAR değerinin  $30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  olduğu koşullarda 36 günlük yetiştiricilik denemesi yapmışlardır. Deney sonunda biyokütle miktarları, kırmızı ve mavi LED altında sırasıyla  $0.17$  ve  $0.22 \text{ g L}^{-1}$  olarak belirlerken, mavi-kırmızı karışımından oluşan LED altında ise  $0.36 \text{ g L}^{-1}$  olarak ölçülmüşlerdir. Çalışmada LED’lerin karışım oranları verilmemiştir. İki çalışma arasında fark, farklı alg türleri hatta aynı mikroalgın farklı suşları, çeşitli ışık kaynaklarına ve yoğunluklarına farklı büyüme

tepkileri göstermesinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Bu durum fotoototrofik organizmaların fotosentetik düzeneklerine tepkileri ile açıklanabilir (Okumura ve ark., 2015).



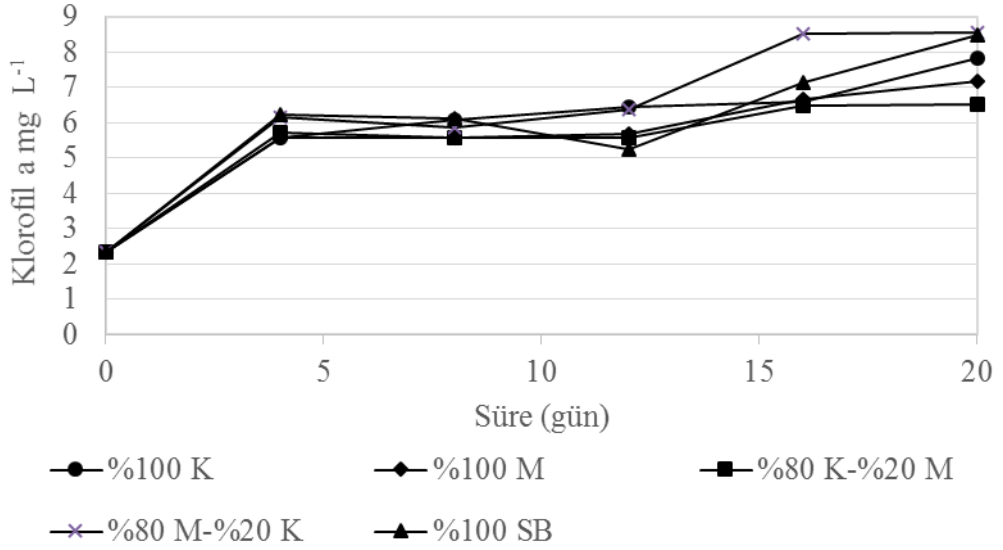
Şekil 4.5. Farklı dalga boylarında yetiştirilen mikroalglerin zamana bağlı biyokütle değişimi

#### 4.2.3. Klorofil a ve klorofil b değişimleri

*Botryococcus braunii* mikroalg türünün %100 K, %100 M, %80 K-%20 M, %80 M-%20 K ve %100 SB uygulamaları altında zamana bağlı olarak değişen klorofil a değerleri Şekil 4.6'da görülmektedir. Deneme süresince 5 farklı renk altında yetişen mikroalglerin 4'er gün aralıklarla yapılan klorofil a ölçümlerinde OD ve biyokütleyle bağlı olarak sürekli artış gözlemlenmiştir (Aghaalipour vd., 2017). Deneme sonunda %100 SB altında yetişen mikroalglerin klorofil a değeri  $8.489 \text{ mg L}^{-1}$  iken %80 M-%20 K altında yetişen mikroalglerin klorofil a değeri  $8.562 \text{ mg L}^{-1}$  ile en yüksek değere ulaşmıştır. En düşük klorofil değeri  $6.522 \text{ mg L}^{-1}$  olup %80 K-%20 M altında yetişen mikroalglerde gözlemlenmiştir. Bu bağlamda klorofil a özelliği bakımından LED'ler arasında fark yoktur. Zamana bağlı olarak değerler artmıştır ( $p < 0.05$ ). Kurhan, (2012) yaptığı çalışmada farklı konsantrasyonlarda hümik ve fulvik asit içeren BG-11 ve Zarrouk besi ortamlarında *Chlorella vulgaris* ve *Spirulina platensis* mikroalglerinin gelişme sürecinde; bazı parametreler ile birlikte klorofil a miktarlarını belirlemiştir. Çalışmada iki besin ortamında da EDTA yerine hümik ve

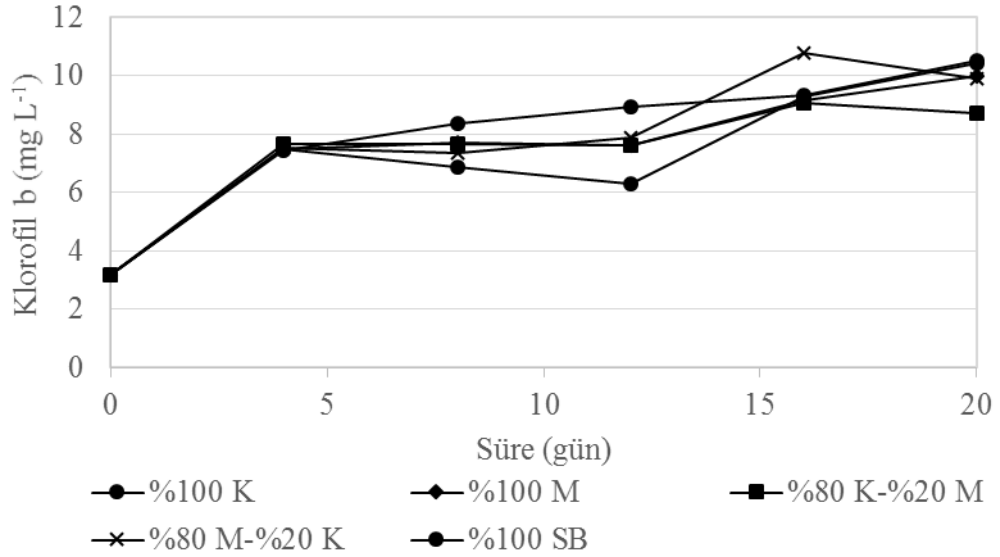


fulvik asitler farklı konsantrasyonlarda kullanılmıştır. Fulvik asit içeren besin ortamında gelişen *Chlorella vulgaris* kültürü hariç, diğer kültürlerin tamamında klorofil a konsantrasyonu zamana bağlı olarak artış gösterdiğini bildirmiştir. Çalışmanın 7. gününde hümik asit içeren Zarrouk besi ortamında *Spirulina platensis*'in klorofil a değerleri çalışmamızdaki klorofil a değerleri ile paralellik göstermiştir.



Şekil 4.6. Farklı dalga boylarında yetiştirilen mikroalglerin zamana bağlı klorofil a değişimi

*Botryococcus braunii* mikroalg türünün %100 K, %100 M, %80 K-%20 M, %80 M-%20 K ve %100 SB uygulamaları altında zamana bağlı olarak değişen klorofil b değerleri Şekil 4.7'de görülmektedir. Klorofil b ölçümlerinde de sürekli artış gözlemlenmiş olup en yüksek klorofil b  $10.52 \text{ mg L}^{-1}$  değeri ile %100 kırmızı renk altında yetişen mikroalglerde görülmüştür. Daha sonra sırasıyla  $10.431$  değeri ile %100 SB,  $9.997 \text{ mg L}^{-1}$  değeri ile %100 M,  $9.92 \text{ mg L}^{-1}$  değeri ile %80 M -%20 K ve son olarak en düşük klorofil-b  $8.724 \text{ mg L}^{-1}$  değeri ile %80 K -%20 M altında yetişen mikroalglerde gözlemlenmiştir. Bu bağlamda klorofil b özelliği bakımından LED'ler arasında fark yoktur. Zamana bağlı olarak değerler artmıştır ( $p < 0.05$ ).



Şekil 4.7. Farklı dalga boylarında yetiştirilen mikroalglerin zamana bağlı klorofil b değişim grafiği

#### 4.3. Mikroalgal Biyokütlelerin C ve N İçerikleri

Mikroalgler, tarımda toprak yapısını iyileştirmek, bitkilerin dayanıklılığını arttırmak için gübre yapımında kullanıldığı gibi hayvan yemi olarak da kullanılmaktadır ve bu konudaki çalışmalar giderek artmaktadır. Ayrıca bir organik gübre olan kompost yapımında da kullanılabileceği birçok çalışmada bildirilmiştir (Duan, 2013). 5 farklı LED uygulamasında yetiştirilen *B. braunii* mikroalg türünün yağı çıkarıldıktan sonra C ve N miktarları ölçülmüştür (Çizelge 4.1). Yağı çıkarılmış kuru biyokütleler azot açısından incelendiği zaman %100 SB (3.20%) en yüksek değere sahip iken bunu %80 M-%20 K (2.56%) mavi LED altında yetişen mikroalgler takip etmektedir. N bitkilerde yaprak ve gövde oluşumunu etkilediği gibi ürün kalitesini de olumlu yönde etkilemektedir. Ayrıca bitkilerde proteinin ana maddesidir. Hayvan yeminde önemli olan protein oranı için C ve N miktarı birlikte kullanılmaktadır. Çalışmamızda yetiştirilen mikroalgler yağı çıkarıldıktan sonra kalan posanında hayvan yemine karıştırılarak veya toprak iyileştirme çalışmalarında gübreye karıştırılarak kullanılabilir. Böylece mikroalg yetiştiriciliğinde elde edilen hiçbir ürün atık olmadan insanlara ve doğaya yararlı hale dönüştürülebilir.

Çizelge 4.1. Farklı LED lamba altında yetiştirilen mikroalg kuru biyokütlelerinin C ve N içerikleri

Uygulamalar	N (%)	C (%)
%100 K	1.76	38.11
%100 M	1.62	37.05
%80 K-%20 M	2.54	35.50
%80 M-%20 K	2.56	35.32
%100 SB	3.20	33.44

#### 4.4. Mikroalgal Biyokütle Miktarları, Yağ Oranları ve Kompozisyonları

5 farklı LED altında yetişen *Botryococcus braunii* mikroalg türünün 20 günlük deneme sonunda her bir LED lamba altındaki toplam biyokütle miktarları Çizelge 4.2’de verilmiştir. Bu değerler, Velichkova vd. (2012), yaptıkları çalışmada *Botryococcus braunii* mikroalg türünü iki besin ortamında (BBM ve 3N-BMM) yetiştirerek ölçümlerini yaptıkları biyokütle değerleri ile karşılaştırılabilir düzeydedir. Ra vd. (2016) mikroalglerin yetiştirilmesinde biyokütle verimi açısından, mavi LED’lerin kırmızı LED’lere kıyasla yüksek olduğunu vurgulamışlardır. Farklı LED uygulamalarının yağ verimlerine etkisi Çizelge 4.2’de verilmiştir. Yağ verimi (%) biyokütleden çıkarılan yağ miktarının toplam biyokütleye oranı olarak tanımlanmıştır. Yağ verim sonuçları %80 K-%20 M altında yetişen mikroalglerde yağ veriminin en yüksek olduğu (%50.13) ve %100 K altında yetişen mikroalglerin ise en düşük yağ verimine (%27.6) sahip olduğunu göstermiştir. Diğer taraftan yağ verimlerinin, mavi ağırlıklı LED uygulamalarının genelinde kırmızı ağırlıklı LED uygulamalarından daha yüksek olduğu söylenebilir. LED uygulamalarından elde edilen biyokütlelerin yağ miktarları biyokütlenin yağ verimi ile çarpımı sonucunda elde edilmiştir. Sonuçlar, yağ miktarının en fazla %80 M -%20 K altında yetişen mikroalglerden ölçüldüğünü göstermiştir. En az yağ miktarı ise %100 K uygulamasından elde edilen mikroalg biyokütlelerinde tespit edilmiştir.

Çalışmada farklı LED uygulamaları altında yetiştirilen *B. braunii* mikroalg türünün biyokütlesindeki yağların, yağ asitleri kompozisyonu incelenmiş olup sonuçlar Çizelge 4.2’de verilmiştir. İncelenen yağ asitleri palmitik, palmitoleik, margarik, stearik, oleik, linoleik, gamma linoleik asit (GLA) ve arasidik olarak listenebilir. En yüksek oleik asit içeriğine (52.79%) %100 K uygulaması ile elde edilirken en düşük

oleik asit içeriğine (35.25%) %100 SB uygulaması ile elde edilmiştir. Yağ asitleri olarak, bütün renklerde en yüksek değer oleik asitte gözlemlenmektedir. En yüksek linoleik asit içeriğine (34.79%) %80 K-%20 M uygulaması ile elde edilirken en düşük linoleik asit içeriğine (0.77%) %100 M uygulaması ile elde edilmiştir. En düşük (19.55%) ve en yüksek (43.92%) palmitik asit %80 K-%20 M ve %100 M uygulamalarından elde edilmiştir. Fang vd. (2004), *Botryococcus sp.* mikroalg türü içerisinde başlıca bileşenler olarak palmitik asit ve oleik asit olduğunu bildirmişlerdir. Kumar ve Rengasamy (2012), oleik, linolenik ve palmitik yağ asitlerinin *B. braunii* Kutz'daki başlıca yağ asitleri olduğunu bildirmişlerdir. Knothe (2008), yaptığı çalışmada çeşitli potansiyel biyodizel bileşenlerinin özelliklerini incelemiş ve çalışmasında uzun süreli depolama gerektiğinde yüksek oleik asite ihtiyaç duyulduğunu çünkü yüksek oleik asit değeri oksidatif stabiliteyi arttırabileceğini bildirmiştir. Ayrıca çalışmasında biyodizelde bulunan en yaygın yağ asitlerinin palmitik, stearik, oleik ve linolenik asit olduğunu açıklamıştır. Rashid vd. (2008), yaptıkları çalışmada yüksek oleik asit içeriği bulunan yağlarda makul bir yakıt özelliği dengesi olduğunu bildirilmişlerdir. Francisco vd. (2010), biyodizelin önemli yakıt özellikleri (çeşitli yağlı esterlerin yapısal özellikleri), setan sayısı, yanma ısısı, iyot değeri, oksidatif stabilite, soğuk akış özellikleri, egzoz emisyonları, viskozite ve kayganlık özellikleri olarak bildirmişlerdir. Genel olarak; setan sayısı, yanma ısısı ve viskozite ısısı artan yağ asidi zincir uzunluğu ile artar, yani uzun zincirli yağ asitleri (C:16-18) bir biyodizel yakıt olarak daha çok tercih edilir (Francisco vd., (2010) ve Miao vd., (2009)). Ruangsomboon (2015), yaptığı çalışmada *Botryococcus braunii* KMITL mikroalg türünü dört farklı ortamda yetiştirerek optimum kültür ortamını ve yağ asidi kompozisyonlarına dayanarak biyodizel özelliklerini araştırmıştır. *Chlorella* besiyerinde kültüre alınan mikroalg türü en yüksek biyokütle ( $1.87 \pm 0.05 \text{ g L}^{-1}$ ) değerine ulaştığını bildirmiştir. Yine en yüksek yağ oranında bu besiyerinde yetiştirilen mikroalgde tespit edilmiştir (yağ içeriği %  $29.22 \pm 0.71$ , yağ verimi  $0.54 \pm 0.08 \text{ g L}^{-1}$ ). C16:0 yağ asidi miktarı %35.58 ile en yüksek değer aynı besiyerinde tespit edildiği bildirilmiştir. Bu çalışmada C:16-C:18 yağ asitleri kombinasyonu yağ asidi bileşiminin %74.38'ini oluşturduğu bildirilmiştir. Sonuç olarak *Botryococcus braunii* KMITL mikroalg türü kültürü alındığı zaman yüksek oranlarda biyokütle ve yağ verimine ulaşılmıştır bu yüzden biyodizel üretimi için iyi bir kaynak olduğu bildirilmiştir.

Ramaraj vd. (2016), yaptıkları çalışmada *Botryococcus braunii* mikroalg türünü laboratuvar ölçeğinde 4 L hacimli sürekli karıştırılmalı tank reaktöründe atık su beslemesi ile yetiştirerek, mikroalglerin yağ miktarı ve yağ asitleri profillerini belirleyerek ıslak ve kuru biyokütlelerden biyodizel üretimini amaçlamışlardır. Araştırmacılar çalışmaları neticesinde %47.59 yağ elde etmişlerdir. *Botryococcus braunii* mikroalg türünün yağ asitleri kompozisyonunda baskın bileşenlerin sırasıyla oleik asit, palmitik asit, linolenik asit ve linoleik asit olduğunu tespit etmişlerdir. Bu çalışmada *B. braunii* mikroalg türünün iyi kalitede biyodizel üretimi için oleik asit içeriğinin en yüksek değerde olması gerektiği sonucuna varılmıştır. Ayrıca kuru biyokütleden elde edilen yağ asitleri sonuçları değerlendirildiğinde büyük ölçekli biyodizel üretimi için uygun olduğunu bildirmişlerdir. Bu çalışmanın sonucunda elde edilen toplam yağ ve yağ asitleri değerleri ile benzer düzeyde olup karşılaştırma yapılabilmektedir.

Çizelge 4.2. Farklı dalga boylarında yetiştirilen mikroalglerin toplam biyokütle, yağ verimi, yağ miktarı ve kompozisyonları

Yağ asidi	Toplam biyokütle (g)	Yağ verimi (%)	Toplam yağ (g)	Yağ asitleri kompozisyonu (%)							
				Palmitik	Palmitoleik	Margarik	Stearik	Oleik	Linoleik	GLA*	Arasidik
%100 K	0.757	27.6	0.2091	36.56	1.32	-	4.48	52.79	1.14	0.48	-
%100 M	1.258	34.3	0.4316	43.92	3.03	1.7	4.08	45.44	0.77	1.05	-
%80 K-%20 M	1.478	50.13	0.7410	19.55	1.7	3.03	1.59	35.8	34.79	2.02	-
%80 M-%20 K	2.136	47.33	1.0111	20.18	1.22	3.9	5.25	35.75	26.55	1.01	3.27
%100 SB	2.034	33.95	0.6907	20.33	1.35	4.13	5.44	35.25	26.15	0.96	3.37

\*GLA: Gamma Linoleik Asit

#### 4.5. Mikroalgal Biyokütle Üretiminde Enerji Tüketimi

*B. braunii* mikroalg türü'nün 5 farklı LED kaynağını kullanarak yetiştirilmesi için tüketilen enerji (E) (kWh), birim biyokütle için enerji tüketimi ( $E_b$ ) ( $\text{kWh g}^{-1}$ ) ve birim yağ biyokütlesi için enerji tüketimi ( $E_y$ ) ( $\text{kWh g}^{-1}$ ) Çizelge 4.3'de verilmiştir. Sonuçlar, en düşük E,  $E_b$  ve  $E_y$  değerleri (0.015 kWh,  $0.0101 \text{ kWh g}^{-1}$  ve  $0.0202 \text{ kWh g}^{-1}$ ), %80 K-%20 M LED uygulamasında elde edildiğini göstermiştir. En yüksek  $E_b$  ve  $E_y$  değerleri ( $0.0211 \text{ kWh g}^{-1}$  ve  $0.0765 \text{ kWh g}^{-1}$ ) ise %100 K LED uygulamasında elde edilmiştir. Diğer taraftan birim tüketilen enerjiden elde edilen biyokütle ve yağ miktarları oranlanmıştır. Bu oranlar sırasıyla  $\eta_b$  ve  $\eta_y$  olarak tanımlanmıştır. Sonuçlar, en düşük  $\eta_b$  ve  $\eta_y$  değerleri ( $47.31$  ve  $13.07 \text{ g kWh}^{-1}$ ) %100 K LED uygulamasında elde edilmiştir. En yüksek  $\eta_b$  ve  $\eta_y$  değerleri ( $98.53$  ve  $49.40 \text{ g kWh}^{-1}$ ) ise %80 K-%20 M LED uygulamasında elde edilmiştir. Okumura ve ark. (2015) *B. braunii* NIES-836'yi FAR değerinin  $30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  olduğu koşullarda 36 günlük yetiştiricilik denemesi yapmışlardır. Deney sonunda büyüme etkinlik değerleri mavi ve kırmızı LED altında sırasıyla  $3.91$  ve  $1.37 \text{ g L}^{-1} \text{ w}^{-1}$  olarak belirlenirken, mavi-kırmızı karışımından oluşan LED altında ise  $3.53 \text{ g L}^{-1} \text{ w}^{-1}$  olarak ölçülmüştür. Atta vd., (2013) mavi LED lambanın farklı fotoperiyotları ve floresan beyaz ışığı kullanarak *chlorella vulgaris* mikroalg türünün yetiştirilmesi sonucunda elde edilen biyokütle ve yağ oranlarını incelemişlerdir. Çalışmalarının sonucunda, mavi LED lamba altında yetişen mikroalg türünün düşük güç tüketimi ile biyokütle ve yağ oranı açısından yüksek verim elde edildiğini bildirmişlerdir. Mavi LED'lerin, beyaz floresan ışığa kıyasla *C. vulgaris*'in yüksek yoğunluklu kültürü için verimli bir enerji kaynağı olduğunu vurgulamışlardır.

Çizelge 4.3. Üretilen mikroalglerin toplam biyokütle ve yağ miktarlarına karşılık enerji tüketim miktarları

LED	Toplam biyokütle (g)	Yağ verimi (%)	Toplam yağ (g)	Güç tüketimi (kWh)	$E_b$ ( $\text{kWh g}^{-1}$ )	$E_y$ ( $\text{kWh g}^{-1}$ )	$\eta_b$ ( $\text{g kWh}^{-1}$ )	$\eta_y$ ( $\text{g kWh}^{-1}$ )
%100 K	0.757	27.6	0.2091	0.016	0.0211	0.0765	47.31	13.07
%100 M	1.258	34.3	0.4316	0.026	0.0207	0.0602	48.38	16.60
%80 K-%20 M	1.478	50.13	0.7410	0.015	0.0101	0.0202	98.53	49.40
%80 M-%20 K	2.136	47.33	1.0111	0.028	0.0131	0.0277	76.29	36.11
%100 SB	2.034	33.95	0.6907	0.037	0.0182	0.0536	54.97	18.67

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında biyodizel hammaddesi olarak kullanılmaya yatkın, yağ içeriği diğer mikroalgelere göre nispeten daha yüksek ve yeşil bir mikroalg türü olan *Botryococcus braunii* (SAG 807-1) kullanılmıştır. Deneme stok kültür kabinlerinde 5 farklı renkteki ve dalga boyundaki LED lambalar ile kurulmuştur. Denemeye başlamadan kabinlerde bulunan 5 farklı renkteki LED ışıklar  $50 \pm 5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  olarak FAR sensörü ile ayarlanmıştır. Aynı ebattaki stok kültür kabinlerinde %100 kırmızı (%100 K), %100 mavi (%100 M), %80 kırmızı-%20 mavi (%80 K-%20 M), %80 mavi-%20 kırmızı (%80 M-%20 K) ve kontrol grubu olan %100 soğuk beyaz (%100 SB) renkler mevcuttur. Çalışmada 2 L'lik erlenlere Bazal Medium besin ortamı hazırlanmıştır. Deneme boyunca ışıklandırma süresi 16 saat aydınlık: 8 saat karanlık periyotlarda ayarlanmıştır. 20 gün süren deneme boyunca 4'er gün periyotlarla, aynı saatlerde pH, elektriksel iletkenlik (EC), çözülmüş oksijen ( $\text{DO}_2$ ), biyokütle, klorofil a, klorofil b, optik yoğunluk (OD) ölçümleri yapılmıştır. Bunun yanında, LED'lerin enerji tüketimleri ölçülmüş ve deneme sonunda mikroalgler hasat edilmiştir. Sonuçlar:

1. pH, EC ve  $\text{DO}_2$  değerlerinin deneme süresince istenilen düzeyde olduğu ve literatür ile uyumlu olduğu söylenebilir.
2. Denemenin sonunda elde edilen OD değerleri; 1.479 ile %100 SB kontrol grubu altında yetişen mikroalgler en yüksek değere sahip iken bunu 1.361 değeri ile %80 M-%20 K altında yetişen mikroalgler takip etmiştir. En düşük OD değeri ise 1.082 değeri ile %100 M renk altında yetişen mikroalglerde gözlemlenmiştir. Deneme süresince OD değerleri logaritmik büyüme eğrisi ile uyumlu olup mikroalgler ortama adapte fazi, üreme fazi, durağan (sabit) fazi takip etmiştir.
3. En yüksek biyokütle değeri  $0.800 \text{ mg L}^{-1}$  ile %100 SB, %100 K ve %100 M altında yetişen mikroalglerde görülmüştür. Bunu sırasıyla  $0.733 \text{ mg L}^{-1}$  değeri ile %80 M-%20 K altında yetişen mikroalgler takip etmiştir. En düşük biyokütle değeri ise  $0.633 \text{ mg L}^{-1}$  değeri ile %80 K-%20 M altında yetişen mikroalglerde gözlemlenmiştir. Biyokütle değerleri OD değerleri ile uyum içerisinde olup literatür araştırmaları sonucunda yapılan çalışmaların bu değerleri desteklediği gözlemlenmiştir.
4. Klorofil a ve klorofil b değerleri literatür ile uyumlu olduğu söylenebilir.



Deneme sonlandırıldığında 5 farklı LED altında yetiştirilen mikroalglerden ayrı ayrı toplam kuru biyokütleler elde edilmiştir ve bu biyokütlelerden farklı miktarlarda yağ elde edilmiştir. Toplam biyokütle miktarlarında en yüksek değer %80 M-%20 K renk altında yetiştirilen mikroalglerde gözlemlenmiş olup bunu sırasıyla %100 SB, %80 K-%20 M, %100 M ve %100 K renkler altında yetiştirilen mikroalgler takip etmiştir. Literatür çalışmalarında toplam biyokütle miktarları mavi renk altında yetiştirilen alglerde yüksek sonuçlar verdiği bildirilmektedir. Yapılan hesaplamalar sonucunda bu biyokütlelerden elde edilen yağ oranlarında en yüksek verim %50.13 ile %80 K-%20 M renk altında yetiştirilen mikroalglerden elde edilmiştir. En düşük yağ verimi ise %27.6 ile %100 K renk altında yetiştirilen mikroalglerde tespit edilmiştir. Literatürde bildirildiği gibi mikroalglerden biyodizel elde etmek için yapılan birçok çalışmada araştırmacılar kırmızı-mavi karışımı LED'lerin yağ verimi ve yağ özelliklerini olumlu yönde etkilediği sonucuna varmışlardır. *Botryococcus braunii* mikroalg türünün oleik, linoleik ve palmitik yağ asitlerini bünyesinde fazla miktarda bulundurduğu için biyodizele yatkın bir mikroalg türü olduğunu söylenebilir. Çalışmamızda 5 farklı LED lamba altında yetiştirilen mikroalglerin yağ asitleri analizi sonuçları incelendiğinde oleik asitin yüksek miktarda olduğu tüm renklerde açıkça ortadadır. Oleik asit miktarları; %100 K için 52.79; %100 M için 45.44; %80 K-%20 M için 35.8; %80 M-%20 K için 35.75 ve %100 SB için 35.25'dir. Linoleik asit miktarları; %100 K için 1.14; %100 M için 0.77; %80 K-%20 M için 34.79; %80 M-%20 K için 26.55 ve %100 SB için 26.15'dir. Palmitik asit miktarları; %100 K için 36.56; %100 M için 43.92; %80 K-%20 M için 19.55; %80 M-%20 K için 20.18 ve %100 SB için 20.33'dür.

*B. braunii* mikroalg türü'nün 5 farklı LED kaynağını kullanarak yetiştirilmesi için tüketilen enerji (E) (kWh), birim biyokütle için enerji tüketimi ( $E_b$ ) ( $\text{kWh g}^{-1}$ ) ve birim yağ biyokütlesi için enerji tüketimi ( $E_y$ ) ( $\text{kWh g}^{-1}$ ). Sonuçlar, en düşük E,  $E_b$  ve  $E_y$  değerleri (0.015 kWh, 0.0101  $\text{kWh g}^{-1}$  ve 0.0202  $\text{kWh g}^{-1}$ ), %80 K-%20 M LED uygulamasında elde edildiğini göstermiştir. En yüksek  $E_b$  ve  $E_y$  değerleri (0.0211  $\text{kWh g}^{-1}$  ve 0.0765  $\text{kWh g}^{-1}$ ) ise %100 K LED uygulamasında elde edilmiştir. Sonuç olarak en düşük enerji tüketimi ile *Botryococcus braunii* mikroalg türünden en verimli biyodizel elde etmek için %80 K-%20 M renkli LED lambalar tercih edilebilir. Günümüzde tükenebilecek olan petrole alternatif yakıt bulma çalışmaları giderek artmaktadır. Bu alan için yapılacak olan mikroalglerden biyodizel üretim

alışmaları rnek teşkil edecek ve bu duruma ışık tutacaktır. Küçük lekli laboratuvar çalışmamızda elde ettiğimiz sonuçlar ileride yapılacak olan çalışmalara ışık tutabileceği gibi büyük ölçekli mikroalgden biyodizel üretim tesislerine de ticari açıdan örnek teşkil edeceği düşünülmektedir. evre kirliliği, insan sağlığı ve ülke ekonomisi için bu konuda yapılacak olan çalışmaların arttırılması önerilmektedir.



## KAYNAKLAR

- Aghaalipour, E., Akbulut, A., Güllü G., 2017. Sürekli Fotobiyoreaktör Sistemlerinde Üretilen Karışık Mikroalg Kültürü Kullanılarak CO<sub>2</sub> Giderim Oranlarının İncelenmesi. VII. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu 1-3 Kasım 2017, Antalya, 343-353.
- Al-Hothaly, K.A.,Taha, M., May, B.H., Stylianou, S., Ball, A.S., Adetutu, E.M., 2016. The Effect of Nutrients and Environmental Conditions on Biomass and Oil Production in *Botryococcus braunii* Race B strains. European Journal of Phycology, 51(1), 1-10pp.
- Amin, S.,2009. Review on biofuel oil and gas production processes from microalgae. Energy Conversion and Management, 50, 1834-1840.
- Anonymous, 2011a. <http://lasp.colorado.edu>. Erişim Tarihi: 01.05.2011.
- Anonymous, 2011c. <http://www.edison-opto.com.tw/>.Erişim Tarihi:17.10.2017
- Arbib, Z., Ruiz, J., Álvarez-Díaz, P., Garrido-Pérez, C., Perales, J.A., 2014. Capability of Different Microalgae Species for Phytoremediation Processes: Wastewater Tertiary Treatment, CO<sub>2</sub> Bio-Fixation and Low Cost Biofuels Production. Water Research, 49, 465-474.
- Ashokkumar, V., Agila, E., Sivakumar, P., Salam, Z., Rengasamy, R., Ani, F.N., 2014. Optimization and Characterization of Biodiesel Production from Microalgae *Botryococcus* Grown at Semi-Continuous System. Energy Conversion Management, 88, 936-946.
- AtlasAkvaryum.ErişimTarihi:28.02.2018<http://www.atlasakvaryum.com/index.php?id>
- Atta, M.,Idris, A., Bukhari, A., Wahidin, S., 2013. Intensity of Blue LED Light: A Potential Stimulus for Biomass and Lipid Content in Fresh Water Microalgae *Chlorella vulgaris*. Bioresource Technology, 148, 373-378.
- Aydın, G., 2014. Alg Yağından Lipaz Katalizli Biyodizel Üretimi. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 82s, Kocaeli.
- 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 (1), 665-674.
- Bligh, E. G., & Dyer, W. J. (1959). A rapid method of total lipid extraction and purification. Canadian journal of biochemistry and physiology, 37(8), 911-917.
- Carrión C.P., Valiente E.F., Pinás F.F., Legane's F. 2001. Acclimation of Photosynthetic Pigments and Photosynthesis of the Cyanobacterium *Nostoc* sp. Strain UAM206 to Combined Fluctuations of Irradiance, pH and Inorganic Carbon Availability. Journal of Plant Physiology, 158, 61-1455.

- Chang H., 2007 Marine Biodiversity and Systematics.
- Cheirsilp, B., Torpee, S., 2012. Enhanced Growth and Lipid Production of Microalgae under Mixotrophic Culture Condition: Effect of light intensity, Glucose Concentration and Fed-Batch Cultivation. *Bioresource Technology*, 110, 510-516.
- Chen, F., Liu, Z., Li, D., Liu, C., Zheng, P., Chen, S., 2012. Using Ammonia for Algae Harvesting and as Nutrient in Subsequent Cultures. *Bioresource Technology*, 121, 298-303.
- Chisti, Y., 2007. Biodiesel from Microalgae. *Biotechnology Advances*, 25 (3), 294-306.
- Choi, G.G., Kim, B.H., Ahn, C.Y., Oh, H.M., 2011. Effect of Nitrogen Limitation on Oleic Acid Biosynthesis in *Botryococcus braunii*. *Journal of Applied Phycology*, 23, 1031-1037.
- Christenson, L., Sims, R., 2011. Production and Harvesting of Microalgae for Wastewater Treatment, Biofuels and Bioproducts. *Biotechnology Advances*, 29 (6), 686-702.
- 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 Processing: Process Intensification*, 48 (6), 1146-1151.
- Demir, M., 2015. Mikroalglerden Biyodizel Eldesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 99s, Ankara.
- Dere, Ş., Güneş T., Sivacı, R., 1998. Spectrophotometric Determination of Chlorophyll - A, B and Total Carotenoid Contents of Some Algae Species Using Different Solvents. *Tr. J. of Botany*, 22, 13-17.
- Dobrucalı, E. 2007. Biyodizelin Bir Gemi Dizel Motorunun Performansına Olan Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Duan, E., 2013. Bazı Deniz Makroalglerinden (*Ulva sp.*, *Cystoseira sp.* ve *Corallina sp.*) Fermente Sıvı Organik Gübre Üretimi ve Taze Fasulye (*Phaseolus vulgaris*) Verimine Etkisinin Belirlenmesi. Giresun Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 64s.
- Düzenli F., Bahadır G., Şenol S., 2013. Mikroışlemlı Kontrollü Led Aydınlatma Tasarımı Ve Gerçekleştirilmesi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Lisans Tezi, 33s, Trabzon.
- Eliçin A. K., Kılıçkan A., Onurbaş Avcıoğlu A., 2009. Mikroalglerden Biyodizel Üretimi. 25. Tarımsal Mekanizasyon Ulusal Kongresi 1-3 Ekim 2009, Isparta 101-107.

- Eliçin K., Koç C., Gezici M., Gürhan R., 2013. Biyoyakıt Amaçlı *Nannochloropsis salina* Mikroalg Türünün Bazı Yetiştirme Parametrelerinin Belirlenmesi. Tarım Makinaları Bilim Dergisi.
- Elmoraghy, M., Farag, I.H., 2012. Bio-jet Fuel from Microalgae Reducing Water and Energy Requirement for Algae Growth. International Journal of Engineering and Science, 1, 22–30.
- Erol, Y., Canbolat, T., 2011. Aydınlatma Sektöründe Yeni Nesil Power LED Teknolojileri. Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu, Elazığ, 239-242.
- Fang, J.Y., Chiu, H.C., Wu, J.T., Chiang, Y.R., Hsu, S.H., 2004. Fatty Acids in *Botryococcus braunii* Accelerate Tropical Delivery of Flurbiprofen Into and Across Skin. International Journal of Pharmaceutics, 276, 163-173.
- Francisco, E.C., Neves, D.B., Lopes, E.J., Franco, T.T., 2010. Microalgae as Feedstock for Biodiesel Production: Carbon Dioxide Sequestration, Lipid Production and Biofuel Quality. Journal of Chemical Technology Biotechnology, 85, 395–403.
- Gezici M., 2012. Biyodizel Üretimine Uygun Mikroalglerin Gelişimine Bazı Yetiştirme Parametrelerinin Belirlenmesi. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 79s, Ankara.
- Gezici M., Eliçin K., Gürhan R., 2012. Biyoyakıt Amaçlı Mikroalg Üretimi İçin Bazı Yetiştirme Parametrelerinin Belirlenmesi. Tarım Makinaları Bilim Dergisi, 2, 223-231.
- Goiris, K., Van Colen, W., Wilches, I., León-Tamariz, F., De Cooman, L., Muylaert, K., 2015. Impact of Nutrient Stress on Antioxidant Production in Three Species of Microalgae. Algal Research, 7, 51-57.
- Gökpinar Ş., Işık O., Göksan T., Durmaz Y., Uslu L., Ak B., Önalın S. K., Akdoğan P., 2013. Algal Biyoteknoloji Çalışmaları Yunus Araştırma Bülteni. (4): 21-26
- Hsu, Yi-Cheng. 2011. An Optimum Design and Fabrication of Lens on Luminous Uniformity and Light Extraction of High-Power Light-Emitting Diode. Optical Review, Vol. 18, No. 1 (2011) 27–33.
- Işıklı İ., Açıkkalp E., Yamık H., Kurban M., 2011. Biyodizelin Dizel Santrallerde Kullanım Analizi. International Advanced Technologies Symposium 16-18 Mayıs, Elazığ 24.
- İnternet, <http://bilimselkonular.com/index.php/icatlar/904-biyodizel-nedir.html>, 24.02.2011.
- Ji, F., Liu, Y., Hao, R., Li, G., Zhou, Y., Dong, R., 2014. Biomass Production and Nutrients Removal by a New Microalgae Strain *Desmodesmus sp.* in Anaerobic Digestion Wastewater. Bioresource Technology, 161, 200-207.

- John D. M., Whitton, B.A., and Brook J.A., 2002. The Freshwater Algal Flora of the British Isles. First edition. Cambridge: Cambridge University Press.
- Kang, C.D., Lee, J.S., Paek, T.H., Sim, S.J., 2005. Comparison of Heterotrophic and Photoautotrophic Induction on Astaxanthin Production by *Haematococcus pluvialis*. Applied Microbiology and Biotechnology, 68, 237-241.
- Karaca, E., Aytac, S. 2007. Yağ Bitkilerinde Yağ Asitleri Kompozisyonu Üzerine Etki Eden Faktörler. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 22(1), 123-131.
- Kayahan, M., 2003. Yağ Kimyası. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Yayıncılık, 240s, Ankara.
- Kim, T. H., Lee, Y., Han, S. H., Hwang, S. J., 2013. The Effects of Wavelength and Wavelength Mixing Ratios on Microalgae Growth and Nitrogen, Phosphorus Removal Using *Scenedesmus sp.* for Wastewater Treatment. Bioresource Technology, 130, 75-80.
- Knothe, G., 2008. “Designer” Biodiesel: Optimizing Fatty Ester Composition to Improve Fuel Properties. Energy Fuel, 22, 1358-1364.
- Koc, C., Anderson, G. A., ve Kommareddy, A. 2013. Use of red and blue light-emitting diodes (LED) and fluorescent lamps to grow microalgae in a photobioreactor. The Israeli Journal of Aquaculture - Bamidgeh, IJA\_65.2013.797, 8 pages.
- Koray, T., 2002. Denizel Fitoplanktonlar. Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Yayınları No:32, 228pp. İzmir.
- Korbee, N., Figueroa, F., Aguilera, J., 2005. Effect of Light Quality on the Accumulation of Photosynthetic Pigments, Proteins and Mycosporine-Like Amino Acids in the Red Alga *Porphyra Leucosticta* (Bangiales, Rhodophyta). Journal of Photochemistry and Photobiology Biology, 80, 71–78.
- Kumar, V.A., Rengasamy, R., 2012. Mass Culture of *Botryococcus braunii* Kutz Under Open Race Way Pond for Biofuel Production. Bioresource Technology, 104, 394-399.
- Kural Ö., 2013. *Nannochloropsis oculata* (Droop) Hibberd (*Eustigmatophyceae*)’in LED Lambalar İle Büyüme Ve Yağ Biriktirme Özelliklerinin Belirlenmesi. Çanakkale On Sekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale.
- Kurhan, Ş., 2012. Fulvik ve Humik Asitlerin *Chlorella vulgaris* ve *Spirulina platensis* Gelişimine Etkisinin Belirlenmesi. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 78s, Ankara.
- Lichtenthaler H.K., Welburn A. R., 1985 Determination Of Total Carotenoids And Chlorophylls A And B Leaf In Different Solvents. Biochemical Society Transactions 11, 591-592.

- Liu, Y.H., Ruan, R., Kong, Q.X., Liu, C.M., Luo, J., Yu, F., 2008. Mass Culture of High Oil Content Microalgae on Wastewater and Power Plant Flue Gases. *Chinese Journal Bioprocess Engineering*, 6, 29-33.
- Lupi, F. M., Fernandes, H. M. L., Sá Correia, I., Novais, J. M. 1991. Temperature profiles of cellular growth exopolysaccharide synthesis by *Botryococcus braunii*. *Journal of Applied Phycology*, 3, 35-42.
- Matthijs, H.C.P., Balke, H., Van Hes, U.M., Kroon, B.M.A., Mur, L.R., Binot, R.A. 1996. Application of lightemitting diodes in bioreactors: Flashing light effects and energy economy in algal culture (*Chlorella pyrenoidosa*). *Biotechnology and Bioengineering*, 50, 98–107.
- Metcalf & Eddy (1991). *Wastewater Engineering, Treatment, Disposal and Reuse*, McGraw-Hill, International Editions, Third Edition.
- Miao, X.L., Li, R.X., Yao, H.Y., 2009. Effective Acid-Catalyzed Transesterification for Biodiesel Production. *Energy Conversion and Management*. 50, 2680–2684.
- Mirón, A.S., García, M.C.C., Gómez, A.C., Camacho, F.G.a., Grima, E.M., Chisti, Y., 2003. Shear Stress Tolerance and Biochemical Characterization of *Phaeodactylum Tricornutum* in Quasi Steady-State Continuous Culture in Outdoor Photobioreactors. *Biochemical Engineering Journal*, 16 (3), 287-297.
- Moghimi Azar, E., 2013. Mikroalglerin Lipaz Üretim Potansiyelinin Araştırılması. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 61s, Bornava/İzmir.
- Musayev, E. 2002. LED – LED Sisteminin Araştırılması ve Uygulamaları. ELECO'2002 Elektrik – Elektronik - Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu. [http://www.emo.org.tr/etkinlikler/eleco/etkinlik\\_bildirileri\\_detay.php?etkinlikkod=43&bilkod=1339](http://www.emo.org.tr/etkinlikler/eleco/etkinlik_bildirileri_detay.php?etkinlikkod=43&bilkod=1339). Erişim Tarihi: 16.10.2010.
- Nas, S., Gökalp, Y.H., Ünsal, M., 2001. Bitkisel Yağ Teknolojisi. Pamukkale Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Matbaası, 329s, Denizli.
- Nautiyal, P., Subramanian, K.A., Dastidar, M.G., 2014. Kinetic and Thermodynamic Studies on Biodiesel Production from *Spirulina platensis* Algae Biomass Using Single Stage Extraction-Transesterification Process. *Fuel*, 135, 228-234.
- Nautiyal, P., Subramanian, K.A., Dastidar, M.G., 2014. Production and Characterization of Biodiesel from Algae. *Fuel Processing Technology*, 120, 79-88.
- Okumura, C., Saffreena, N., Rahman, M.A., Hasegawa, H., Miki, O., Takimotoa, A., 2015. Economic Efficiency of Different Light Wavelengths and Intensities Using LEDs for the Cultivation of Green Microalga *Botryococcus braunii* (NIES-836) for Biofuel Production. *American Institute of Chemical Engineers*, 34, 269–275.

- Öner, T., 2006. Soya Sektör Raporu. İstatistik Şubesi, 48s.
- Pamir, H., 1985. Fermantasyon Mikrobiyolojisi Ders Kitabı. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, 328s, Ankara.
- Ra, C.H., Kang, C.H., Jung, J.H., Jeong, G.T., Kim, S.K., 2016. Effects of Light-Emitting Diodes (LEDs) on the Accumulation of Lipid Content Using a Two-Phase Culture Process With Three Microalgae. *Bioresource Technology*, 212, 254-261.
- Ramaraj, R., Kawaree, R., Unpaprom, Y., 2016. Direct Transesterification of Microalga *Botryococcus braunii* Biomass for Biodiesel Production. *Emer Life Sci Res*, 2(2), 1-7.
- Rashid, N., Ur Rehman, M.S., Sadiq, M., Mahmood, T., Han, J. I., 2014. Current Status, Issues and Developments in Microalgae Derived Biodiesel Production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 40, 760-778.
- Rashid, U., Anwar, F., Moser B.R., Knothe G., (2008). Moringa Oleifera Oil: A Possible Source of Biodiesel. *Bioresource Technology*, 99, 8175-8179.
- Richmond, A., 2004. Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology, Blackwell Publishing Ltd, Technology and Engineering, 548p.
- Ruangsomboon, S., 2012. Effect of Light, Nutrient, Cultivation Time and Salinity on Lipid Production of Newly Isolated Strain of the Green Microalga, *Botryococcus braunii* KMITL 2. *Bioresource Technology*, 109, 261-265.
- Ruangsomboon, S., 2015. Effects of Different Media and Nitrogen Sources and Levels on Growth and Lipid of Green Microalga *Botryococcus braunii* KMITL and its Biodiesel Properties Based on Fatty Acid Composition. *Bioresource Technology*, 191, 377-384.
- Seyhaneyıldızı Can Ş., 2010 *Botryococcus braunii* ve *Spirulina Platensis* Mikroalglerinden Temiz Ve Yenilenebilir Bir Enerji Çeşidi Olan Biyodizelin Elde Edilmesi. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Bornova-İzmir.
- Sforza, E., Bertucco, A., Morosinotto, T., Giacometti, G. M., 2010. Vegetal Oil From Microalgae: Species Selection and Optimization of Growth Parameters. *Chemical Engineering Transactions*, 20, 199-204pp.
- 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. *Biochemical Engineering Journal*, 94, 22-29.
- Sukatar, A., 2002. Alg Kültür Yöntemleri. Ege Üniversitesi Fen Fakültesi, Serisi No: 184, 168s., İzmir.
- Şahin, O.I., 2010. Bazı Mikroalgelerin Yağ Asidi Profillerinin Belirlenmesi. Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 48s, Bursa.



- Şahin, Y., Akyurt, İ., 2010. Planktonlar ve Fotobiyoreaktörler. Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi, 83-92s, Giresun.
- Tawfiq, S.A., Suad, A.H., Jacob, D.A., 2004. Optimum Culture Conditions Required for the Locally Isolated *Dunaliella salina*. Journal of Algal Biomass Utilization, 12-19pp.
- 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, Bioresource Technology, 162, 38-44.
- Ulusoy, Y., Alibaş, K., 2002. Diesel Motorlarda Biodiesel Kullanımının Teknik ve Ekonomik Olarak İncelenmesi. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 16, 37-50. Bursa.
- Ummalya, S.B., Sukumaran, R.K., 2014. Cultivation of Microalgae in Dairy Effluent for Oil Production and Removal of Organic Pollution Load. Bioresource Technology, 165, 295-301.
- Uysal, Ö. 2011. Tarımsal Aydınlatmada Led Işık Kaynaklarının Kullanım Olanakları. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. 64s, Isparta.
- Ünal, A., 2009. Aydınlatma Tasarımı ve Proje Uygulamaları. Birsen Yayınevi, Umut Matbaası, 613 sayfa. İstanbul.
- Velichkova K.N., Sirakov I., Georgiev, G., 2012. Cultivation of *Botryococcus braunii* Strain in Relation of its Use for Biodiesel Production. J. Bio Sci. Biotech, 157-162.
- Venkata Subhash, G., Rohit, M.V., Devi, M.P., Swamy, Y.V., Venkata, Mohan S., 2014. Temperature Induced Stress Influence on Biodiesel Productivity During Mixotrophic Microalgae Cultivation with Wastewater. Bioresource Technology, 169, 789-793.
- Wang, B., Li, Y., Wu, N., Lan, C.Q., 2008. CO<sub>2</sub> Bio-Mitigation Using Microalgae. Applied Microbiology Biotechnology, 79 (5), 707-718.
- Wassink, E. C., Stolwijk, J. A. J., 1956. Effects of Light Quality on Plant Growth. 373-400.
- Watanabe, Y., Hall, D. O. 1996. Photosynthetic CO<sub>2</sub> conversion technologies using a photo bioreactor incorporating microalgae – energy and material balances. Energy Conversion and Management, 37 (6–8), 1321–1326.
- Xu, H., Miao, X. and Wu Q. 2006. High Quality Biodiesel Production From a Microalga *Chlorella protothecoides* by Heterotrophic Growth in Fermenters, pp. 499-507.
- Yağcıoğlu, A., 1996. Tarımsal Elektrifikasyon (Genişletilmiş 2. Basım). EÜZF Yayınları. No: 488.

- Yağcıoğlu, A., 2009. Sera Mekanizasyonu. Ege Üniversitesi Basımevi, 562, 383 sf. Ege Üniversitesi Yayınları.
- Yavuzcan, G., 1994. Tarımsal Elektrifikasyon. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları: 1342, (5. Baskı) Ankara.
- Yusof, Y.A.M., Basari1, J.M.H., Mukti1, N.A., Sabuddin, R., Muda, A.R., Sulaiman, S., Makpol1, S., Ngah, W.Z.W., 2011. Fatty Acids Composition of Microalgae *Chlorella vulgaris* can be Modulated by Varying Carbon Dioxide Concentration in Outdoor Culture. African Journal of Biotechnology, 10(62), 13536-13542pp.



## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Çiğdem KURT  
Doğum Yeri ve Yılı : Nizip/Gaziantep, 1990  
Medeni Hali : Bekar  
Yabancı Dili : İngilizce  
E-posta : cigdem\_kurt\_1990@hotmail.com

### Eğitim Durumu

Lise : Türkan Ömer Okan Lisesi, 2007.  
Önlisans : İnönü Üniversitesi, Arapgir Meslek Yüksek Okulu, Tekstil Teknolojileri, 2009.  
Lisans : SDÜ, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları Ve Teknolojileri Mühendisliği, 2014.