

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

(DOKTORA TEZİ)

BAZI DENİZ MİKROALGLERİNİN (*Nannochloropsis oculata*, *Tetraselmis chuii*, *Chlorella sp.* ve *Dunaliella salina*) KÜLTÜRÜNDE IŞIK VE TUZLULUK KONSANTRASYONUNUN BÜYÜME VE BİYOKİMYASAL YAPISINA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Pınar PİRİNÇ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Yaşar DURMAZ

Su Ürünleri Yetiştiricilik Anabilim Dalı

Bilim Dalı Kodu : 504.04.01

Sunuş Tarihi : 01.09.2014

Bornova-İZMİR

2014

Pınar PİRİNÇ tarafından Doktora tezi olarak sunulan “Bazı Deniz Mikroalglerinin (*Nannochloropsis oculata*, *Tetraselmis chuii*, *Chlorella sp.* ve *Dunaliella salina*) Kùltüründe Işıık ve Tuzluluk Konsantrasyonunun Büyüme ve Biyokimyasal Yapısına Etkisinin Araştırılması ” başlıklı bu çalışma E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliđi ile E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi’nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değeriendirilerek savunmaya değeri bulunmuş ve 01.09.2014 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

Jüri Başkanı	: Doç. Dr. Yaşar DURMAZ
Raportör Üye	: Yrd. Doç. Dr. Kutsal GAMSIZ
Üye	: Doç. Dr. Latif TAŞKAYA
Üye	: Doç. Dr. Özgür ALTAN
Üye	: Doç. Dr. Ramazan SEREZLİ

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi / Doktora Tezi olarak sunduğum “Bazı Deniz Mikroalglerinin (*Nannochloropsis oculata*, *Tetraselmis chuii*, *Chlorella sp.* ve *Dunaliella salina*) Kültüründe Işık ve Tuzluluk Konsantrasyonunun Büyüme ve Biyokimyasal Yapısına Etkisinin Araştırılması” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

01 / 09/ 2014

İmzası

Adı-Soyadı

Pınar PİRİNÇ

ÖZET

BAZI DENİZ MİKROALGLERİNİN (*Nannochloropsis oculata*, *Tetraselmis chuii*, *Chlorella sp.* ve *Dunaliella salina*) KÜLTÜRÜNDE IŞIK VE TUZLULUK KONSANTRASYONUNUN BÜYÜME VE BİYOKİMYASAL YAPISINA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

PIRİNÇ, Pınar

Doktora Tezi, Su Ürünleri Yetiştiricilik Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Yaşar DURMAZ

Eylül 2014, 88 sayfa

Bu çalışmada, *Nannochloropsis oculata*, *Tetraselmis chuii*, *Dunaliella salina* ve denizel *Chlorella sp.*, mikroalg türlerinin farklı ışık kaynakları (floresan lamba, sarı led, beyaz led, kırmızı-mavi led ışık sistemleri ve ekonomik ampul) ve farklı tuzluluklardaki büyümesi üzerine etkilerinin tespit edilmesi, yetiştiriciliğe en uygun tuzluluk derişimi ve ışık kaynağının belirlenmesi amaçlanmıştır. Erlenlerde çoğaltılan kültürler F/2 besin ortamı ile zenginleştirilmiş, pH 8, kültür sıcaklığı $22\pm2^{\circ}\text{C}$ olacak şekilde ayarlanmış ve çalışma üç tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir.

Denemeler sonucunda, farklı ışık kaynaklarında en yüksek hücre sayısı, *Nannochloropsis oculata*'da ekonomik ampul ve floresan, *Tetraselmis chuii*'de floresan ve sarı led, *Dunaliella salina*'da, ekonomik ampul, denizel *Chlorella sp.*'de ekonomik ampul ve floresan lamba kullanılan sistemlerde elde edilmiştir. Farklı tuzluluk derişiminde en yüksek hücre sayısı, *Nannochloropsis oculata* için ‰20 ile ‰30 arasındaki tuzluluk derişimi, *Tetraselmis chuii* için, ‰30 ve ‰40 tuzluluk derişimi, *Dunaliella salina* için, ‰40 tuzluluk derişimine sahip kültürlerde elde edilmiştir. Yapılan denemeler sonucunda, fotobiyoreaktör tasarımlarında ışık kaynağı olarak led sistemlerden yararlanmanın maliyeti floresanlı sistemlere nazaran yaklaşık ‰50 azalttığı tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: *Nannochloropsis oculata*, *Tetraselmis chuii*, *Dunaliella salina*, denizel *Chlorella sp.*, tuzluluk, ışık, biyomas, beta karoten.

ABSTRACT

**IT HAS BEEN INVESTIGATION THAT LIGHT AND SALINITY
CONCENTRATION ARE EFFECT OF GROWTH AND
BIOCHEMICAL COMPOSITION IN SOME MARINE MICROALGAE
CULTURE (*Nannochloropsis oculata*, *Tetraselmis chuii*, *Chlorella sp.*
and *Dunaliella salina*)**

PİRİNÇ, Pınar

PhD in Department of Fisheries Aquaculture

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Yaşar DURMAZ

September 2014, 88 pages

In this study, it has aimed that *Nannochloropsis oculata*, *Tetraselmis chuii*, *Dunaliella salina* and marine *Chlorella sp.*, microalgae species were examined effects on growth in different light sources (fluorescent lamp, yellow led, white led, red-blue led light systems and energy-saving bulb) and different salinity and to determine the optimum salinity concentration and light source for the culture. Cultures growth in flask were enriched with F/2 medium, it has arranged to be pH 8, culture temperature to be 22±2°C and the study was performed in triplicate.

As a result of experiment, in different light sources, the highest cell density in *Nannochloropsis oculata* at energy-saving bulb and fluorescent, in *Tetraselmis chuii* fluorescent and yellow led, *Dunaliella salina* energy-saving bulb, in marine *Chlorella sp.* energy-saving bulb and fluorescent was obtained. In different salinity concentration, the highest cell density for *Nannochloropsis oculata* was obtained at ‰20 between ‰30 concentrations of salinity, for *Tetraselmis chuii* the highest cell density was determined at ‰30 and ‰40 concentrations of salinity. For *Dunaliella salina* microalga, the highest cell density was obtained at ‰40 concentrations of salinity. Result of experiment, it was identified that benefit led system as light source in photobioreactor decrease of cost about %50 compared to fluorescent system.

Keywords: *Nannochloropsis oculata*, *Tetraselmis chuii*, *Dunaliella salina*, marine *Chlorella sp.*, Salinity, Light, Biomass, Beta carotene.

TEŞEKKÜR

Çalışma konumun belirlenmesi ve hazırlanması esnasında beni yönlendiren ve çalışmamı takip eden, araştırma sürecim boyunca bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan danışmanım, Sayın Doç. Dr. Yaşar DURMAZ'a, tez çalışmam sürecince bana her konuda destek olan Sayın Öğretim Görevlisi Hülya SAYGI'ya, teşekkürlerimi sunarım. Bu tez kapsamında türlerin sağlanmasında, kültür çalışmalarında gerekli malzeme desteklerinde bulunan AKVA-TEK-SU ÜRÜNLERİ TURİZM SAN. VE TİC. LTD. ŞTİ kuruluşuna teşekkür ederim.

Ayrıca, tez çalışmam esnasında benimle birlikte olup cesaret veren, bana inanıp maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, asla beni yalnız bırakmayan hayatımdaki en değerli varlığım ailem; annem, babam ve kardeşime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLERSayfa

ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
TEŞEKKÜR	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xv
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xix
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	5
2.1 Mikroalg Kültürü	5
2.2 Işık ve Pigment	8
2.3 Tuzluluk	15
3. MATERYAL VE YÖNTEM	19
3.1 Türlerin Özellikleri ve Sistematikteki Yeri	19
3.1.1 <i>Nannochloropsis oculata</i> mikroalg türünün özellikleri ve sistematikteki yeri	19
3.1.2 <i>Tetraselmis chuii</i> mikroalg türünün özellikleri ve sistematikteki yeri	20
3.1.3 <i>Dunaliella salina</i> mikroalg türünün özellikleri ve sistematikteki yeri	21

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

3.1.4 <i>Chlorella sp.</i> mikroalg türünün özellikleri ve sistematikteki yeri	22
3.2 Kültür Ortamı ve Deney Düzeneği	23
3.2.1 Tuzluluk denemesi.....	24
3.2.2 Işık denemesi düzeneği.....	27
3.3 Analitik Ölçümler	30
3.3.1 Hücre sayımı	30
3.3.2 Optik yoğunluk	30
3.3.3 Kuru madde analizi.....	30
3.3.4 Klorofil a ve beta karoten miktarı.....	31
3.3.5 İstatistiksel analiz	31
4. BULGULAR	33
4.1 Tuzluluk Denemesi Bulguları.....	33
4.1.1 <i>Nannochloropsis oculata.</i> mikroalg türü için bulgular.....	33
4.1.2 <i>Tetraselmis chuii</i> mikroalg türü için bulgular	36
4.1.3 <i>Dunaliella salina.</i> mikroalg türü için bulgular	38
4.2 Işık Denemesi Bulguları	42

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

4.2.1 <i>Nannochloropsis oculata</i> mikroalg türü için bulgular	42
4.2.2 <i>Tetraselmis chuii</i> mikroalg türü için bulgular	47
4.2.3 <i>Dunaliella salina</i> mikroalg türü için bulgular	51
4.2.4 Denizel <i>Chlorella sp.</i> mikroalg türü için bulgular	56
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	63
6. ÖNERİLER	71
KAYNAKLAR DİZİNİ	72
ÖZGEÇMİŞ	86
EKLER	

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Işığın yapısı	8
2.2 Elektromanyetik aralık	9
2.3 Mikroalg türlerinin ışık gereksinimleri	11
3.1. <i>Nannochloropsis oculata</i> genel görünüşü	19
3.2 <i>Tetraselmis chuii</i> 'nin denemeler sırasında mikroskop altındaki görünümü	20
3.3 <i>Dunaliella salina</i> 'nın denemeler sırasında mikroskop altındaki görünümü	21
3.4 <i>Chlorella sp.</i> 'nin denemeler sırasında mikroskop altındaki görünümü	22
3.5 Denemede kullanılan bazı alet ve stok kültürler	24
3.6 <i>Nannochloropsis oculata</i> için çalışmada kullanılan deney düzeneklerinin genel görüntüsü	25
3.7 <i>Tetraselmis chuii</i> için çalışmada kullanılan deney düzeneğinin genel görüntüsü	26
3.8 <i>Dunaliella salina</i> için çalışmada kullanılan deney düzeneğinin genel görüntüsü	26

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.9 Denemede kullanılan ışık sistemi	27
3.10 Işık çalışmasında kullanılan deney düzeneği genel görüntüsü	28
3.11 Çalışmada kullanılan floresan lamba ve ekonomik ampul'un ışık renk skalası	29
3.12 Çalışma sırasında kullanılan spektrofotometre ve deney tüpleri	30
3.13 Klorofil a beta karoten analizinde kullanılan alet ve malzemeler	31
4.1 <i>Nannochloropsis oculata</i> türünün deneme 1'deki farklı tuzluluk derişimlerinde ortalama hücre sayıları	34
4.2 <i>Nannochloropsis oculata</i> türünün deneme 2'deki farklı tuzluluk derişimlerinde ortalama hücre sayıları	34
4.3 <i>Nannochloropsis oculata</i> türünün deneme süresince farklı tuzluluk derişimlerinde optik yoğunluk değişim grafiği	35
4.4 <i>Nannochloropsis oculata</i> mikroalg türünün farklı tuzluluk derişimlerinde zamana bağlı kuru madde miktarı değişimleri	36
4.5 <i>Tetraselmis chuii</i> mikroalg türünün farklı tuzluluk derişimlerdeki ortalama hücre sayıları.....	37

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.6 <i>Tetraselmis chuii</i> mikroalg türünün farklı tuzluluk derişimlerindeki optik yoğunluk değişim grafiği.....	37
4.7 <i>Tetraselmis chuii</i> mikroalg türünün farklı tuzluluk derişimlerindeki kuru madde miktarı değişim grafiği	38
4.8 <i>Dunaliella salina</i> mikroalg türünün farklı tuzluluk derişimlerindeki ortalama hücre sayıları.....	39
4.9 <i>Dunaliella salina</i> mikroalg türünün farklı tuzluluk derişimlerindeki optik yoğunluk değişim grafiği.....	39
4.10 <i>Dunaliella salina</i> mikroalg türünün farklı tuzluluk derişimlerindeki kuru madde miktarı değişim grafiği	40
4.11 18. günde <i>Dunaliella salina</i> mikroalg türünün farklı tuzluluk derişimlerinde beta karoten miktarları (µg/ml) değişim grafiği	41
4.12 <i>Dunaliella salina</i> mikroalg türünün farklı tuzluluk derişimlerinde 18. günde, hücre başına düşen ortalama beta karoten miktarları (µg/ml) değişim grafiği	41
4.13 <i>Nannochloropsis oculata</i> türünün farklı ışık kaynaklarındaki ortalama hücre sayıları	43

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil

Sayfa

- 4.14 *Nannochloropsis oculata* türünün deneme süresince farklı ışık kaynaklarındaki optik yoğunluk değişim grafiği44
- 4.15 *Nannochloropsis oculata* türünün farklı ışık kaynaklarında beta karoten miktarı değişim grafiği45
- 4.16 *Nannochloropsis oculata* türünün 23. güne ait farklı ışık kaynaklarındaki hücre başına düşen ortalama beta karoten miktarları ..45
- 4.17 *Nannochloropsis oculata* türünün farklı ışık kaynaklarında klorofil a miktarı değişim grafiği46
- 4.18 *Nannochloropsis oculata* türünün 23. güne ait farklı ışık kaynaklarındaki hücre başına düşen ortalama klorofil a miktarları.....46
- 4.19 *Tetraselmis chuii* mikroalg türünün farklı ışık kaynaklarındaki ortalama hücre sayıları.....48
- 4.20 *Tetraselmis chuii* mikroalg türünün deneme süresince farklı ışık kaynaklarındaki optik yoğunluk değişim grafiği49
- 4.21 *Tetraselmis chuii* mikroalg türünün farklı ışık kaynaklarında beta karoten miktarı değişim grafiği.....50

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil

Sayfa

4.22	<i>Tetraselmis chuii</i> türünün 22. güne ait farklı ışık kaynaklarındaki hücre başına düşen ortalama beta karoten miktarları	50
4.23	<i>Dunaliella salina</i> mikroalg türünün farklı ışık kaynaklarındaki ortalama hücre sayıları.....	52
4.24	<i>Dunaliella salina</i> mikroalg türünün deneme süresince farklı ışık kaynaklarındaki optik yoğunluk değişim grafiği.....	52
4.25	<i>Dunaliella salina</i> mikroalg türünün farklı ışık kaynaklarındaki kuru madde miktarı değişim grafiği	53
4.26	<i>Dunaliella salina</i> mikroalg türünün farklı ışık kaynaklarında beta karoten miktarı değişim grafiği.....	54
4.27	<i>Dunaliella salina</i> türünün 21. güne ait farklı ışık kaynaklarındaki hücre başına düşen ortalama beta karoten miktarları	54
4.28	<i>Dunaliella salina</i> türünün farklı ışık kaynaklarında klorofil a miktarı değişim grafiği	55
4.29	<i>Dunaliella salina</i> türünün 21. güne ait farklı ışık kaynaklarındaki hücre başına düşen ortalama klorofil a miktarları.....	55

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.30 Denizel <i>Chlorella</i> sp. mikroalg türünün farklı ışık kaynaklarındaki ortalama hücre sayıları.....	57
4.31 Denizel <i>Chlorella</i> sp. mikroalg türünün deneme süresince farklı ışık kaynaklarındaki optik yoğunluk değişim grafiği.....	58
4.32 Denizel <i>Chlorella</i> sp. mikroalg türünün farklı ışık kaynaklarındaki kuru madde miktarı değişim grafiği	59
4.33 Denizel <i>Chlorella</i> sp. mikroalg türünün farklı ışık kaynaklarında beta karoten miktarı değişim grafiği.....	60
4.34 Denizel <i>Chlorella</i> sp. türünün 18. güne ait farklı ışık kaynaklarındaki hücre başına düşen ortalama beta karoten miktarları	60
4.35 Denizel <i>Chlorella</i> sp. türünün farklı ışık kaynaklarında klorofil a miktarı değişim grafiği	61
4.36 Denizel <i>Chlorella</i> sp. türünün 18. güne ait farklı ışık kaynaklarındaki hücre başına düşen ortalama klorofil a miktarları.....	61
5.1 Deneme sırasında kullanılan ışık kaynaklarının bir günlük elektrik sarfıyatı (TL)	81

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Farklı ışık tiplerinin fotonik özellikleri	10
2.2 Mikroalg türlerindeki esas pigmentlerin fotonik özellikleri.....	11
2.3 Mikroalg türlerinden elde edilen çeşitli karotenoidler	12
3.1 F/2 besin ortamı	23
3.2 F/2 besin ortamında kullanılan metal solüsyonu	23
4.1 Duncan’a göre <i>Dunaliella salina</i> mikroalg türünün farklı tuzluluklardaki istatistiksel analiz sonuçları	42
4.2 Duncan’a göre <i>Nannochloropsis oculata</i> mikroalg türünün farklı ışık kaynaklarındaki istatistiksel analiz sonuçları.....	47
4.3 Duncan’a göre <i>Tetraselmis chuii</i> mikroalg türünün farklı ışık kaynaklarındaki istatistiksel analiz sonuçları	51
4.4 Duncan’a göre <i>Dunaliella salina</i> mikroalg türünün farklı ışık kaynaklarındaki istatistiksel analiz sonuçları	56
4.5 Duncan’a göre denizel <i>Chlorella sp.</i> mikroalg türünün farklı ışık kaynaklarındaki istatistiksel analiz sonuçları	62
5.1 <i>Nannochloropsis oculata</i> mikroalg türü için, deneme sırasında kullanılan ışık kaynaklarının bir günlük elektrik sarfıyatı (TL)	70

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

Çizelge

Sayfa

5.2 *Tetraselmis chuii* mikroalg türü için, deneme sırasında kullanılan

ışık kaynaklarının bir günlük elektrik sarfıyatı (TL)70

5.3 *Dunaliella salina* mikroalg türü için, deneme sırasında kullanılan

ışık kaynaklarının bir günlük elektrik sarfıyatı (TL)70

5.4 Denizel *Chlorella sp.* mikroalg türü için, deneme sırasında kullanılan

ışık kaynaklarının bir günlük elektrik sarfıyatı (TL)70

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
°C	Santigrat derece
k	Elektrik birim fiyatı
μm	Mikrometre
μg	Mikrogram
μmol	Mikromol
μM	Mikromolar
‰	Binde
%	Yüzde
λ	Dalga boyu
lüx	Lüks
X	Ortalama
S	Standart sapma
α	Alfa
β	Beta
ω	Omega

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

Kısaltmalar

mm	Milimetre
ml	Mililitre
EMI	Elektromanyetik ışınlm
EPA	Eikosapentaneoik asit
dk	Dakika
M	Molar
Led	Light emitting diode (Işıık yayan diyod)
PBR	Fotobiyoreaktör
ppt	Part pert thousand (Binde bir)
PUFA	Çoklu doymamış yağ asiti
ms	Milisaniye
UV	Ultraviole
Vit-E	E vitamini
CO ₂	Karbondioksit
nm	Nanometre
mg	Miligram
cm	Santimetre

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

Kısaltmalar

pg	Pikogram
L	Litre
W	watt
psu	Practical salinity unit (ppt)

1. GİRİŞ

Plankton terimi ilk kez 1887 yılında Alman araştırmacı Victor Hensen tarafından tanımlanmıştır. Bu tanıma göre 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. Plankton türlerinin sınıflandırılmasında en çok boyları ve biyolojik özellikleri kullanılmaktadır. Biyolojik olarak; fitoplankton türleri ve zooplankton türleri olarak sınıflandırılmıştır (Koray, 2002). Fitoplanktonik alg türlerine, küçük boyutlarından dolayı mikroalg türleri de denilmektedir. Fitoplanktonik alglerin sınıflandırılmasında; hücre morfolojileri, sitolojileri, ihtiva ettikleri pigment maddeleri ve üreme şekilleri gibi özelliklerinden yararlanılır. (Şahin ve Akyurt, 2010).

Mikroalg türleri, gündüz periyodunda atmosferdeki karbondioksidi büyük bir jeneratör gibi emmekte ve insan ile diğer canlıların yaşamı için hayati öneme sahip olan oksijeni üretmektedirler. Mikroalg türlerinden elde edilen biyomasın yanısıra hücresel olarak bünyelerinde biriktirdikleri kıymetli metabolitlerin yüksek ticari değere sahip olması ve bazı türlerin çevre ile ilgili uygulamalarda kullanılabilmesi mikroalgelere mevcut ilgiyi daha da arttırmakta ve biyoteknolojide yoğun araştırmaların yapıldığı bir alan haline getirmektedir (Cirik ve Gökpınar, 2006, Durmaz, 2006). Bu canlılar, hücre içinde protein, pigment, yağ asitleri, vitaminler, antibiyotikler, hidrokarbonlar, polisakkaritler ve daha pek çok metabolitleri yüksek miktarlarda doğal olarak biriktirebilmektedirler. Bu nedenle mikroalglerden yararlanmak için insanoğlu 100 yıldan fazla bir zamandır araştırmalar yapmaktadır. Alg kültürleriyle ilgili ilk çalışmalarda hedeflenen esas amaç, tek hücre proteinini elde etmektir. İlk olarak 1890 yılında Beijerinck, *Chlorella vulgaris*'in agar üzerinde kolonilerini elde etmiş ve kültürünü yapmıştır. O yıllarda alg kültürleriyle tek hücre protein üretiminin dünyadaki protein açığını kapatacak büyük bir alternatif olduğuna inanılıyordu. Dolayısıyla konuya sadece bu açıdan yaklaşılması nedeniyle, çalışmalar belli bir noktaya kadar gelmiş ve arzu edilen sonuçlar elde edilemeyince hayal kırıklığına uğranmıştır (Gökpınar, 1991). 1919 yılında Otto Warburg, *Chlorella* kültürü üzerindeki araştırmaları daha da geliştirmiştir. 1940-1950 yıllarında Almanya ve Japonya'daki daha sonraları da ABD'deki araştırmacılar fototrofik mikroalglerin yığın üretiminde temel kültür özelliklerini çalışmışlardır. Böylelikle, alg kültürlerinin sahip olduğu pek çok avantajının (yüksek fotosentetik verim, yıl boyu işlem yapma olanağı, yüksek bitkisel protein içeriği vs) olduğu tespit edildi (Gökpınar, 1991). Halen

birçok türün kimyasal kompozisyonları ve metabolizmaları üzerindeki çalışmalar devam etmektedir.

Mikroalg türlerinin üretimi, kullanım alanlarının genişlemesine paralel olarak son yıllarda kayda değer şekilde artmıştır. Kullanım alanları şöyle sıralanabilir: larva ve genç dönemdeki balıkların beslenmesinde; gübre olarak ziraatta (nitrojen tutucu); antibiyotik, pigment üretiminde; kapsadığı yağ asitlerinden dolayı insan ve hayvan beslenmesinde (Grinstead *et al.*, 2000) ve hayvan yemlerinde kullanılmaktadır. Mikroalg türleri, endüstriyel ülkelerde, pigmentler gibi yüksek katma değerli bileşiklerin; allofikosiyanın, c-fikosiyanın, miksoksantofil ve zeaksantin gibi pigmentlerin elde edilmesinde açısından oldukça zengindirler (Dalay ve Koru, 2001; Koru ve Cirik, 2003). Mikroalg türlerinden elde edilen ürünler gıda, kozmetik, eczacılık, tarım, ziraat, çevre teknolojileri gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Del Campo *et al.*, 2000). Mikroskobik alg türleri, akuatik ekosistemde biyolojik ve ekolojik rollerinin yanı sıra, toz yem ve canlı yem üretiminde, suların arıtılmasında, gıda endüstrisinde ve tarım alanlarında gübre kaynağı olarak faydalanılır (Borowitzka and Borowitzka, 1992). Ayrıca birkaç farklı tipte yenilenebilir biyoyakıt sağlanabilir. Bunları algal biyokütlenin anaerobik parçalanmasıyla metan üretimi, mikroalgal yağlardan biyodizel elde edilmesi ve fotobiyolojik olarak biyohidrojen üretimi kapsar (Hossain *et al.*, 2008).

Mikroalg üretiminde kullanılan sistemler genel olarak; açık ve kapalı sistemler olarak sınıflandırılabilir. Açık kültür sistemlerine tanklar, kanal havuzlar, dairesel havuzlar, karıştırılmayan büyük havuzlar ve doğal göller örnek olarak gösterilebilir (Sukatar, 2002). Kapalı kültür sistemlerine örnek olarak; karboylar, torbalar, tanklar, asansörlü fotobiyoreaktörler, içten aydınlatmalı fotobiyoreaktörler, ince panel fotobiyoreaktörler, çift havalandırma sistemli fotobiyoreaktörler, tüplü fotobiyoreaktörler, heterotrofik fermentörler ve heterotrofik/ototrofik fotobiyoreaktörler gösterilmektedir (Schenk *et al.*, 2008).

Fitoplankton hücrelerinin gelişimini çeşitli faktörler etkiler. Bunlar; ışık, sıcaklık, havalandırma-karıştırma gibi fiziksel faktörler ile sterilizasyon, mineral tuzlar, karbon gazı, pH ve tuzluluk gibi kimyasal faktörlerdir. Bu faktörlerden tuzluluk, fitoplankton gelişimini, metabolizmasını ve dağılımını etkileyen en önemli ekolojik faktörlerden birisidir (Alsull *et al.*, 2012). Mikroalg türlerinin kimyasal kompozisyonları (lipit, karotenoid vs) ve büyüme oranları çevresel koşullar tarafından etkilenir. Bunlar; ışık, sıcaklık, besin, suyun tuz

konsantrasyonudur. Bu faktörler; büyüme, fizyolojik aktiviteler ve biyokimyasal kompozisyon üzerinde etkilidir (Asulabh, 2012; Ben-Amotz and Shaish, 1992).

Alg kültürleri bir ışık kaynağına gereksinim duyarlar. Işık, fotosentetik organizmaların canlılığını sürdürebilmeleri için zorunlu bir parametredir. Fotosentetik büyüme her bir hücrenin kullandığı ışık enerjisiyle orantılı olduğu için, üretimlerde ışığın optimum seviyelerde sağlanması gerekir. Çünkü ışık, fotosentezin enerji kaynağıdır. Işık yoğunluğuna karşı fotosentez hızı doğrusal bir şekilde artar. Yüksek ışık yoğunlukları fotosentezi inhibe eder. Işığın yoğunluğu ve süresi kültürlerin verimliliği açısından önemlidir (Cirik ve Gökpınar, 2006). Hücre ışık karşısında inorganik karbonu metabolize ederek, diğer nutrientlerle birlikte organik madde sentezlerler. Kültürlerin aydınlatılmasında dikkate alınan faktörler: spektral aralık, spektral kalite, ışık şiddeti ve fotoperiyot'tur. Uygulanan ışık şiddeti kültürün derinliğine ve yoğunluğuna bağlıdır. Kültür derinliği ve yoğunluğu artarsa, ışık şiddeti arttırılmalıdır. Bu artış doymuş ışık yoğunluğuna ulaşıldıktan sonra da devam ederse, fotosentezin sınırlayıcı etkisi (fotoinhibisyon) başlar. Düşük ışık yoğunluklarıysa, fotosentezi sınırlayıcı bir faktör olarak ortaya çıkar. Bu sınırlayıcı etki, ortamdaki hücre konsantrasyonunun bir sonucu olarak hücrelerin birbirini gölgelemesi ve ışığa doymuş hale gelen hücrelerin daha fazla ışık enerjisi kullanmaması nedeniyle ortaya çıkar. Direkt güneş ışığı, alg kültürleri için sınırlayıcı etki yapar (Cirik ve Gökpınar, 2006). Son zamanlarda led ışık kaynakları, geleneksel ışık kaynaklarının yerini almıştır. Tübüler floresan lambalara kıyasla, son zamanlarda, led aydınlatmalar düşük enerji tüketimli olduklarından, çok avantajlı hale gelmiştir. Ayrıca led aydınlatmalar, küçük ve uzun ömürlü olmalarıyla, fotobiyoreaktörler için uygun ışık kaynağıdır (Zhao *et al.*, 2011). Bu avantajlarından dolayı, led aydınlatmalar bugünlerde mikroalgal kültürde geniş alanlara yayılmıştır (Wang *et al.*, 2007).

Bu çalışmada, ülkemizde çipura, levrek larva yetiştiriciliğinde önemli bir yer tutan ve rotiferlerin beslenmesinde yaygın olarak kullanılan *Nannochloropsis oculata*, *Tetraselmis chuii* ve *Dunaliella salina* mikroalg türlerinin farklı tuzluluklardaki (*Nannochloropsis oculata* için; ‰20, ‰25, ‰30, ‰33, ‰35, ‰38, ‰40, tuzluluk, *Tetraselmis chuii* için; ‰20, ‰30 ve ‰40 tuzluluk, *Dunaliella salina* için; ‰40, ‰80, ‰150 tuzluluk) gelişiminin incelenmesi, yetiştiriciliğe en uygun tuzluluk derişiminin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca, *Nannochloropsis oculata*, *Tetraselmis chuii*, *Dunaliella salina* ve denizel *Chlorella sp.* mikroalg türlerinin farklı ışık kaynaklarındaki (floresan, sarı, beyaz, kırmızı-mavi led ve ekonomik ampul) gelişiminin incelenmesi ve yetiştiriciliğe en

uygun, ekonomik ışık kaynağının belirlenmesi amaçlanmıştır. Yapay ışık kaynaklarının *Nannochloropsis oculata*, *Tetraselmis chuii*, *Dunaliella salina* ve denizel *Chlorella sp.* mikroalg türlerinin büyümesi üzerine etkisinin araştırılması hedeflenmiştir. Böylelikle en verimli ışık kaynağı tespit edilecek, maliyet girdilerinden birisi olan ışık giderleri düşürülecektir. Araştırma sonuçlarının, deniz balıkları larva yetiştiriciliğinin yapıldığı işletmelerde fitoplankton üretiminin artırılmasına yönelik olarak değerlendirilebileceği düşünülmektedir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Mikroalg Kültürü

Mikroalg kültüründe biyomasın biyokimyasal kompozisyonu ve yağ asitleri değerleri; çevresel faktörler, besin ortamı, sıcaklık, tuzluluk, pH, ışık gibi büyüme koşullarına bağlıdır (Suknik, 1991; Cohen *et al.*, 1988; Brown *et al.*, 1993; Roessler, 1990; Lourenco *et al.*, 2002; Hu, 2004). Örneğin, yüksek ışık şiddeti altında yapılan kültürlerde PUFA değerlerinde bir azalma (Suknik *et al.*, 1991), düşük ışık şiddetlerinde ise artış olmaktadır (Seto *et al.*, 1992; Thompson *et al.*, 1989).

Reboloso-Fuentes *et al.*, 2001, yürüttükleri çalışmada, denizel Eustigmatophyte *Nannochloropsis sp.*, türünü sürekli aydınlatma ile kültüre almışlardır. Belirlenen ortalama biyomas içeriği; % 37,6 karbonhidrat, % 28,8 ham protein ve % 18,4 toplam lipid olmuştur.

Renaud *et al.*, 2002, yaptıkları çalışmada *Isochrysis sp.*, *Chaetoceros sp.*, *Rhodomonas sp.* ve *Cryptomonas sp.* türlerini 5 farklı sıcaklık derecesinde (25, 27, 30, 33 ve 35°C), %25 tuzluluk, 8,3 pH ve 80 $\mu\text{mol foton m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ışık yoğunluğunda, 12:12 aydınlık-karanlık periyodu uygulayarak kültüre almış ve kimyasal kompozisyon ile yağ asitleri kompozisyonunu incelemişlerdir. 25 °C’de *Chaetoceros sp.* %16,8 ile en yüksek lipid oranına sahipken, 27-30 °C’lerde en yüksek lipid oranı %21.7 ile *Isochrysis sp.*’de bulunmuştur.

Rodolfi *et al.*, 2009, yaptıkları çalışmada, 4 farklı mikroalg türünü (2 deniz türü ve 2 tatlı su türü) azot eksikliği uygulayarak alveolar panel sistemde yapay aydınlatma ve yeşil duvar panellerde, dışarı ortamda kültüre almışlardır. *Nannochloropsis sp.*, 4 gün sonra alveolar panel sistemde yüksek aydınlatma ile lipid oranını % 60’a yükseltmiştir. Yağ asidi kompozisyonu ise, azot ve fosfor eksikliğinde kuru ağırlığının % 50 ve daha yukarısına ulaşmıştır.

Weldy and Huesemann, 2003, yaptıkları bir çalışmada, *Dunaliella salina*’yı iki farklı ışık yoğunluğunda (200 ve 800 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) ve N sınırlaması yaparak fotobiyoreaktör sistemde kültüre almışlardır. Lipid miktarının değişimine bakmışlar ve yüksek ışık ve N eksiltmesinin olduğu kültürde, büyüme fazının başında %16 olan lipid oranının, durgunluk fazının başında %44’e çıktığını gözlemişlerdir ve bu oranın yüksek ışık altında %38’lerde kaldığını bildirmişlerdir.

Yürütülen bir çalışmada *Haematococcus pluvialis*, 40 ve 230 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ olmak üzere iki farklı ışık yoğunluğuyla N ve Mg^{+2} eksikliği altında kültüre alınmış, en yüksek astaksantin konsantrasyonu, N eksikliği ve yüksek ışık yoğunluğunda 49.5 $\mu\text{g/ml}$ astaksantin bulunmuştur. N eksikliği hücre bölünmesini durdururken, astaksantin sentezinde yüksek ışık yoğunluğundan çok daha büyük bir etkiye sahip olduğu saptanmıştır. Mg^{+2} eksikliği ile birlikte düşük ve yüksek ışık yoğunluğunda sırasıyla; 7 ve 26 $\mu\text{g ml}^{-1}$ astaksantin üretilmiştir. Astaksantin miktarı, N ve Mg^{+2} 'un eksikliğinde sadece N azlığına göre daha düşük, fakat Mg^{+2} eksikliğine göre daha yüksek olmuştur (Fabregas *et al.*, 2000).

Cifuentes *et al.*, 2003, yürüttükleri çalışmada *Haematococcus pluvialis*'de astaksantin üretimi ve yığın kültürü için optimum koşulları saptamayı amaçlamışlardır. Çalışmada, Nevada (USA)'dan *Haematococcus pluvialis* kültürü temin edilmiş, besi ortamı olarak ototrofik (NaNO_3 , NH_4Cl ve üre ile) ve mikсотrofik koşullar altında (4, 8, 12 Mm sodyum asetat ile) 2 foton flux ışık yoğunluğu (PFD) (35 ve 85 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) uygulanmıştır. Karotenoid oluşumu için 1) NaCl ilavesi (%0.2 ve 0.8), 2) N azlığı, 3) yüksek ışık yoğunluğu (150 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) uygulanmıştır. Amonyum kloritin, büyüme için en iyi azot kaynağı olduğu saptanmıştır ($k=0.7$ bölünme/ gün, 228-258 mg l^{-1} ve 2.0×10^5 - 2.5×10^5 hücre/ ml^{-1} 35 ve 85 PFD). Yükselen asetat konsantrasyonu ile 85 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ışık yoğunluğunda büyüme azalmıştır. Işık karotenoid üretimini tetikleyen en önemli faktördür ve en yüksek karotenoid üretimi (4.9 mg L^{-1} , 25 pg hücre^{-1}) ön yetiştirme kültürlerinde nitrat ve düşük ışıktaki bulunmuştur. NaCl konsantrasyonunun yükselmesi ile, hücredeki karotenoid içeriğinin de yükseldiği gözlenmiş ancak yüksek oranda hücre ölümüyle sonuçlanmıştır. 150 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ışık altındaki kültürler, NaCl muamelesi uygulanan kültürler ile karşılaştırıldığında karotenoid içeriğinde artış olmamıştır. Hücrede en yüksek karotenoid içeriği, 22 pg ve kuru ağırlıktaki astaksantin içeriği, (10,3 mg g^{-1}) % 0,8 NaCl ile 85 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ışık altında bulunmuştur.

Göksan ve Gökpınar, 2005, tarafından yapılan bir çalışmada, farklı aydınlatma şiddetlerinin *Haematococcus*'un büyüme özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmak için 50, 100, 200, 400 ve 600 $\mu\text{mol foton m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 'lik beş farklı ışık şiddeti uygulanmış, fototrofik olarak 1L'lik erlenlerde büyütülen kültürler, doğal aydınlanma periyoduna yakın olması amacıyla 11 saat aydınlık, 13 saat karanlık periyoda maruz bırakılmıştır. Gruplar arasında en yüksek hücre sayısı değerine, 200 $\mu\text{mol foton m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 'lik grupta ulaşıp (19.73×10^4 hücre ml^{-1}), bu şiddetten daha yüksek aydınlatmalarda hücre sayısı tedricen azalmıştır.

Hücre sayılarında bir artış gözlenmeksizin, kuru ağırlık miktarının $200 \mu\text{mol foton m}^{-2} \text{sn}^{-1}$ 'lik ışık şiddetinden daha yüksek aydınlatmalarda da artmaya devam etmesi, birim hücre ağırlığının arttığını göstermiştir. Bu fenomen, 400 ve 600 $\mu\text{mol foton m}^{-2} \text{sn}^{-1}$ 'lik yüksek ışık şiddetlerinden dolayı, hücrelerin çaplarının artması ve hücre duvarının kalınlaşması ile açıklanmıştır.

Torzillo, 1991, yürüttüğü bir çalışmada *Spirulina maxima*'nın sürekli kültür sistemlerinde, büyüme hızının kesikli kültürlerle oranla daha yüksek olduğunu belirtmiştir. Ayrıca, yüksek ışıkla aydınlatılan kültürlerde, karbonhidrat oranının, düşük ışıkla aydınlatılan kültürlerde ise protein oranının yüksek olduğunu bildirmiştir.

Spirulina platensis ve *Spirulina fusiformis*'in biyokimyasal değişimleri ve büyümesine; sıcaklık, ışık ve pH gibi ayırt edici çevresel faktörlerin katkısı araştırılmıştır. Deney için distile su ile Zarouk ortamı kullanılarak *Spirulina platensis* için sıcaklık 32 °C, ışık 2500 lüks ve pH 9'a ayarlanırken *Spirulina fusiformis* de sıcaklık 37 °C ışık 2500 lüks ve pH 10'a ayarlanarak çalışılmıştır. Çalışmanın sonucunda, *Spirulina platensis*'de protein içeriği %58,6 ve *Spirulina fusiformis* için %61,2 olarak saptanmıştır. Bu sonuçlara göre, iyi bir biyomas ve protein üretimi için, *Spirulina* kültürlerinde çevresel faktörlerin etkili olacağı belirtilmiştir (Rafiqul *et al.*, 2005).

Yapılan bir çalışmada, azot kullanılabilirliği ve pigmentasyonun ışık yoğunluğu ile arasındaki ilişki tek hücreli kırmızı alg *Galderia sulphuraria* 074G'nin mikсотrofik ve heterotrofik kültürlerinde araştırılmıştır. *G. sulphuraria*'nin yığın kültürlerinde, büyüme sırasında, gram kuru ağırlıkta 2-4 mg fikosiyanın içerdiği, yüksek ışık yoğunluğunda, düşük ışık yoğunluğuna göre daha az fikosiyanın biriktirdiğini bildirilmiştir (Sloth *et al.*, 2006).

Yapılan bir çalışmada, *Arthonema africanum* biyomasının fikobiliprotein, karotenoid ve klorofil-a içeriğine sıcaklık (15-50 °C) ve ışık yoğunluğunun ($50-300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{sn}^{-1}$) etkisi araştırılmıştır. *Arthonema africanum*'un C-fikosiyanın ve allofikosiyanın içerdiği belirlenmiştir. Çalışmada, 36 °C ve $150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{sn}^{-1}$ ışık yoğunluğunda en yüksek total fikobiliproteini saptamışlardır. Kuru alg biyomasında, %23 C-fikosiyanın ve %12 allofikosiyanın oranlarını belirlemişlerdir. Oldukça düşük (<15°C) ve yüksek sıcaklıklarda (>47°C) ışık yoğunluğu ne olursa olsun, fikobiliprotein içeriğinin düştüğünü bildirmişlerdir (Chaneva *et al.*, 2007).

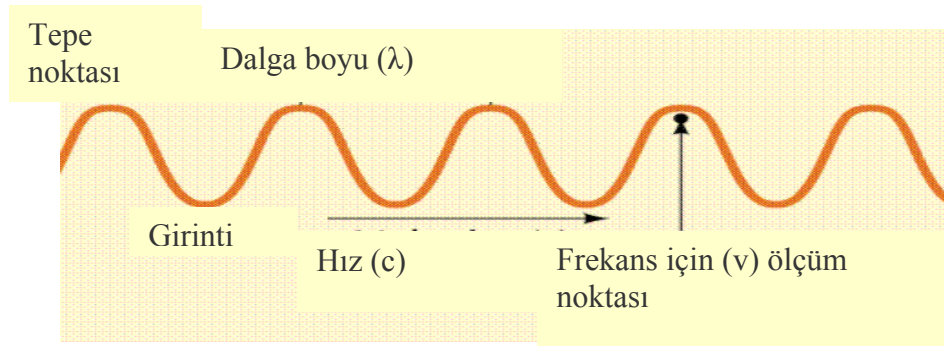
Wang *et al.*, 2007, yaptıkları çalışmada, kırmızı, mavi, yeşil, sarı ve beyaz renklerdeki led ışık kaynağı kullanımının, *Spirulina platensis*'in büyümesi üzerine etkilerini araştırmışlardır. En yüksek büyümeyi kırmızı ışıktaki, en düşük büyümeyi ise mavi ışıktaki elde etmişlerdir.

Katsuda *et al.*, 2006 yılında yaptıkları çalışmada mavi led lambalardan oluşturdukları flaş ışığın, *Haematococcus pluvialis*'in hücre yoğunluğu ve astaksantin miktarına etkisini araştırmış ve mavi led flaş ışığın, astaksantin miktarını etkili şekilde arttırdığını tespit etmişlerdir.

Das *et al.*, 2010, yaptıkları çalışmada kırmızı, yeşil, mavi ve beyaz led ışıktaki *Nannochloropsis sp.*'nin fototrofik ve mikсотrofik kültürlerde büyümesini incelemişlerdir. En yüksek spesifik büyüme hızını, hücre sayısını ve hacimsel yağ asiti miktarını mikсотrofik kültürde mavi led ışıktaki tespit etmişlerdir.

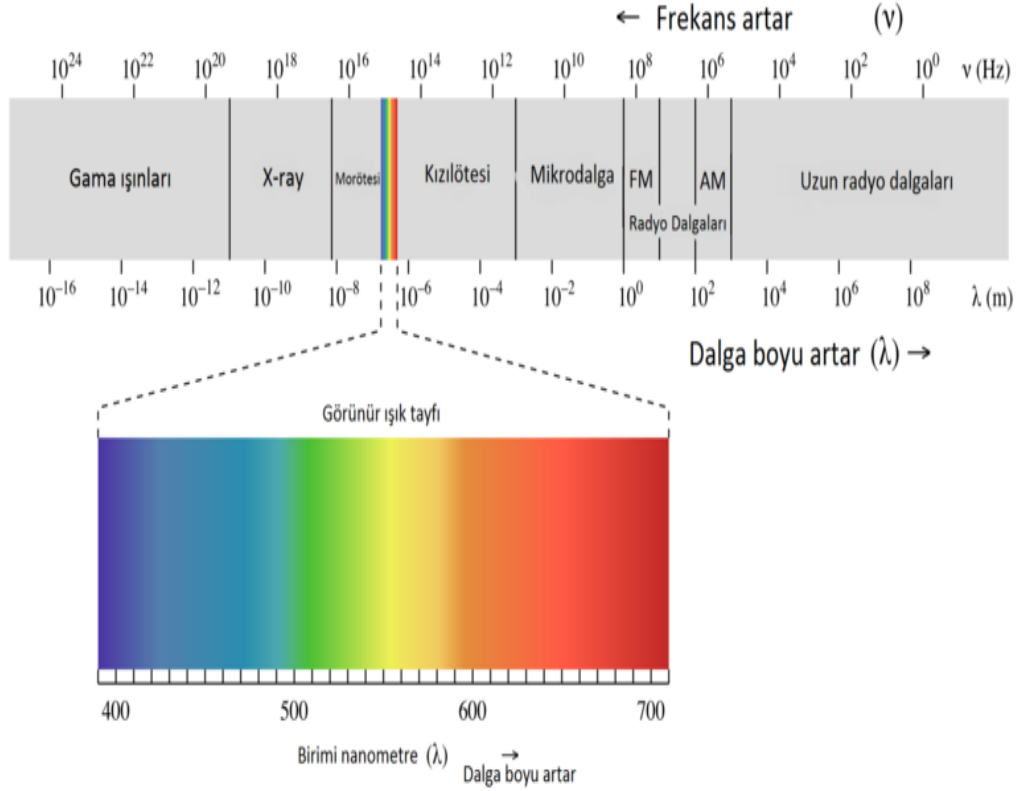
2.2 Işık ve Pigment

Işık, cisimleri görmeyi, renkleri ayırt etmeyi sağlayan fiziksel enerji, bir ışımının ışık kaynağından çıktıktan sonra, cisimlere çarparak veya direkt olarak yansıması sonucu canlıların görmesini sağlayan olgudur. C ile gösterilir. Yunanca'da celeritas (hız) anlamına gelir. Einstein'ın $E=mc^2$ kütle-enerji eşdeğerliğindeki "c" ışık hızını ifade eder. Işık da diğer elektromanyetik ışınlamalar (EMI) gibi foton adı verilen "paketlerden" oluşur. Fotonlar dalgaların ve parçacıkların özelliklerini gösterir (Carvalho *et al.*, 2011). Işığın yapısı Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Işığın Yapısı (Carvalho *et al.*, 2011)

Işık (görülebilir ışık), Şekil 2.2’de gösterilen elektromanyetik aralığın bir segmentidir. Görülebilir ışığın dalga boyu, 380 nm ile (UV’ye yaklaştıkça) 750 nm (veya kızıl ötesi ışık yakını-IR) arasındadır. Yeşil algler, aralığın sadece mavi ve kırmızı arasındaki bölümünü kullanırlar. Görülebilir ışık, fotosentetik algler için temel enerji kaynağıdır. Bu enerjiyi fotosentetik işlemlerde kullanarak organik madde sentezleyebilirler (Carvalho *et al.*, 2011).



Şekil 2.2 Elektromanyetik aralık (Carvalho *et al.*, 2011)

600-700 nm dalga boyundaki ışık, fotosentezde etkili olmasına rağmen, büyüme oranı en fazla olduğu 400-500 nm dalga boyu arasındadır. Mikroalg kültürlerinde en az %5-10 fotonluk mavi ışık (eğer gerekirse kırmızı ışık da kullanılabilir) fotosentezin yanı sıra diğer metabolik fonksiyonlar için gereklidir. Fakat, beyaz ışığın küçük bir miktarı bazı fotosentetik olmayan ihtiyaçlar için, fotobiyoreaktörlerde kullanılması gereklidir (Kommareddy and Anderson, 2004). Ayrıca, etkili beyaz ışığın dizaynı ve seçimi mikroalg türlerine (farklı mikroalg türlerinin ışık gereksinimlerine ve esas pigment maddelerini bünyelerinde barındırmalarına), ışık kaynağının tipi ve yoğunluğuna, ışığın spektral kalitesine bağlıdır. Bu parametreler mikroalg türlerinin büyümesi ve metabolizması için önemlidir. Fotosentetik mikroorganizmalar için en uygun ışık kaynağının seçmek

için dikkat edilmesi gereken başlıca kriterler; yüksek elektriksel etki, düşük sıcaklık yayımı, güvenilirlik, stabilitenin yüksek olması, kullanım ömrünün uzun olması, düşük fiyat, ilgili mikroorganizmaların absorpsiyon aralıkları arasında olmasıdır (Bertling *et al.*, 2006). Farklı ışık tiplerinin temel özellikleri Çizelge 2.1’de belirtilmiştir. Ampullerde enerjinin fazlası, kızıl ötesi olarak yayılır. Bu nedenle, kullanımı etkili değildir. Küresel şekillerinden dolayı, ışığın büyük bir fazlası boşa harcanmaktadır. Bu nedenle ışığı direk fotobiyoreaktöre göndermek için, reflektör kullanılır. Bu da, maliyeti artırır. Halojen lambalar ampullere benzemesine rağmen, standart lambalarda olduğu gibi ışığın çıkış seviyesini her zaman azaltmaz. Floresan lambalar uzun cam tüplerden imal edilmiştir. 400-700 nm’lik görülebilir ışığı yayar. Bu nedenle, gün ışığının spektrumuna yakındır (Kommareddy and Anderson, 2003).

Çizelge 2.1 Farklı ışık tiplerinin fotonik özellikleri (Carvalho *et al.*, 2011)

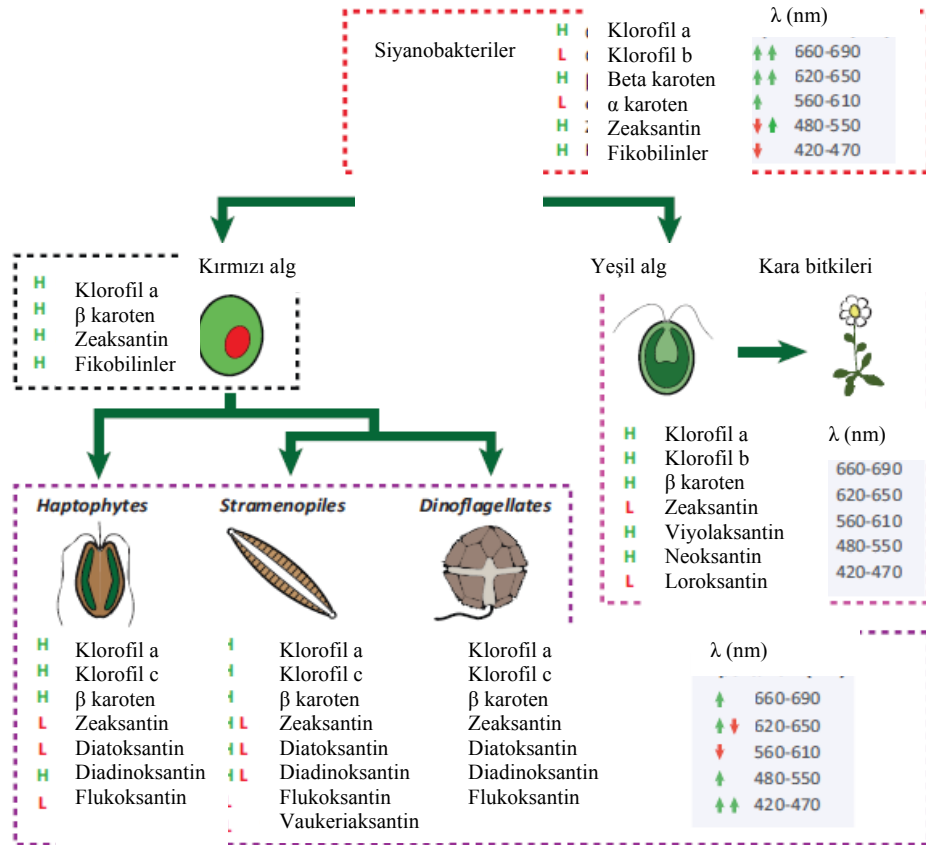
Işık tipi	Yoğunluk (W/m ²)	400-500 nm’lik bölgede enerji yayılımı	600-700 nm’lik bölgede enerji yayılımı	Enerjinin ısıya dönüşümü	Lambaların şekli	Kullanım ömürleri	Fiyatları
Ampul	5.1	%0.5	%3.8	Çok yüksek	Küresel	750–2.000 h	Düşük
Halojen lamba	1.6	%0.3	%3.3	Yüksek	Küresel	3.000–4.000 h	Düşük
Floresan lambalar	5.9	%25	%20.7	Düşük	Tübüler	10.000 h	Ampul’e göre 10 kat daha pahalı
Ledler	14.7-55.5	%0.04-0.08	%87.6-98,3	Çok düşük (%10’un altında)	Oval	35.000–50.000 h	Floresan lambalara göre 2-10 kat daha pahalı

Her pigment, ışığın belli dalga boylarını absorbe eder. Fotosentetik organizmalar tarafından enerji absorpsiyonu, temel pigmentlerin kimyasal yapısına bağlıdır. Esas pigment grupları; klorofiller, fikobilinler ve karotenoidlerdir. Pigmentlerin fotonik özellikleri Çizelge 2.2’de tanımlanmıştır (Masojidek *et al.*, 2004). Bu pigment grupları arasındaki en önemli grup, klorofil a’dır. Karotenoidlere ek olarak, aksesuar pigmentler; klorofil b ve c’dir. Bu pigmentler, ışık spektrumunun diğer dalga boylarını absorbe eder ve enerjilerini klorofil a’ya aktarırlar. Karotenoidler, genellikle kırmızı, sarı ve turuncu renktedir. Bu nedenle, bu bölgedeki ışığı absorbe edemezler, yansıtırlar (Kommareddy and Anderson 2003). Fikobilinler, suda çözünen pigmentlerdir. Fikosiyanin, mavi pigment gibi bileşikler, mavi yeşil mikroalglerde mevcuttur.

Çizelge 2.2 Mikroalg türlerindeki esas pigmentlerin fotonik özellikleri (Masojidek *et al.*, 2004).

Pigment grupkarı	Renk	Absorbsiyon oranı (nm)	Pigmentler
Klorofiller	Yeşil	450-475	Klorofil a,b,c
Fikobilinler	Mavi kırmızı	630-675	Fikosiyanın
		500-650	Fikoeritrin
			Allofikosiyanın
Karotenoidler	Sarı turuncu	400-550	Beta karoten
			α karoten
			Lutein
			Viyolaksantin

Işıktan yayılan ve alglerdeki klorofil molekülleri tarafından tutulan, mavi veya kırmızı dalga boylu birçok foton, hücresel yapı, pigment kompozisyonu ve kloroplast düzeni üzerinde etkilidir. Alg türlerinin en iyi büyüme gerçekleştirmek için, ya mavi ışık ($\lambda \approx 420-470$ nm) ya da kırmızı ışığı ($\lambda \approx 660$ nm) tercih ettiği bildirilmiş ve Şekil 2.3’de açıklanmıştır (Keeling, 2013; Marriott, 2011).



Şekil 2.3 Mikroalg türlerinin ışık gereksinimleri H) Yüksek pigment içeriği L) Düşük pigment içeriği H L) Türler arasındaki yüksek ve düşük pigment içeriği değişimi (Keeling, 2013; Marriott, 2011).

Karotenoidler, doğada geniş olarak yer alan sarı, turuncu ve kırmızı renkli pigmentlerdir. Mikroalg türlerinde, uygun üreme koşulları altında kloroplastda, primer karotenoidler sentezlenirken, stres koşulları altında, kloroplast dışında, sitoplazmada sekonder karotenoidler sentezlenir. Başlıca karotenoidler arasında; likopen, ksantofil (lutein), β -karoten, violaksantin, zeaksantin ve astaksantin yer alır (Cohen, 2000) (Çizelge 2.3). Yeşil alglerden *Dunaliella sp.* ve *Haematacoccus sp.* nin yüksek düzeyde karotenoidlere sahip olduğu bulunmuştur (Cohen, 1999). Tüm alg türlerinin karotenoid içerdiği bulunmuştur. Her bir türün genellikle 5 ila 10 arasında ana formu bulunduğu belirlenmiştir. Ayrıca alglerdeki çeşitliliğin, yüksek bitkilere kıyasla çok daha fazla olduğu gösterilmiştir (Becker, 1995).

Çizelge 2.3 Mikroalg türlerinden elde edilen çeşitli karotenoidler (Cohen, 2000).

Mikroalg	Karotenoid
Mavi-yeşil alg	Beta-karoten, zeaksantin
Kırmızı alg	Lutein, kriptoksantin
Sarı- Kahverengi alg	Heteroksantin, neoksantin
Diatomlar	Diatoksantin, diadinoksantin
Yeşil alg	Beta-karoten, astaksantin

Beta karoten, gıda endüstrisinde renklendirici, tıpta antioksidan, kozmetikte ve yemlerde kullanılır (Fazeli *et al.*, 2006; Edge *et al.*, 1997; Johnson and Schroeder, 1995).

Alg türleri, yüksek oranda β karoteni yapılarında toplayabilme özelliğindedir. β karoten, algal karotenoidler, kloroplastlarda görülmektedir. Kırmızı alg türlerinden (Rhodophyta) β karoten; *Chloromonodophyta* Diadinoksantin, Heteroksanthin ve Vaucheriaksanthin içermekte, *Chlorophyta* ise; Acetylenic karotenoidler w/w oranında toplamaktadır. En iyi karotenoid üreten *Dunaliella* türlerinden, *Dunaliella salina* ile *Dunaliella bardawil* pratikte pigment oluşturmak için kullanılır. *Dunaliella*; *Chlorophyceae* familyasında bulunan yeşil alg türlerindendir. Yapılan incelemelerde *Dunaliella salina* 'nın ideal koşullarda kültür ortamında 400 mg β karoten üretebildiği tespit edilmiştir. *Dunaliella* türlerinden elde edilen β -karotenin diğer pigment kaynaklarına göre verim (%3-5

w/w) ve kalite açısından üstün özellikleri bulunduğu belirlenmiştir (Durmaz vd., 2006).

Fikosiyanin, *Porphyridium aeugineum* kırmızı alginden elde edilen mavi bir pigmenttir. En önemli fikosiyanin C-fikosiyanindir. *Porphyridium aeugineum* biyomasından %60 oranında üretilen mavi pigmentin gıdalarda ya da içeceklerdeki kullanılan dozu, 140–180 mg/kg arasında değişmektedir. İçerdiği polisakkaritler ürünün rengine, stabilitesine katkı sağlamak yanında, gıdaya fonksiyonel besleyici özellik sağlamaktadır. Mikroalgden üretilen pigment, pH ile değişmemekte ve 60°C'de 40 dk'da sabit kalmaktadır (Çelikel vd., 2006).

Astaksantin, mikroalg türlerinden elde edilen ve doğal bir pigment olan güçlü bir biyoaktif maddedir. *Haematococcus pluvialis*, astaksantin pigmenti üreten, yeşil bir alg olmakta ve %0.2 ile %2 arasında keto-karotenoid üretmektedir. Fikoeritrin, Kırmızı mikroalg genusu olan *Porphyridium*, besleyici ve teropatik özelliğe sahip, biyokimyasalların bir kaynağı olmakta ve alg genusunun antiviral ve antiinflamator etkili polisakkaritler, uzun zincirli doymamış yağ asitleri ile zeaksantin gibi pigment ve floresan içerdiği bildirilmektedir (Çelikel vd., 2006). Kırmızı renkli phycobiliproteinler; fikoeritrin, mavi phycobiliproteinler de; fikoksiyanin olarak isimlendirilmektedir. *Porphyridium sp.* floresan pembe renk veren pigment kaynakları olarak bilinmekte ve önemli fikobiliproteinler; b-fikoeritrin ile fikoeritrin olarak tanımlanmaktadır. Lutein, karotenoid grubu doğal bir renklendiricidir. Bu ksantofil, retinada bulunur. Lutein, yeşil yapraklı sebzelerde (ıspanak, karalâhana vb), yumurta sarısı ve bazı çiçeklerde (marigold) bulunur. Lutein, renk pigmenti olarak gıdalara parlak sarı rengi verir. Yem endüstrisinde kullanılmaktadır. Tavuk yemlerine, yumurta sarısının sarılığını arttırmak amacıyla lutein eklenmektedir (Anonim, 2003).

Mikroalg türleri doğal antioksidan olması özelliğiyle, insan sağlığı, balık dış satımında renklenme açısından büyük önem taşıyan, dolayısıyla da yüksek ticari öneme sahip, vitamin ve pigment gibi bileşikleri yüksek oranda içermektedirler. Karotenoidler ve klorofiller, fotosentez yapan organizmalarda bulunan yapılardır ve hücrelerle beslenen hayvanlarda depolanan karotenoidler sadece fitoplankton, alg türleri, bitkiler ve sınırlı sayıdaki mantar ve bakteriler tarafından üretilen, yağda çözülebilir moleküllerdir (Horrobin, 1999; Baysal ve Ersus, 1999).

Bitki ve alglerde karotenoidler klorofil ve diğer pigmentlerle beraber fotosentetik işlemlerde hayati bir öneme sahiptir. Hayvan vücudunda karotenoidlerin bir bölümünün retinole dönüştüğü, diğer bir bölümünün ise yumurta sarısı, süt ve organellerde yağ içinde yer aldığı bilinmektedir (Baysal ve Ersus, 1999). Primer karotenoidler, uygun büyüme koşulları altında sentez edilebilen pigmentlerdir. Sekonder karotenoidler ise, özellikle yüksek ışık şiddeti ve azot yetersizliği gibi ekstrem koşullar altında üretilir.

Karotenler biyolojik antioksidan olarak hücre çekirdeğini ve dokuları zararlı etkenlerden koruduğu için insan sağlığı açısından önemlidir (Yanar *et al.*, 2004). β karoten, lutein, zeaksantin gibi karotenler halen kanser tedavisinde uygulanmaktadır ve bir çok araştırmacı karotenoidleri, insan hastalıklarına karşı koruyucu olarak önermektedirler (Richmond, 2000; Ziegler *et al.*, 1996). Ayrıca lutein, yaşlılığa bağlı olarak ortaya çıkan retina ve katarakt hastalıkları riskini azaltmaktadır (Lubian *et al.*, 2000). Çünkü provitamin-A aktivitesi gösteren karotenoidlerin bir bölümü, ince bağırsaklarda karoten oksijenaz enzimiyle retinol, retinal ve retinoik aside dönüşerek bağışıklık sistemi, görme ve epitel dokunun oluşması ve yenilenmesinde rolü vardır (Baysal ve Ersus, 1999).

Beta karoten, yağda çözünen bir pigmenttir ve yağda çözünen Vit-A'nın hammaddesidir. Oksidasyon ile oluşan serbest radikalleri süpürür ve oksidasyonun neden olduğu etkilere karşı korur. Karotenoidler arasında lutein'in antioksidan aktivitesi, α veya α karoten kadar yüksek değildir. Ancak, karotenoidlerin antioksidan aktivitelerine bağlı olarak, kanser oluşumunu inhibe ettikleri pek çok araştırmacı tarafından rapor edilmiştir. Bazı karotenoidlerin UV ışık ve kimyasalların neden olduğu timörleri inhibe ettikleri ve immun cevabı arttırdıkları, yüksek antioksidan aktiviteye sahip Vit-E ve α - tokoferol'ün ise, cildi UV ışığın neden olduğu hasarlara karşı koruduğu gösterilmiştir (Hunter and Fletcher, 2002).

Kırmızı ışık, chlorophyta türleri için çok kritiktir (Takaichi, 2011). Bununla birlikte, bu organizmalar mavi ışığı siyanobakterilerden daha etkili kullanabilmektedir. Çünkü, birçok siyanobakteri türünde muhtemel klorofil b eksikliği bulunmaktadır (Marriott and Blankenship, 2011) ve fotosentetik ökaryotlardaki karotenoidlerin çeşitliliği mevcuttur (Schulze *et al.*, 2014).

Chlorophyta türlerinde gelişim sırasında varolan fikobilinler kaybolduğu için, sarı ve yeşil ışığı kullanma yeteneğinden yoksundur (Marriott and

Blankenship, 2011). Bununla birlikte, mikroalglerin içerdiği klorofil a için dalga boyu aralığı 420-470 nm veya 660-680 nm'dir (Schulze *et al.*, 2014) .

Das *et al.*, 2011, 470 nm dalga boyuna sahip mavi led aydınlatmayla *Nannochloropsis sp.* türü ile gerçekleştirdikleri çalışma sonucunda, fototrofik koşullar altında, kırmızı, yeşil ve beyaz ledlere kıyasla, yüksek palmitoleik asit ve düşük EPA içeriği; miksotrofik büyümede mavi, yeşil ve beyaz ışıktaki düşük yağ asiti; fototrofik koşullar altında da benzer yağ asiti içeriği elde etmişlerdir. Yine *Nannochloropsis sp.* türü ile gerçekleştirdikleri başka bir çalışmada, 550 nm dalga boyuna sahip yeşil led aydınlatma kullanmışlar. Çalışma sonunda, fototrofik koşullar altında floresan ve kırmızı, beyaz ledlere kıyasla yüksek arakidonik asit içeriği tespit etmişlerdir. *Nannochloropsis sp.* türü ile 680 nm dalga boyuna sahip kırmızı led aydınlatma ile gerçekleştirdikleri başka bir çalışmada da, fototrofik koşullar altında, mavi, yeşil, beyaz ledlere kıyasla, yüksek oleik asit içeriği tespit etmişlerdir.

Mohsenpour and Willoughby, 2013, tarafından gerçekleştirilen çalışmada, geniş spektrum aralığında yeşil led aydınlatma ile *Chlorella vulgaris* mikroalg türü kültüre alınmış ve çalışma sonucunda, mavi, sarı, turuncu ve kırmızı geniş spektrumuna kıyasla, yüksek klorofil birikimi elde etmişlerdir.

Abiusi *et al.*, 2014, tarafından gerçekleştirilen çalışmada, geniş spektrum aralığındaki kırmızı led aydınlatma ile *Tetraselmis suecica* mikroalg türünü kültüre almış ve çalışma sonunda, mavi, yeşil, beyaz ledlere kıyasla kırmızı ışık altında EPA içeriği artışı gözlemlemişlerdir.

Saavedra *et al.*, 1996, tarafından gerçekleştirilen çalışmada, geniş spektrum aralığına sahip koyu kırmızı led aydınlatma ile, *Dunaliella salina* mikroalg türünü kültüre almış ve çalışma sonunda, floresan lamba altındaki hücre büyümesine kıyasla yüksek karotenoid seviyesi elde etmişlerdir. Mikroalg türlerinin kimyasal kompozisyonları üzerine belirli dalga boyundaki led ışıkların etkisi Ek 1'de açıklanmıştır (Schulze *et al.*, 2014).

2.3 Tuzluluk

Deniz plankton türlerinin tuzluluk değişimine olan toleransları oldukça iyidir. Pek çok tür, doğal ortamdaki tuzluluğa göre, daha düşük tuzlulukta iyi bir büyüme gösterir. Pek çok alg türü %12-44 ppt, optimum %20-24 ppt tuzluluğu

tercih eder. (ppt = g çözünen / kg veya litre çözelti). Pek çok türün canlılığını dahi sürdüremeyeceği ‰140 tuzlulukta büyüme hızı çok azalsa bile, fotosentetik aktivite belirli bir süre devam eder (Ben-Amotz and Avron, 1983; Borowitzka and Borowitzka, 1992). Örneğin; *Isochrysis galbana* ‰15 tuzlulukta maksimum üreme gösterirken, *Tetraselmis suecica* 25-35 ppt tuzluluğu tercih eder. *Spirulina platensis* ‰ 1 tuzlulukta iyi gelişme gösterir (Vonshak and Tomaselli, 2000).

Ülkemizde *Phaeodactylum tricornutum* türünde, farklı besin ve ‰35, ‰70 ve ‰140 tuzluluk derişimlerinin etkileri araştırılmış ve organizmanın koşullara farklı periyotlarda adapte olduğu ve farklı büyüme hızları gösterdiği belirlenmiştir. *Phaeodactylum tricornutum* türünün, geniş ölçekli yığın kültürleri üzerine tuzluluğun etkisi ‰20 ve ‰35 tuzluluk derişimlerinde incelenmiş ve büyüme hızı ve biyomas dağılımı açısından ‰20 tuzluluk derişimi daha iyi sonuçlar verdiği saptanmıştır (Gökpınar ve Cirik, 1991).

Deniz fitoplanktonunun büyümesini, metabolizmasını ve canlılığını dolayısıyla dağılımında etkili önemli bir ekolojik faktör ve değişken olan tuzluluk, fitoplankton kültürlerini de etkileyen önemli bir faktördür. Artan tuzluluğun *P. tricornutum* kültürlerinde hücrelerin ortama adaptasyonlarını güçleştirdiği ve büyüme hızının azalmasına neden olduğu belirlenmiştir. ‰35 tuzluluk derecesinde yapılan denemede, saptanan algal büyüme zayıf, büyüme hızı düşük ve biyomastaki artış ‰20'e göre daha az bulunmuş, bu tuzluluk derişiminde en yüksek büyüme hızı 1. ve 4. günler arasında elde edilmiş ve kültür daha sonra durgunluk fazına girmiştir. Kültür sonunda elde edilen biyomas miktarı başlangıca göre ‰24 oranında bir artış göstermiştir. ‰20 tuzluluk derecesinde büyüme eğrisi daha kararlı ve hızlı bulunmuştur. Biyomas artışı ‰35'e göre daha yüksek düzeydedir ve başlangıca göre artış oranı ‰54 civarındadır. ‰20'de elde edilen büyüme hızı, ‰35'de elde edilen hızın yaklaşık iki katıdır. Tuzluluk artışına bağlı olarak, hücrelerin fotosentez ve protein sentezi kapasiteleri azalır ve tuzluluğun daha çok artırılmasıyla büyüme hızı ve sonuç ürün üzerinde belirgin bir sınırlayıcı etki ortaya çıkar. Ancak, örihalin bir form olarak tanımlanan *P. tricornutum* tuzluluk derişimlerine karşı, diğer türlerden daha dayanıklıdır. Pek çok türün canlılığını dahi sürdüremeyeceği ‰140 tuzlulukta büyüme hızı çok azalsa bile, fotosentetik aktivite belirli bir süre devam eder (Gökpınar, 1983).

Abu-Rezq *et al.*, 2010, tarafından yapılan çalışma sonuçlarına göre, *Dunaliella salina* için optimum kültür koşullarının, yüksek tuzluluk (45 psu), düşük sıcaklık (20°C) 30g m⁻³ d⁻³'lük fotosentez konsantrasyonu, yüksek ışık

yoğunluğu (18x1000 lüx), 9.18'in üzerinde (CO₂ gazı kullanılmadan) yüksek pH seviyesi olduğunu belirtmişlerdir.

Durmaz ve Gökpınar, 2006, tarafından yapılan çalışmada *Dunaliella salina*, yüksek tuzluluk, yüksek ışık şiddeti ve azot eksikliği gibi bazı stres koşulları altında kültüre edildiğinde, hücre içinde β -karoten biriktirebilen Chlorophyceae sınıfına ait bir alg türüdür. Yüksek tuzlulukları tolere edebilen *D. salina* gibi türler belli bir bölgeye ve çevre koşullarına adapte olmuş halde yaşar. Araştırma kapsamında Konya Tuz Gölü'nde yapılan incelemelerde, tuz parsellerinde kırmızılıklar şeklinde görülen alanlardan alınan örneklerdeki alg hücrelerinin mikroskopta tür tanımı yapıldıktan sonra, *D. salina* olarak tanımlanan hücreler seyreltme yöntemi ile izole edilerek kültüre alınmıştır. Laboratuvarında NaCl ilave edilerek, 0.62M, 0.85M, 1.28M ve 1.71M tuz derişimleri hazırlanmış, 500 ml'lik erlenlerde, AS100 ortamında, 100 $\mu\text{mol foton m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ışık şiddetinde sürekli aydınlatma ile $20 \pm 1^\circ\text{C}$ sıcaklıkta kültürleri yapılmış. *D. salina*'nın yüksek tuzluluk konsantrasyonlarında gelişimini sürdürebildikleri gözlenmiştir. Çalışmada *D. salina* için en uygun tuz derişiminin 1.71M NaCl olduğu gözlenmiş, 1.71M NaCl'de daha yüksek bir hücre sayısı (5.87×10^6 hücre ml^{-1}) ve daha yüksek β -karoten değerleri elde edilmiştir ($9.80 \pm 0.25 \text{ mg g}^{-1}$ kuru ağırlık).

Dunaliella sp. ile farklı NaCl (%100, %150 ve %200) konsantrasyonlarında yapılan bir diğer çalışmada, %100 NaCl konsantrasyonunda en iyi büyüme elde ettiklerini bildirmişlerdir. (Dudu Evren vd., 2001). Yine aynı alg türü ile yapılan bir başka çalışmada, en yüksek β karoten miktarının 3.42 M NaCl'de elde edildiği bildirilmektedir (Çelekli ve Dönmez, 2001).

Vonshak' ın 1997 yılında yapmış olduğu çalışmada, *Spirulina platensis*, fototrofik gelişiminin en iyi olduğu ortamda (100 ya da 200 $\mu\text{mol/m}^2\text{s}$) foton ışık akışı yoğunluğunda, 0,75 M' a kadar farklı tuz konsantrasyonlarına maruz bırakılmış ve araştırmanın başlangıç fazında, büyüme hızı, fotosentetik aktivite ve solunumun engellendiği ve daha sonra sabit bir duruma geçtiği tespit edilmiştir. Bunu takiben fotosentez aktivitesinde ve solunum hızında bir artış meydana geldiği gözlenmiştir (Vonshak, 1997). Yine Vonshak, 1997, *S. platensis*' de yapmış olduğu çalışmaya göre, tuz stresine adaptasyonda, protein ve klorofil miktarı düşerken, karbonhidrat değerinde artış görülmüştür. Tuzluluğa adapte edilmiş mikroalgin fotosentez kapasitesi azalmış, ışık enerjisini kullanamamış ve bundan dolayı da stresli hücrelerin fotoinhibisyona uğramaları artmıştır. Tuz

stresine giren hücrelerde, büyüme oranının düştüğü ve bu nedenle büyüme oranında azalma olduğu görülmüştür (Vonshak, 1997).

Loseva *et al.*, 1998 yılında yaptıkları bir çalışmada sıcaklığın ve tuz oranının *Chlorella* hücreleri oranına etkisini inceledikleri çalışmalarında yüksek sıcaklık (45°C) ve yüksek NaCl (450 µM) stres faktörleri uygulamalarından sonra *Chlorella* büyümesini incelemişlerdir. Bunun için, belirli aralıklarda yüksek sıcaklık ve yüksek NaCl uygulamaları yapılmış ve bu süreçten sonra tekrar normal koşullar sağlanarak, *Chlorella* hücrelerinin durumu gözlenmiştir. Böylelikle, canlının stres faktörlerine adaptasyon sürecinin uzunluğu ortaya çıkarılmıştır.

Jimenes *et al.*, 1999'ın yaptıkları araştırmada NaCl konsantrasyonunun *Dunaliella salina*'daki gliserol üretimine etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. 1M, 2M ve 3M NaCl konsantrasyonu içeren besi ortamları kullanılmış ve sonuçta hücre başına en yüksek gliserol veriminin 3M'de elde edildiği bulunmuştur.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Türlerin özellikleri ve sistematikteki yeri

Mikroalg türleri, Akva-tek Sürünleri Turizm San. ve Tic. Ltd. Şti işletmesinden temin edilen *Nannochloropsis oculata*, *Tetraselmis chuii*, *Dunaliella salina*, denizel *Chlorella sp.* türleri kullanılmıştır.

3.1.1 *Nannochloropsis oculata* mikroalg türünün özellikleri ve sistematikteki yeri

Hücreler, küçük ve küre şeklinde, 4-6 µm çapında olup, flagella taşımazlar. Kloroplast, hücrenin neredeyse tümünü kapsar. Yüksek oranda B12 vitamini ve EPA (20:5 ω-3, Eikosapentaneoik asit) içerdiğinden dolayı rotifer (*Brachionus plicatilis*), tuzlu su karidesi (*Artemia salina*) ve benzeri süzerek beslenen organizmaların yetiştiriciliğinde yaygın olarak kullanılan bir alg türüdür (Okauchi, 1991; Hoff and Snell, 1997). (Şekil 3.1)

Sistematik;

Alem: Chromalveolata

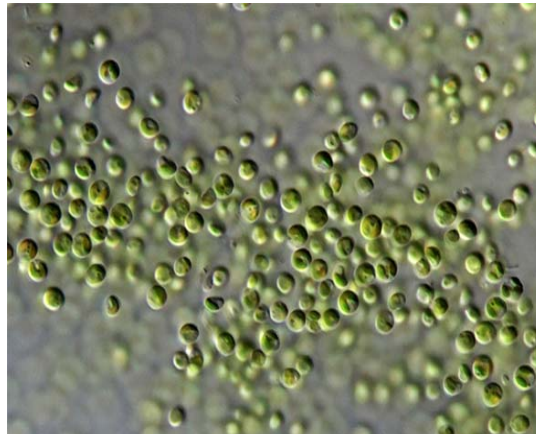
Bölüm: Heterokontophyta

Sınıf: Eustigmatophyceae

Aile: Eustigmataceae

Cins: *Nannochloropsis*

Tür: *Nannochloropsis oculata* (Hibberd, 1981)



Şekil 3.1 *Nannochloropsis oculata* genel görünüşü (www.sbae-industries.com).

3.1.2 *Tetraselmis chuii* mikroalg türünün özellikleri ve sistematikteki yeri

Yeşil, kamçılı, hareketli denizel bir mikroalgdır (Şekil 3.2). Genellikle 10 µm uzunluğunda, 14 µm genişliğindedir. Çok yüksek yağ seviyesine sahiptir. (Live food aquaculture training course, 2014).

Sistematik;

Alem: Plantae

Bölüm: Chlorophyta

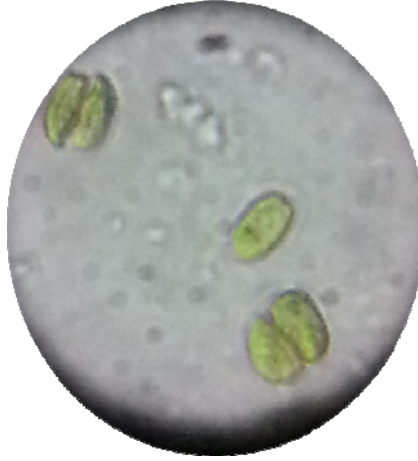
Sınıf: Chlorophyceae

Ordo: Volvocales

Aile: Chlamydomonadaceae

Cins: *Tetraselmis*

Tür: *T.chuii* (Butcher, 1959)



Şekil 3.2 *Tetraselmis chuii*'nin denemeler sırasında mikroskop altındaki görünümü.

3.1.3 *Dunaliella salina* mikroalg türünün özellikleri ve sistematikteki yeri

D. salina (Chlorophyceae) hücreler 9-16 x 5-9 µm büyüklüğünde, dairesel ve elipsoidal yapıda lateralinden ve dipten basılmış hücreler görünümündedir. İki adet kamçıya sahiptir, kamçı ya hücre uzunluğu kadar ya da daha kısadır (Koray, 2002). Donma noktasının altındaki sıcaklık derecelerinden 45°C'ye kadar olan geniş bir aralıktaki sıcaklıklara tolerans gösterme yeteneğindedir (Gordillo *et al.*, 2001). 1-2 M NaCl içeren ortamlarda optimal büyüme gösterir (Ben-Amotz and Avron, 1981). Ayrıca doygunluk sınırına kadar olan yüksek tuz konsantrasyonlarında da iyi büyüme gösterir (Şekil 3.3).

Sistematik;

Alem: Plantae

Bölüm: Chlorophyta

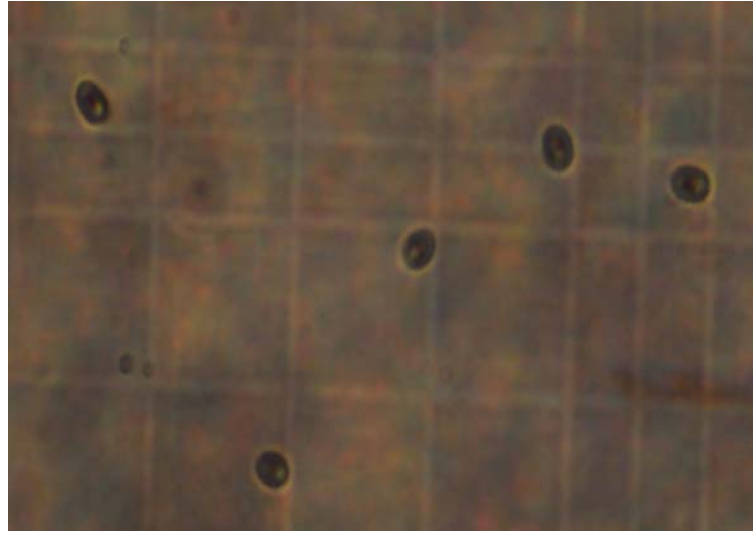
Sınıf: Chlorophyceae

Ordo: Volvocales

Aile: Dunaliellaceae

Cins: *Dunaliella*

Tür: *D. Salina* (Teodoresco, 1904)



Şekil 3.3 *Dunaliella salina* 'nın denemeler sırasında mikroskop altındaki görünümü.

3.1.4 *Chlorella* sp. mikroalg türünün özellikleri ve sistematikteki yeri

Chlorella yeşil algler grubunda yer alır, 2-8 mikrometre boyutundadır. Küre ya da elips biçimindedirler. Kloroplastlar kase görünümündedir. (Şekil 3.4). *Chlorella* tek hücreli, yeşil bir su yosunudur. Hem tatlı su, hem denizel türleri bulunmaktadır. Vitamin, protein, mineral, aminoasitler, nükleik asitler (RNA, DNA), temel yağ asitleri, enzimler ve karotenoidlerin yoğun bir kaynağıdır.

Sistematik;

Alem: Plantae

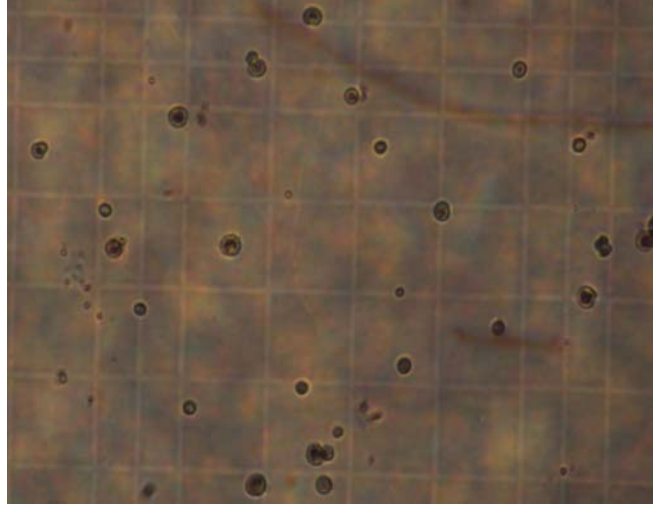
Bölüm: Chlorophyta

Sınıf: Chlorophyceae

Takım: Chlorococcales

Familya: Chlorellaceae

Tür: *Chlorella* sp. (Beijerinck, 1890)



Şekil 3.4 *Chlorella* sp.'nin denemeler sırasında mikroskop altındaki görünümü.

3.2 Kùltür Ortamı ve Deney Düzenegi

Deneme Ege Üniversitesi Su Ürünleri Urla Tesisleri Plankton Laboratuvarında sürdürölmüştür. Çalışma süresince laboratuvar sıcaklığı, bir klima ile $22\pm2^{\circ}\text{C}$ 'ye ayarlanmıştır. Deneme üç tekrarlı olarak gerçekleştirilmiş ve hücrelerin ortamda homojenize dağılarak, ışıktan eşit yararlanmaları ve hücrelerin çökmesini engellemek için sürekli havalandırma (24h) ile kültürlerin karıştırılması sağlanmıştır. pH 7-8 olarak ayarlanmış ve havalandırmada CO_2 ilavesi yapılmamıştır.

Denemede kültürlerin büyümesi için, kültür ortamı olarak f/2 besin ortamı (Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2) kullanılmış, hazırlanan stok solüsyonlar, kültür ortamları, kullanılan erlenler ve diğer malzemeler otoklavda 121°C 'de 20 dk. bekletilerek steril hale getirilmiştir.

Çizelge 3.1 F/2 Besin ortamı (Guillard and Ryther 1962; Guillard, 1975)

Miktar	Eklenen Madde	Stok solusyon	Molar Konsantrasyon
1 mL	NaNO_3	75g L^{-1}	$8.82 \times 10^{-4} \text{ ML}^{-1}$
1 mL	NaH_2PO_4	0.5 mg L^{-1}	$3.63 \times 10^{-5} \text{ ML}^{-1}$
1 mL	f/2 metal solusyonu	Tablo 2	

Çizelge 3.2. F/2 ortamnda kullanılan metal solüsyonu.

$\text{FeCl}_3.6\text{H}_2\text{O}$	3.15 g
$\text{Na}_2\text{EDTA}. 2 \text{ H}_2\text{O}$	4.36 g
$\text{CuSO}_4. 5 \text{ H}_2\text{O}$	0.0098 g
$\text{Na}_2\text{MoO}_4.2 \text{ H}_2\text{O}$	0.0063 g
$\text{ZnSO}_4.7 \text{ H}_2\text{O}$	0.022 g
$\text{CoCl}_2.6 \text{ H}_2\text{O}$	0.01 g
$\text{MnCl}_2.4 \text{ H}_2\text{O}$	0.18 g

Denemede kullanılan hava motoru, ışık ve tuzluluk ölçer cihazları ile stok kültürler Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 3.5 Denemede kullanılan bazı alet ve stok kültürler a) Havalandırma motoru (Atman HP 12000) b) Stok kültürler c) Işık ölçer cihazı (Cem DT-1301) d) Refraktometre (Greiner).

3.2.1 Tuzluluk denemesi

3.2.1.1 *Nannochloropsis oculata* mikroalg türü için deney düzeneği

Nannochloropsis oculata kültürleri için 250 ml'lik erlenler kullanılmıştır. Denemede, 134 lüks ışık şiddetinde sürekli aydınlatma sağlanmıştır. %20, %30, %35 ve %40 tuzlulukta 250 ml'lik toplam 12 adet erlenmayer ile %25, %33 ve %38 tuzlulukta olmak üzere 250 ml'lik toplam 9 adet erlenmayer karışım hacı metoduna göre hazırlanmıştır. Denemede kullanılan deney düzeneklerinin genel görüntüsü Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 3.6. *Nannochloropsis oculata* için çalışmada kullanılan deney düzeneklerinin genel görüntüsü a) %20, %30, %35 ve %40 tuzluluklarda kurulan deney düzeneği b) %25, %33 ve %38 tuzluluklarda kurulan deney düzeneği.

3.2.1.2 *Tetraselmis chuii* mikroalg türü için deney düzeneği

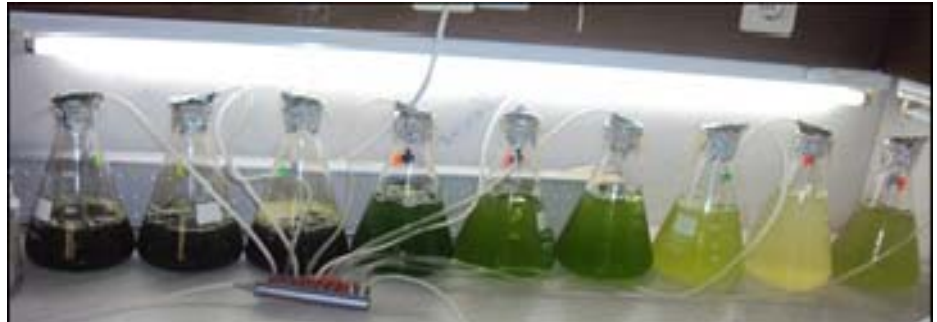
Tetraselmis chuii kültürleri için 1 lt'lik erlenmayer kullanılmıştır. %20, %30 ve %40 tuzlulukta 9 adet erlenmayer hazırlanmıştır (Şekil 3.7). Denemede, 468 lüx ışık şiddetinde sürekli aydınlatma sağlanmıştır.



Şekil 3.7. *Tetraselmis chuii* için çalışmada kullanılan deney düzeneğinin genel görüntüsü.

3.2.1.3 *Dunaliella salina* mikroalg türü için deney düzeneği

Dunaliella salina kültürleri için 1 lt'lik erlenmayer kullanılmıştır. Denemede, 616 lüx ışık şiddetinde sürekli aydınlatma sağlanmıştır. NaCl kullanılarak %40, %80 ve %150 tuzlulukta 9 adet erlenmayer hazırlanmıştır. (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 *Dunaliella salina* için çalışmada kullanılan deney düzeneğinin genel görüntüsü.

3.2.2 Işık denemesi düzeneği

Yapılan çalışmada, *Nannochloropsis oculata*, *Tetraselmis chuii*, *Dunaliella salina*, denizel *Chlorella sp.* mikroalg türleri kullanılmıştır. Kültürlerin aydınlatılması, floresan lamba, sarı led, beyaz led, mavi- kırmızı led ve ekonomik ampul ışık düzenekleri kullanılarak yapılmış ve sürekli aydınlatma sağlanmıştır. Deneme üç tekrarlı olarak gerçekleştirilmiş ve ‰ 40 tuzluluktaki deniz suyunda çoğaltılan kültürlerde 500 ml'lik erlenler kullanılmıştır. Türlerin aydınlatılmasında; 18W gücünde 886,6 lüks ışık şiddetinde 1 adet floresan lamba (TL- D 18 W/54-765), 543,3 lüks ışık şiddetinde 5 adet sarı led şerit, 783,3 lüks ışık şiddetinde 5 adet beyaz led şerit, 66,6 lüks ışık şiddetinde 3 adet kırmızı- mavi led şerit, 15 W gücünde 3316,6 lüks ışık şiddetinde 1 adet ekonomik ampul (FLE15TBXT3/865 10Y, Çin) kullanılmış ve 24 saat aydınlatma uygulanmış, pH 7-8 olarak ayarlanmıştır. Denemede kullanılan kültür dolabı farklı renkteki ışıkları geçirmeyecek şekilde düzenlenmiştir. Denemede kullanılan ışık sistemi ve deney düzeneğinin genel görüntüsü Şekil. 3.9 ve 3.10'da gösterilmiştir.

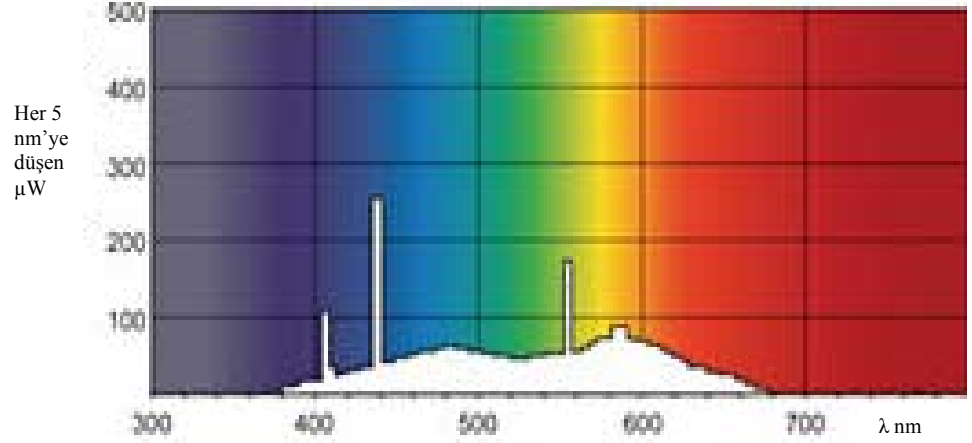


Şekil 3.9 Denemede kullanılan ışık sistemi.

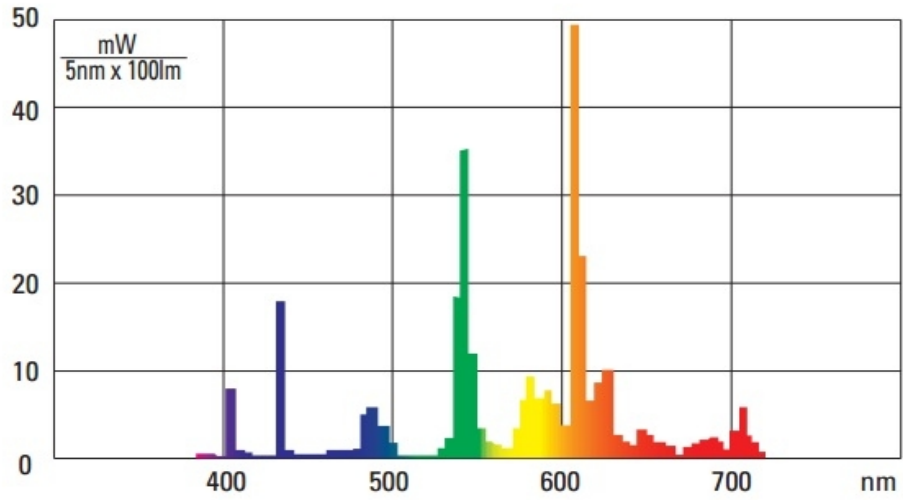


Şekil 3.10 Işık çalışmasında kullanılan deney düzeneği genel görüntüsü.

Denemede kullanılan floresan lamba ve ekonomik ampul'un ışık renk skalası, floresan için en fazla, 440, 560 ve 600 nm'de ekonomik ampul için en fazla, 400, 440, 500, 540, 600 ve 700 nm arasındadır ve Şekil 3.11'de gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 3.11 Çalışmada kullanılan floresan lamba ve ekonomik ampul'un ışık renk skalası a) Floresan lamba ışık renk skalası (www.philips.com/lighting, 2014) b) Ekonomik ampul ışık renk skalası (www.gelighting.com, 2014).

3.3 Analitik Ölçümler

3.3.1 Hücre sayımı

Hücre sayımı, ışık mikroskobu kullanılarak, *Nannochloropsis oculata* hücrelerinin sayımı Neubauer tip hemositometre, *Tetraselmis chuii*, *Dunaliella salina* ve *Chlorella sp.* hücrelerinin sayımı ise Thoma tip hemasitometre ile yapılmış, her bir kültürden alınan ikişer örnek sayılarak bulunan değerlerin aritmetik ortalaması alınmıştır. Sayım lamaları, örnek doldurulmadan önce iyice temizlenmiş ve kurutulmuş, daha sonra, örneklerin sayımı yapılarak, gerekli hesaplamalarla hücre sayısı tespit edilmiştir (Cirik ve Gökpınar, 2006).

3.3.2 Optik yoğunluk

Kültür kaplarından deney tüplerine alınan örnekler, deniz suyu ile kalibre edilen spektrofotometrede, 680 nm dalga boyunda ölçümü ile optik yoğunluk belirlenmiştir (Şekil 3.12). Kültür yoğunluğu arttığı anda, 1 ml örneğe 9 ml deniz suyu ile seyreltme uygulanmıştır.



Şekil 3.12 Çalışma sırasında kullanılan spektrofotometre ve deney tüpleri.

3.3.3 Kuru madde analizi

Kuru madde miktarlarının saptanması için, her erlenden 5 ml örnek alınmıştır. 47 mm çaplı 0,45 µm göz açıklığındaki Whatman GF/C filtre kağıtlarının hassas terazide ağırlıkları alınmış, süzme düzeneği ve bir su trombu kullanılarak oluşturulan vakum yardımıyla hücreler ortamdan ayrılarak yoğunlaştırılmıştır. Petri kapları içerisinde önceden 105°C'ye getirilen etüvde 3-4 saat tutulmuştur. Bu süre sonunda, petri kapları bir desikatöre konularak, oda sıcaklığına kadar soğumaları sağlanmış ve daha sonra hassas terazide tartımları yapılmıştır. Örnekler kuru iken yapılan tartım sonucu elde edilen rakamdan, filtre kağıdı ağırlıkları çıkarılarak kuru madde miktarı hesaplanmıştır (Vonshak, 1997).

3.3.4 Klorofil a ve beta karoten miktarı

Klorofil-a ve beta-karoten spektrofotometrik yöntemle göre, hücreler durgunluk fazına girerken, aşağıda belirtildiği gibi yapılmıştır. 5 ml örnek tüplere alınarak, santrifüjde çöktürme işlemi yapılmış, ardından üzerinde kalan fazla su dökülmüştür. Üzerine 5 ml aseton ya da metanol ile muamele edildikten sonra, cam tozu ilave edilerek, hücreler mekanik karıştırıcı ile 3-5 dakika süre ile homojenize edilmiştir. Elde edilen örnek, 50-60°C suyun içerisinde 5 dk süre ile bekletilmiş, ardından vortex yardımıyla 15 sn karıştırma işlemi yapılmıştır. Elde edilen ekstrat tekrar santrifüj ile ayrılmıştır. Santrifüjden çıkan örneklerin üzerinde kalan sıvı, spektrofotometrede 666 nm ve 475 nm dalga boyunda okunmuş, aşağıda verilen formül ile klorofil a ve beta-karoten miktarı tespit edilmiştir.

Klorofil a ($\mu\text{g/ml}$) = $13,9 A_{666}$ (Sanchez *et al.*, 2005)

A_{666} 666 nm okunan absorbans (soğurma) değeri

Karoten ($\mu\text{g/ml}$) = $4,5 A_{475}$ (Zou and Richmond, 2000)

A_{475} 475 nm okunan absorbans değeri

Beta karoten ve klorofil a analizinde kullanılan alet ve malzemeler Şekil 3.13'te gösterilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.13 Klorofil a ve beta karoten analizinde kullanılan alet ve malzemeler a) Santrifüj (elektro mag M 615 P) b) Vorteks (Heidolph REAX) c) Mekanik karıştırıcı (DISPERGIERSTATION T 8.10 IKALABORTECHNIK).

3.3.5 İstatistiksel analiz

Verilerin istatistik analizi için Windows Versiyon 12 SPSS programı kullanılmış ve tüm veriler ortalama±standart sapma şeklinde ifade edilmiştir

(Özdamar, 2004). Verilerin parametrik test varsayımlarını gerçekleştirdiğinden parametrik olmayan testlerden Duncan testi ile analiz edilerek, ters dönüşüm, logaritmik dönüşüm ya da Kruskal Wallis kullanılarak, P değerinin 0,05 ve 0,05 den küçük bulunduğu değerler istatistiksel açıdan farklı olarak kabul edilmiştir.

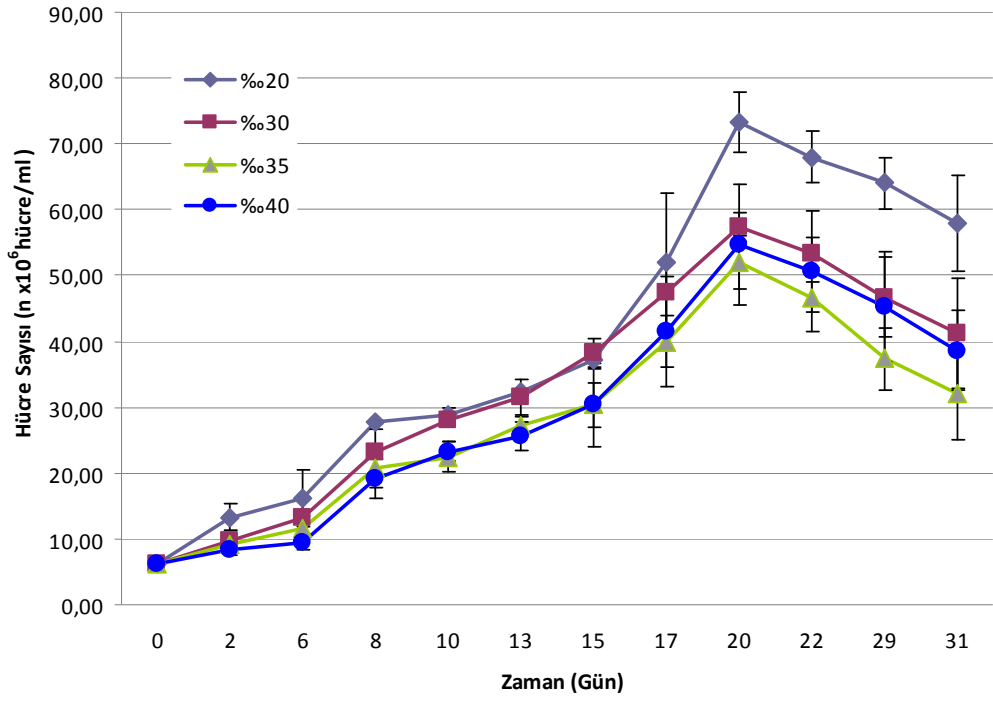
4. BULGULAR

4.1 Tuzluluk denemesi bulguları

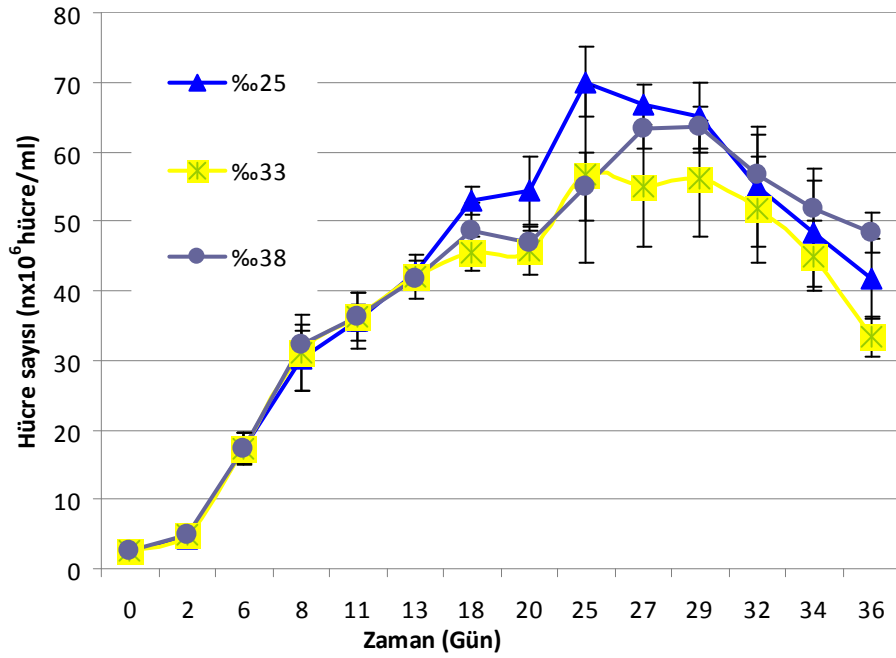
4.1.1 *Nannochloropsis oculata* mikroalg türü için bulgular

4.1.1.1 *Nannochloropsis oculata* türünün zamana bağlı hücre sayısı değişimleri

Nannochloropsis oculata türünün deneme 1'deki farklı tuzluluk derişimlerinde (%20, %30, %35, %40) hücre sayıları tespit edilmiştir. Hücre sayıları değişimine bakıldığı zaman, 0. günde $6,08 \times 10^6$ hücre/ml olan hücre sayısı 20. güne kadar kademeli olarak artmış, %20 tuzlulukta $73,33 \times 10^6$ hücre/ml'ye, %30 tuzlulukta $57,47 \times 10^6$ hücre/ml'ye, %35 tuzlulukta 52×10^6 hücre/ml'ye, %40 tuzlulukta $54,67 \times 10^6$ hücre/ml'ye kadar ulaşmıştır. *Nannochloropsis oculata* türünün deneme 2'deki farklı tuzluluk derişimlerinde (%25, %33, %38) hücre sayıları tespit edilmiştir. Hücre sayıları değişimine bakıldığı zaman, 0. günde $2,56 \times 10^6$ hücre/ml olan hücre sayısı, 20. güne kadar kademeli olarak artmış %25 tuzlulukta $54,33 \times 10^6$ hücre/ml'ye %33 tuzlulukta $45,72 \times 10^6$ hücre/ml'ye %38 tuzlulukta 47×10^6 hücre/ml'ye kadar ulaşmış, daha sonra hücre sayıları kademeli olarak azalmaya başlamıştır. En yüksek hücre sayısı %20 tuzlulukta ayarlanmış kültür ortamında tespit edilmiştir (Şekil 4.1), (Şekil 4.2). Hücre sayısı bakımından, gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık olmadığı tespit edilmiştir ($P > 0,05$).



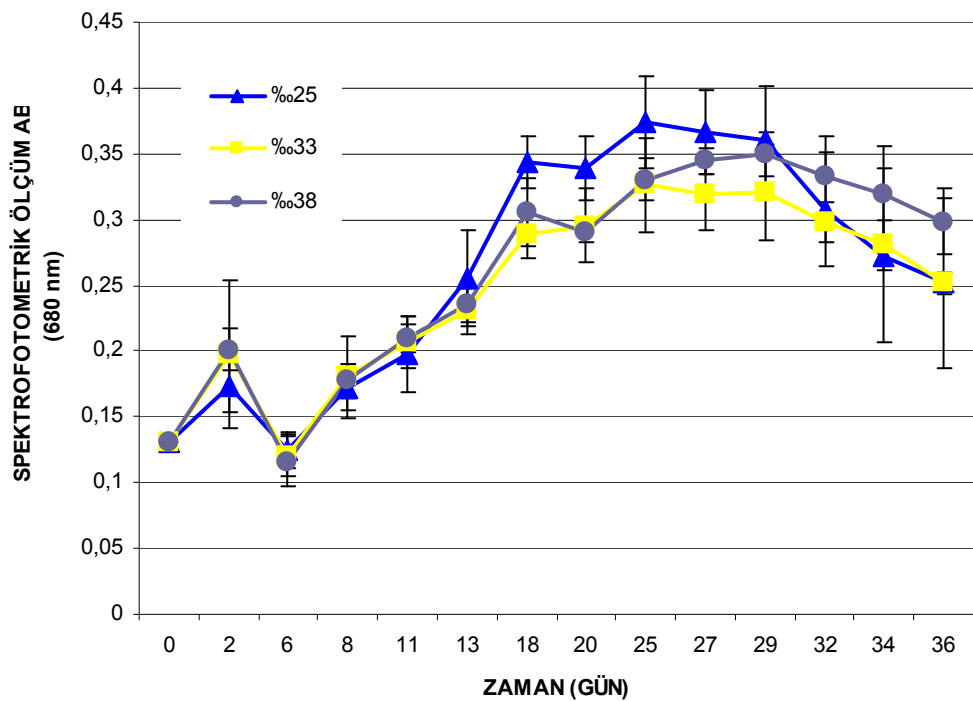
Şekil 4.1 *Nannochloropsis oculata* türünün deneme 1'deki farklı tuzluluk derişimlerinde ortalama hücre sayıları ($\times 10^6$ hücre/ml).



Şekil 4.2 *Nannochloropsis oculata* türünün deneme 2'deki farklı tuzluluk derişimlerinde ortalama hücre sayıları ($\times 10^6$ hücre/ml).

4.1.1.2 *Nannochloropsis oculata* türünün zamana bağlı optik yoğunluk değişimi

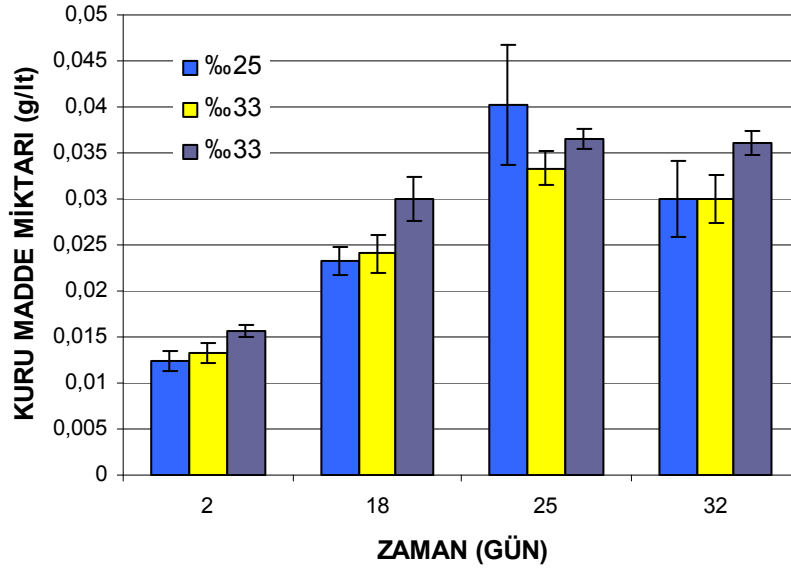
Farklı tuzluluk derişimlerinde *Nannochloropsis oculata*'ın büyüme özellikleri araştırıldı. Optik yoğunluk değişimlerine bakıldığı zaman 20. güne kadar optik yoğunlukta artış meydana geldi (Şekil 3.3). Optik yoğunluk açısından, gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık olmadığı tespit edilmiştir ($P>0,05$).



Şekil 4.3 *Nannochloropsis oculata* türünün deneme süresince farklı tuzluluk derişimlerinde optik yoğunluk değişim grafiği (680 nm).

4.1.1.3 *Nannochloropsis oculata* türünün zamana bağlı kuru madde miktarı değişimleri

Nannochloropsis oculata'nın farklı tuzluluklardaki kuru madde miktarı değişimine baktığımızda en fazla, %25 tuzluluk derişimine sahip kültürlerde elde edilmiştir (Şekil 4.4). Kuru madde miktarı açısından, gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık olmadığı tespit edilmiştir ($P>0,05$).

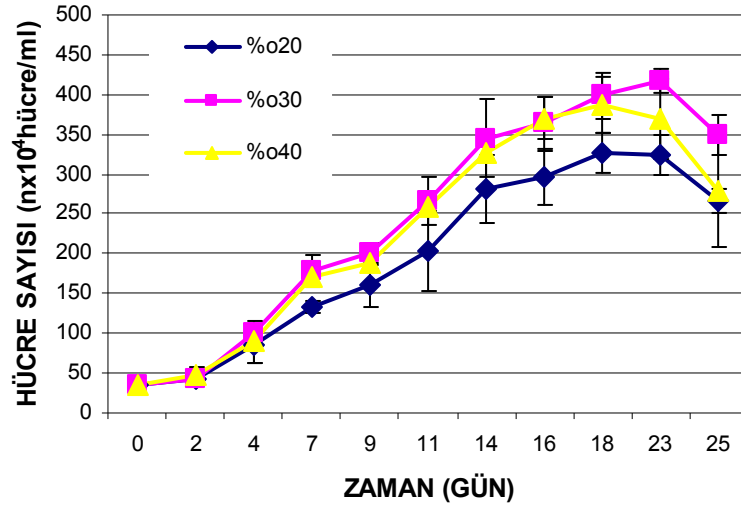


Şekil 4.4 *Nannochloropsis oculata* mikroalg türünün farklı tuzluluk derişimlerinde zamana bağı kuru madde miktarı (g/lt) değışimleri.

4.1.2 *Tetraselmis chuii* mikroalg türü için bulgular

4.1.2.1 *Tetraselmis chuii* türünün zamana bağı hücre sayısı değışimleri

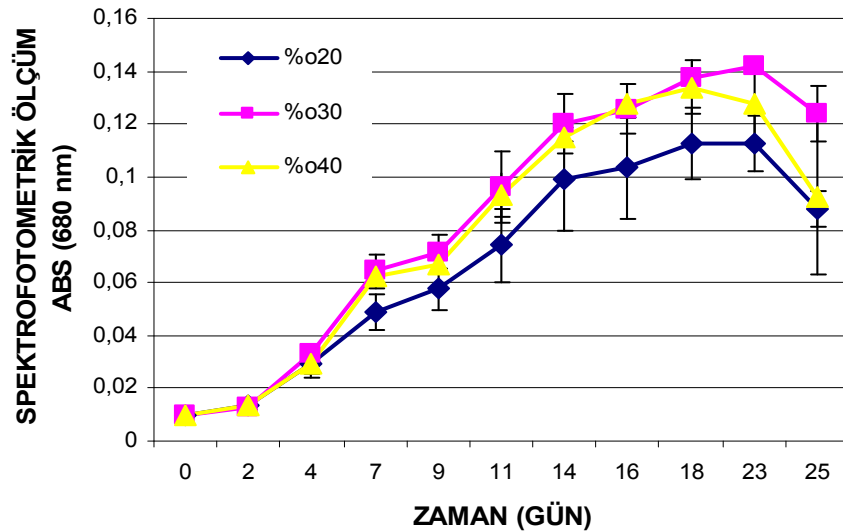
Tetraselmis chuii türünün %20, %30 ve %40 tuzluluk derişimlerinde, hücre sayıları tespit edilmiştir. Hücre sayıları değışimine bakıldığı zaman, 0. günde 35×10^4 hücre/ml olan hücre sayısı 18. güne kadar kademeli olarak artmış, %20 tuzlulukta 326×10^4 hücre/ml'ye, %30 tuzlulukta 398×10^4 hücre/ml'ye, %40 tuzlulukta 386×10^4 hücre/ml'ye kadar ulaşmış, daha sonra hücre sayıları kademeli olarak azalmaya başlamıştır. En yüksek hücre sayısı, %30 ve %40 tuzlulukta ayarlanmış kültür ortamlarında tespit edilmiştir (Şekil 4.5). Hücre sayısı bakımından, gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık olmadığı tespit edilmiştir ($P > 0,05$).



Şekil 4.5 *Tetraselmis chuii* mikroalg türünün farklı tuzluluk derişimlerindeki ortalama hücre sayıları ($\times 10^4$ hücre/ml).

4.1.2.2 *Tetraselmis chuii* türünün zamana bağı optik yoğunluk değışimi

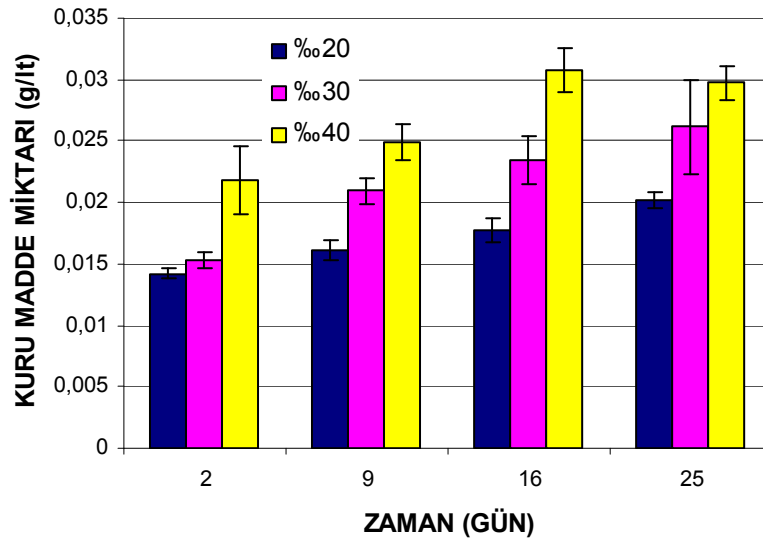
Tetraselmis chuii mikroalg türünün %20, %30 ve %40 tuzluluk derişimlerinde optik yoğunluk değışimlerine bakıldığı zaman 18. güne kadar optik yoğunlukta artış meydana geldi (Şekil 4.6). Optik yoğunluk açısından, gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık olmadığı tespit edilmiştir ($P>0,05$).



Şekil 4.6 *Tetraselmis chuii* mikroalg türünün farklı tuzluluk derişimlerindeki optik yoğunluk değışim grafiğı (680 nm).

4.1.2.3 *Tetraselmis chuii* türünün zamana bağlı kuru madde miktarı değişimleri.

Tetraselmis chuii'nin %20, %30 ve %40 tuzluluk derişimlerindeki kuru madde miktarı değişimine baktığımızda en fazla %40 tuzluluk derişimine sahip kültürlerde elde edilmiştir (Şekil 4.7). Kuru madde miktarı açısından, gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık olmadığı tespit edilmiştir ($P>0,05$).

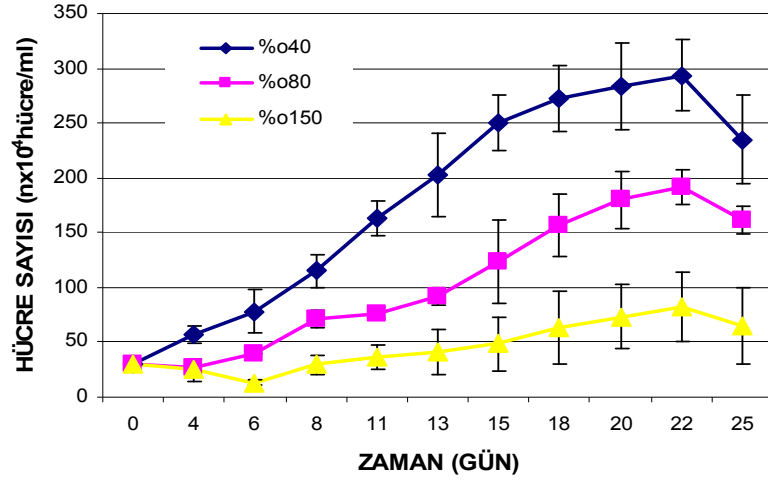


Şekil 4.7 *Tetraselmis chuii* mikroalg türünün farklı tuzluluk derişimlerindeki kuru madde miktarı değişim grafiği (g/lt).

4.1.3 *Dunaliella salina* mikroalg türü için bulgular

4.1.3.1 *Dunaliella salina* türünün zamana bağlı hücre sayısı değişimleri

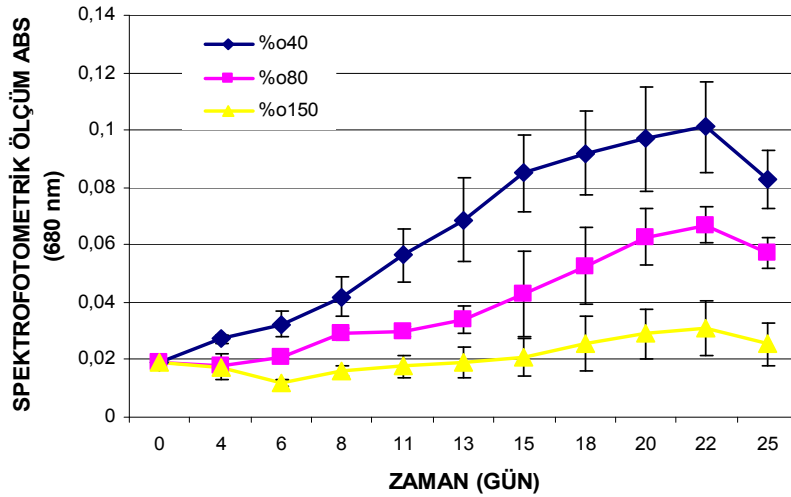
Dunaliella salina türünün %40, %80 ve %150 tuzluluk derişimlerinde hücre sayıları tespit edilmiş, hücre sayıları değişimine bakıldığı zaman, 0. günde 30×10^4 hücre/ml olan hücre sayısı 22. güne kadar kademeli olarak artmış, %40 tuzlulukta 293×10^4 hücre/ml'ye, %80 tuzlulukta 191×10^4 hücre/ml'ye, %150 tuzlulukta 81×10^4 hücre/ml'ye kadar ulaşmış, daha sonra hücre sayıları kademeli olarak azalmaya başlamıştır. En yüksek hücre sayısı %40 tuzlulukta ayarlanmış kültür ortamlarında tespit edilmiştir (Şekil 4.8). Duncan'a göre, hücre sayısı bakımından, gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık olduğu tespit edilmiştir ($P<0,05$). İstatistik analiz sonuçlarına göre en küçük %150, en büyük %40 tuzluluk derişimlerinde elde edilmiştir (Çizelge 4.1).



Şekil 4.8 *Dunaliella salina* mikroalg türünün farklı tuzluluk derişimlerindeki ortalama hücre sayıları ($\times 10^4$ hücre/ml).

4.1.3.2 *Dunaliella salina* türünün zamana bağı optik yoğunluk değışimi

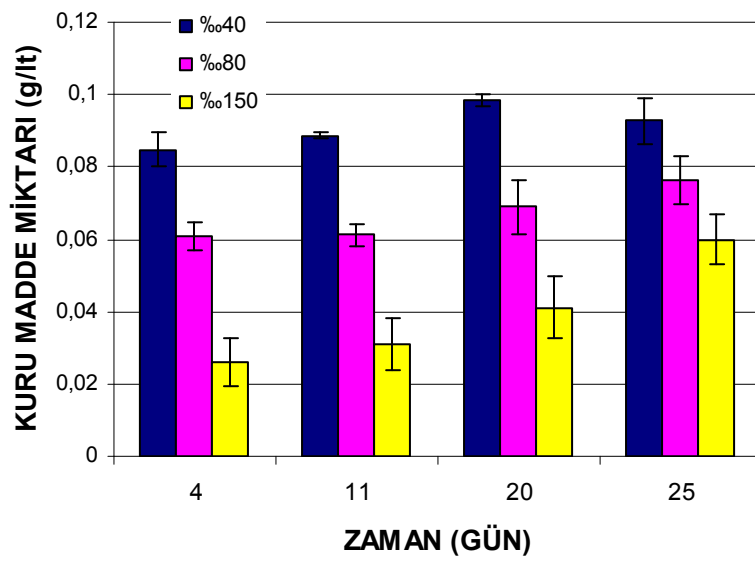
Dunaliella salina mikroalg türünün %40, %80 ve %150 tuzluluk derişimlerinde optik yoğunluk değışimlerine bakıldığı zaman 22. güne kadar optik yoğunlukta artış meydana gelmiştir (Şekil 4.9). Duncan'a göre, optik yoğunluk bakımından, gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık olduğu tespit edilmiştir ($P < 0,05$) (Çizelge 4.1).



Şekil 4.9 *Dunaliella salina* mikroalg türünün farklı tuzluluk derişimlerindeki optik yoğunluk değışim grafiğı (680 nm).

4.1.3.3 *Dunaliella salina* türünün zamana bağlı kuru madde miktarı değişimleri.

Dunaliella salina'nin ‰40, ‰80 ve ‰150 tuzluluk derişimlerindeki kuru madde miktarı değişimine baktığımızda en fazla ‰40 tuzluluk derişimine sahip kültürlerde elde edilmiştir (Şekil 4.10). Duncan'a göre, kuru madde miktarı bakımından, gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık olduğu tespit edilmiştir ($P<0,05$). İstatistik analiz sonuçlarına göre en küçük ‰150, en büyük ‰40 tuzluluk derişimlerinde elde edilmiştir (Çizelge 4.1).

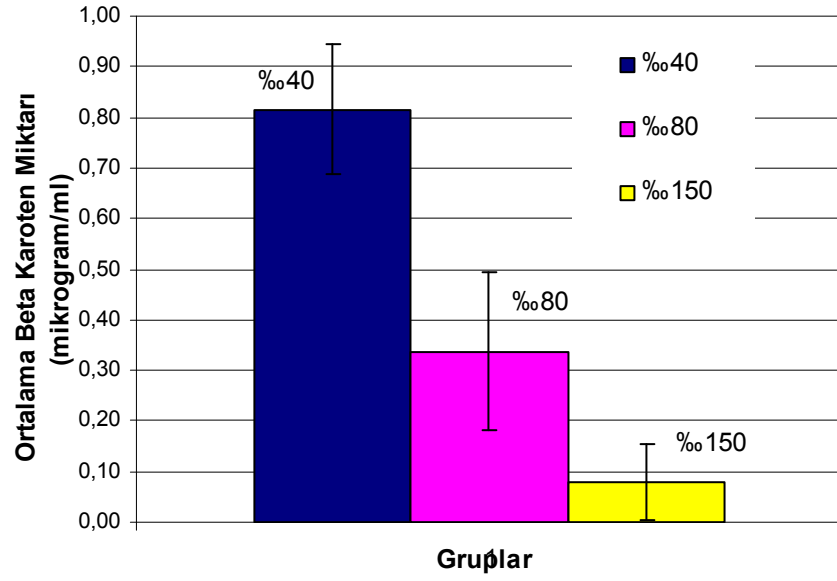


Şekil 4.10 *Dunaliella salina* mikroalg türünün farklı tuzluluk derişimlerindeki kuru madde miktarı değişim grafiği (g/lt).

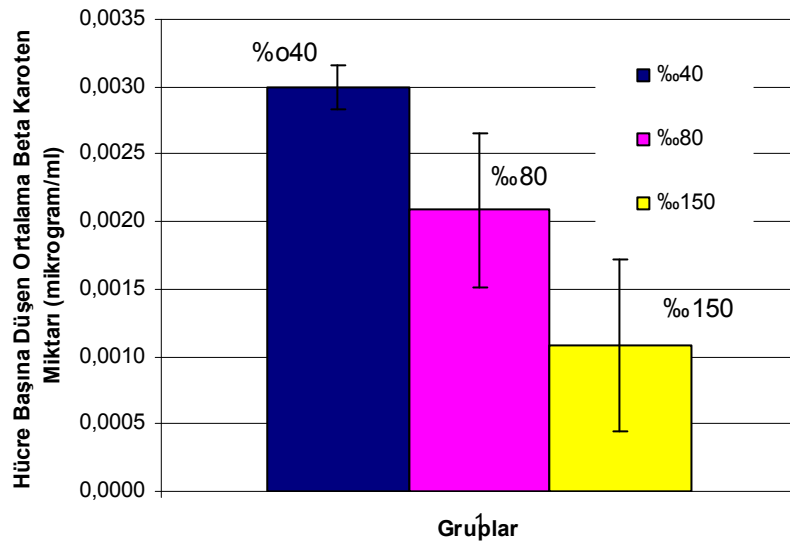
4.1.3.4 *Dunaliella salina* türünün zamana bağlı beta karoten miktarı değişimleri

‰40, ‰80 ve ‰150 tuzluluk derişimlerinde *Dunaliella salina* mikroalg türünün büyüme özellikleri araştırılmıştır. 18. günde beta karoten miktarı ve hücre başına düşen ortalama beta karoten miktarları ($\mu\text{g/ml}$) değişimlerine bakıldığı zaman, en fazla beta karoten miktarı $0,82 \mu\text{g/ml}$ ile ‰40 tuzluluk derişimine sahip kültürlerde elde edilmiştir. Hücre başına düşen beta karoten miktarı ise, en fazla $0,0030 \mu\text{g/ml}$ ile ‰40 tuzluluk derişimine sahip kültürlerde elde edilmiştir (Şekil 4.11) ve (Şekil 4.12). Duncan'a göre, beta karoten miktarı bakımından, gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık olduğu tespit edilmiştir ($P<0,05$).

İstatistik analiz sonuçlarına göre en fazla ‰40, en az ‰80 tuzluluk derişimlerinde elde edilmiştir (Çizelge 4.1).



Şekil 4.11 18. günde *Dunaliella salina* mikroalg türünün farklı tuzluluk derişimlerinde beta karoten miktarları (µg/ml) değişim grafiği.



Şekil 4.12 *Dunaliella salina* mikroalg türünün farklı tuzluluk derişimlerinde, 18. günde hücre başına düşen ortalama beta karoten miktarları (µg/ml) değişim grafiği.

Çizelge 4.1 Duncan'a göre, *Dunaliella salina* mikroalg türünün farklı tuzluluklardaki istatistiksel analiz sonuçları.

Değişkenler	X±S ‰40	X±S ‰80	X±S ‰150
Hücre sayısı	2,1631±1,000 ^c	1,9283±1,000 ^b	1,5842±1,000 ^a
Optik yoğunluk	21,2594±1,000 ^a	31,7394±1,000 ^b	52,9247±1,000 ^c
Kuru madde	0,0912±1,000 ^c	0,0668±1,000 ^b	0,0394±1,000 ^a
Beta karoten	0,8157±1,000 ^c	0,03375±1,000 ^b	0,804±1,000 ^a

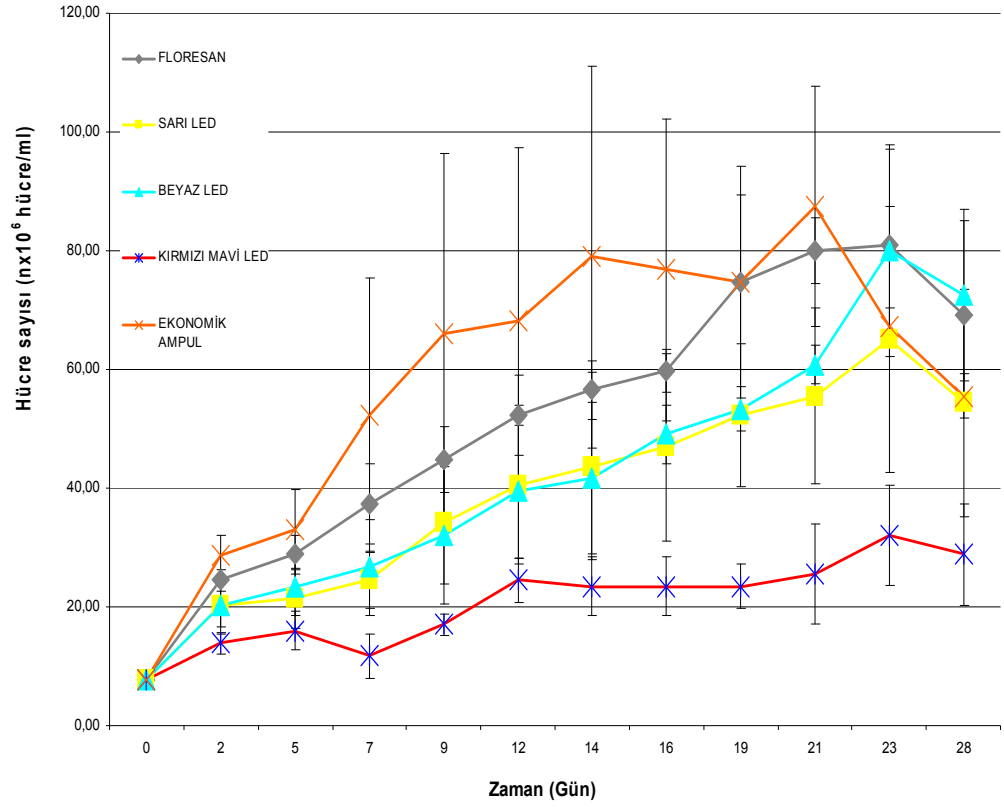
Not: ^{a, b, c} satırlar arasındaki istatistiksel yönden farklılıkları ifade etmektedir.

4.2 Işık Denemesi Bulguları

4.2.1 *Nannochloropsis oculata* mikroalg türü için bulgular

4.2.1.1 *Nannochloropsis oculata* türünün zamana bağlı hücre sayısı değişimleri

Nannochloropsis oculata türünün farklı ışık kaynaklarındaki (floresan lamba, sarı led, beyaz led, kırmızı-mavi led ve ekonomik ampul) hücre sayıları tespit edilmiştir. Hücre sayıları değişimine bakıldığı zaman, 0. Günde 8×10^6 hücre/ml olan hücre sayısı 21. güne kadar kademeli olarak artmış, floresan lambada 80×10^6 hücre/ml'ye, sarı led'te 55×10^6 hücre/ml'ye, beyaz led'te 61×10^6 hücre/ml'ye, mavi- kırmızı led'te 26×10^6 hücre/ml'ye, ekonomik ampulde ise 87×10^6 hücre/ml'ye kadar ulaşmıştır. En yüksek hücre sayısı, 21. günde 87×10^6 hücre/ml ile ekonomik ampulde ve 80×10^6 hücre/ml ile floresanda elde edilmiş iken, 23. günde en yüksek hücre sayısı 81×10^6 hücre/ml ile floresan ve 80×10^6 hücre/ml ile beyaz led şerit kullanılan sistemlerde tespit edilmiştir. En düşük hücre yoğunluğu, mavi-kırmızı renkte ışık yayan led şeritte olduğu tespit edilmiştir. (Şekil 4.13). Duncan'a göre, hücre sayısı bakımından, gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık olduğu tespit edilmiştir ($P < 0,05$). İstatistiksel analiz sonuçları küçükten büyüğe doğru sıralandığında, kırmızı mavi led, sarı ve beyaz led, floresan ve ekonomik ampuldür. (Çizelge 4.2).

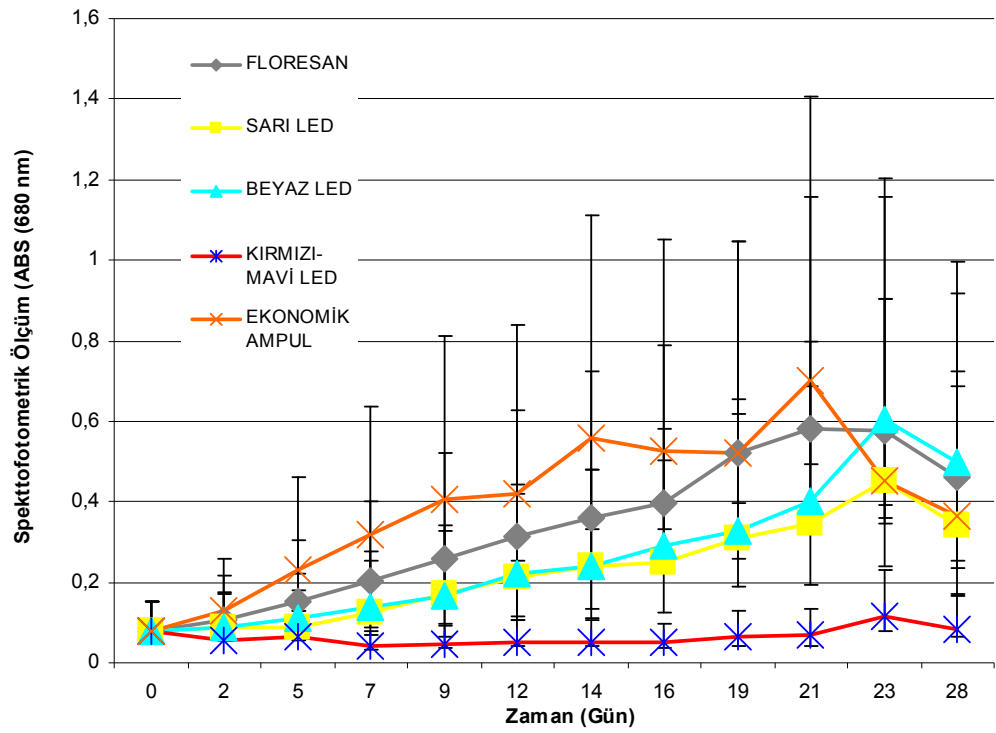


Şekil 4.13 *Nannochloropsis oculata* türünün farklı ışık kaynaklarındaki ortalama hücre sayıları ($\times 10^6$ hücre/ml).

4.2.1.2 *Nannochloropsis oculata* türünün zamana bağlı optik yoğunluk değişimi

Nannochloropsis oculata mikroalg türünün farklı ışık kaynaklarındaki (floresan lamba, sarı led, beyaz led, kırmızı-mavi led ve ekonomik ampul) optik yoğunluk değişimlerine bakıldığı zaman 21. güne kadar optik yoğunlukta artış meydana gelmiştir (Şekil 4.14).

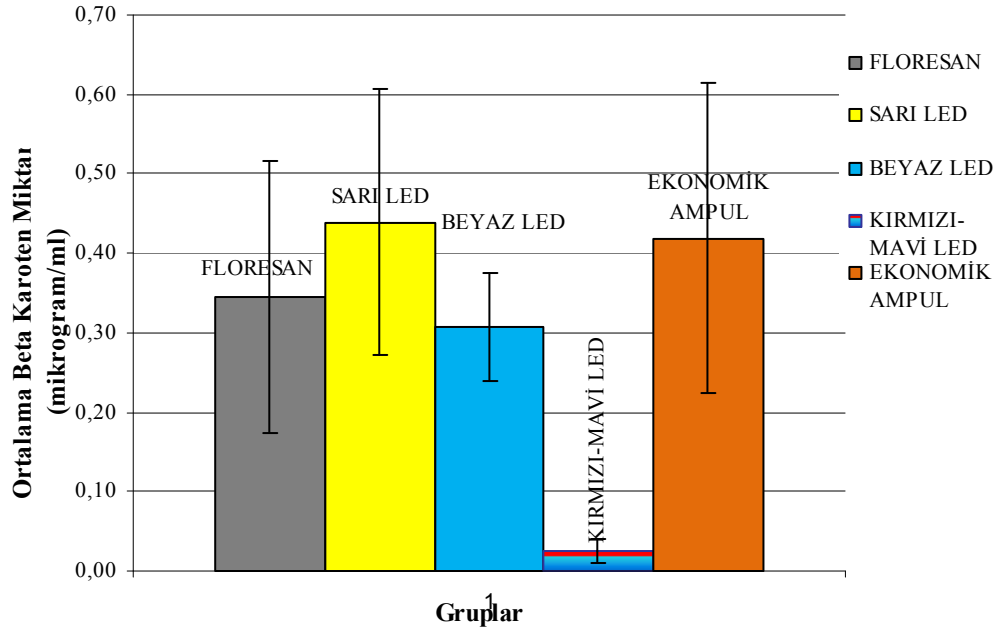
Duncan'a göre, optik yoğunluk bakımından, gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık olduğu tespit edilmiştir ($P < 0,05$) (Çizelge 4.2). İstatistiksel analiz sonuçlarına göre, en küçük kırmızı-mavi led, en büyük ekonomik ampul bulunmuştur.



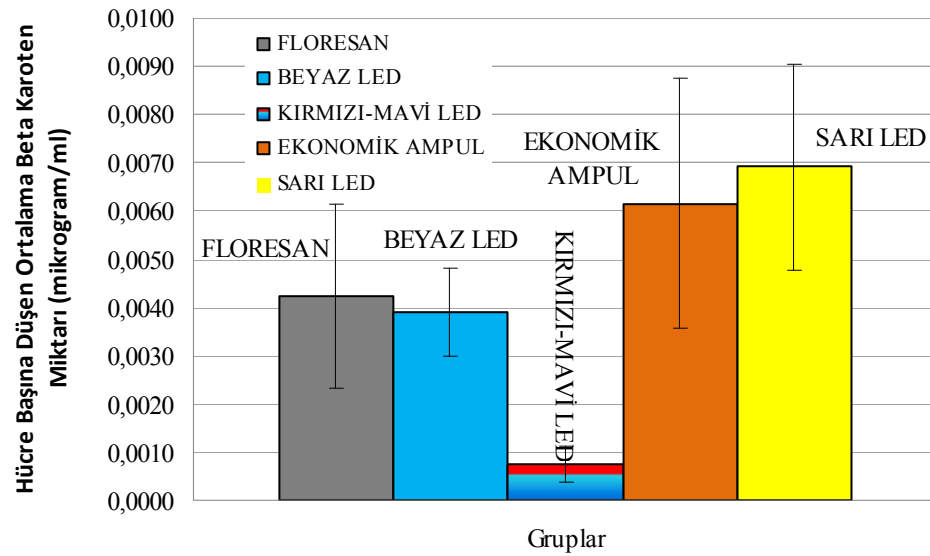
Şekil 4.14 *Nannochloropsis oculata* türünün deneme süresince farklı ışık kaynaklarındaki optik yoğunluk değişim grafiği (680 nm).

4.2.1.3 *Nannochloropsis oculata* türünün zamana bağlı beta karoten ve klorofil a miktarı değişimleri

Nannochloropsis oculata mikroalg türünün farklı ışık kaynaklarındaki (floresan lamba, sarı, beyaz ve mavi-kırmızı led, ekonomik ampul) büyüme özellikleri araştırılmıştır. 23. günde beta karoten miktarı ve hücre başına düşen ortalama beta karoten miktarları değişimlerine bakıldığı zaman, beta karoten miktarlarının en fazla sarı led ($0,44 \mu\text{g/ml}$) ve ekonomik ampul ($0,42 \mu\text{g/ml}$) kullanılan sistemde, en az mavi-kırmızı led ışık ($0,02 \mu\text{g/ml}$) kullanılan sistemde olduğu gözlemlenmiştir. Hücre başına düşen beta karoten miktarı ise en fazla, $0,0069 \mu\text{g/ml}$ ile sarı led ışık sistemi ile $0,0062 \mu\text{g/ml}$ ile ekonomik ampul kullanılan kültürlerde elde edilmiştir (Şekil 4.15) ve (Şekil 4.16). Duncan'a göre, beta karoten miktarı bakımından, gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık olduğu tespit edilmiştir ($P < 0,05$). İstatistiksel analiz sonuçlarına göre, beta karoten miktarı açısından en küçük kırmızı mavi led, diğerleri ondan büyük aynı bulunmuştur (Çizelge 4.2).



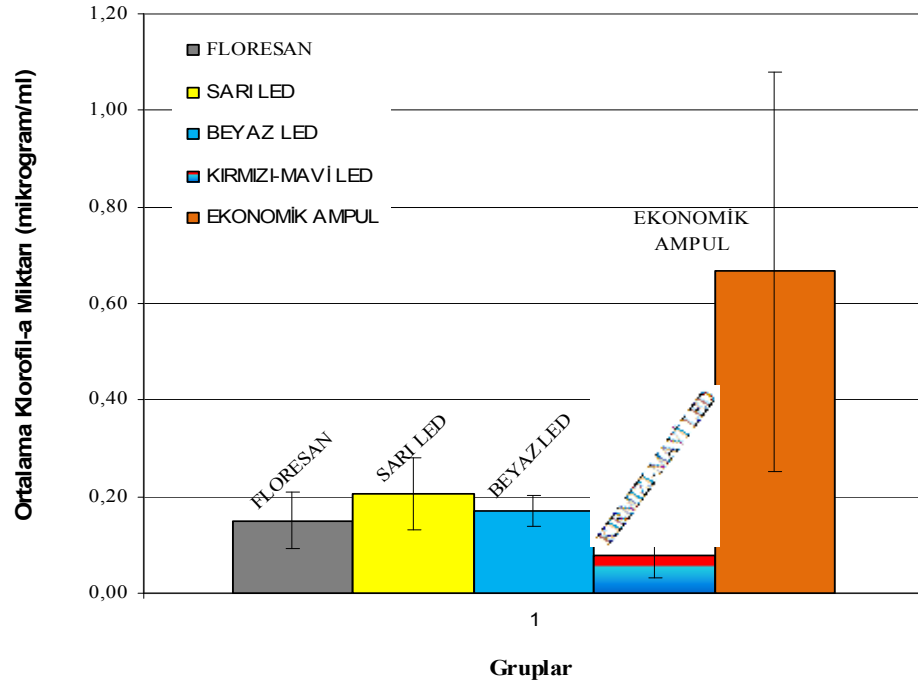
Şekil 4.15 *Nannochloropsis oculata* türünün farklı ışık kaynaklarında beta karoten miktarı değişim grafiği (µg/ml).



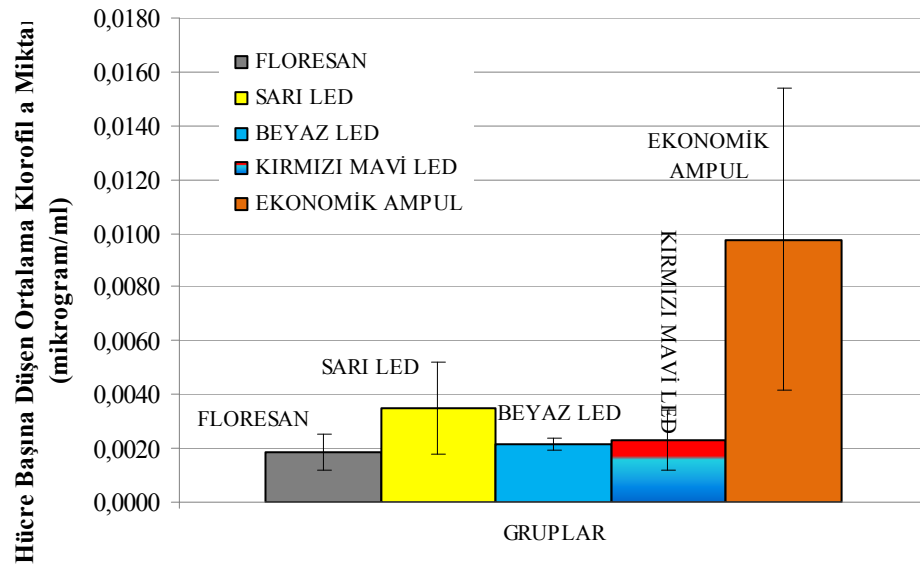
Şekil 4.16 *Nannochloropsis oculata* türünün 23. güne ait farklı ışık kaynaklarındaki hücre başına düşen ortalama beta karoten miktarları (µg/ml).

23. güne ait klorofil a miktarı ve hücre başına düşen ortalama klorofil a miktarları değişimlerine bakıldığı zaman, klorofil a miktarlarının en fazla ekonomik ampul (0,67 µg/ml) kullanılan sistemde, en az mavi-kırmızı led ışık (0,08 µg/ml) kullanılan sistemde olduğu gözlemlenmiştir. Hücre başına düşen klorofil a miktarı ise en fazla 0,0098 µg/ml ile ekonomik ampul kullanılan kültürlerde elde edilmiştir (Şekil 4.17) ve (Şekil 4.18). Duncan'a göre, klorofil a

bakımından, gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık olduğu tespit edilmiştir ($P<0,05$). Klorofil a miktarı açısından en küçük kırmızı-mavi led, en büyük ekonomik ampul bulunmuştur (Çizelge 4.2).



Şekil 4.17 *Nannochloropsis oculata* türünün farklı ışık kaynaklarında klorofil-a miktarı değişimi grafiği ($\mu\text{g/ml}$).



Şekil 4.18 *Nannochloropsis oculata* türünün 23. güne ait farklı ışık kaynaklarındaki hücre başına düşen ortalama klorofil a miktarları ($\mu\text{g/ml}$).

Çizelge 4.2 Duncan'a göre, *Nannochloropsis oculata* mikroalg türünün farklı ışık kaynaklarındaki istatistiksel analiz sonuçları.

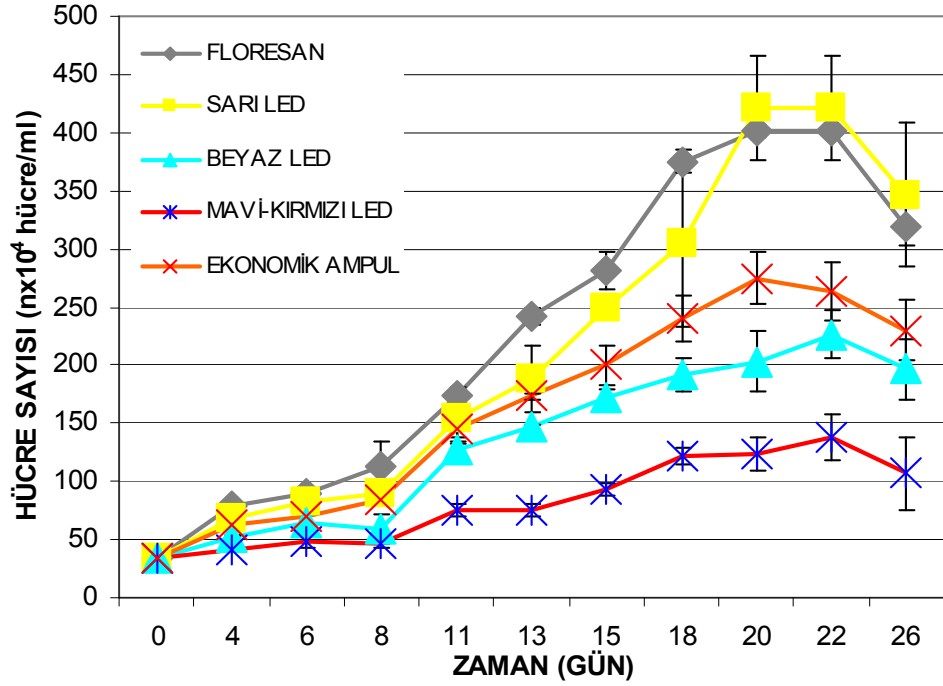
Değişkenler	X±S Floresan	X±S Sarı led	X±S Beyaz led	X±S Kırmızı mavi led	X±S Ekonomik ampul
Hücre sayısı	51,4111±0,75 ^{b,c}	38,8889±0,510 ^b	42,2667±0,510 ^b	20,6667±1,000 ^a	58,0772±0,194 ^c
Optik yoğunluk	0,3328±0,087 ^{c,d}	0,2246±,357 ^b	0,2628±0,087 ^{b,c}	0,0642±1,000 ^a	0,3920±0,160 ^d
Beta karoten	0,3450±0,315 ^b	0,4386±0,315 ^b	0,3075±0,315 ^b	0,249±1,000 ^a	0,4185±0,315 ^b
Klorofil a	-0,8438±0,072 ^{a,b}	-0,7066±0,443 ^b	-0,7733±0,443 ^b	-1,1735±0,72 ^a	0,2267±1,000 ^c

Not: ^{a, b, c, d} satırlar arasındaki istatistiksel yönden farklılıkları ifade etmektedir.

4.2.2 *Tetraselmis chuii* mikroalg türü için bulgular

4.2.2.1 *Tetraselmis chuii* türünün zamana bağlı hücre sayısı değişimleri

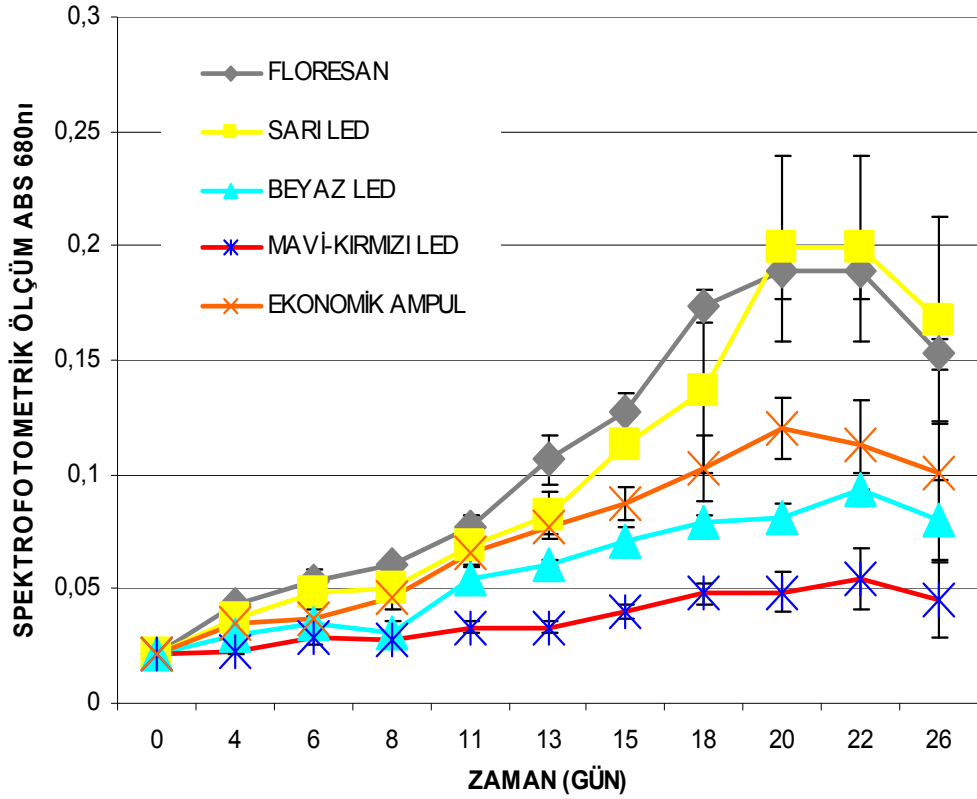
Tetraselmis chuii türünün farklı ışık kaynaklarındaki (floresan lamba, sarı led, beyaz led, kırmızı-mavi led ve ekonomik ampul) hücre sayıları tespit edilmiş ve hücre sayıları değişimine bakıldığı zaman, 0. günde $34,5 \times 10^4$ hücre/ml olan hücre sayısı 20. güne kadar kademeli olarak artmış, floresan lambada 401×10^4 hücre/ml'ye, sarı led'te 421×10^4 hücre/ml'ye, beyaz led'te 203×10^4 hücre/ml'ye, mavi- kırmızı led'te 123×10^4 hücre/ml'ye, ekonomik ampulde ise 275×10^4 hücre/ml'ye kadar ulaşmıştır. En yüksek hücre sayısı, floresan lamba ile sarı led ışık kullanılan sistemlerde tespit edilmiştir. En düşük hücre yoğunluğu, mavi-kırmızı renkte ışık yayan led şeritte olduğu tespit edilmiştir. (Şekil 4.19). Duncan'a göre, hücre sayısı bakımından, gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık olduğu tespit edilmiştir ($P < 0,05$). İstatistik analiz sonuçlarına göre, floresan ve sarı led ile kırmızı-mavi led ve ekonomik ampul aynı diğerleri birbirinden farklı bulunmuştur (Çizelge 4.3).



Şekil 4.19 *Tetraselmis chuii* mikroalg türünün farklı ışık kaynaklarındaki ortalama hücre sayıları ($\times 10^4$ hücre/ml).

4.2.2.2 *Tetraselmis chuii* türünün zamana bağlı optik yoğunluk değişimi

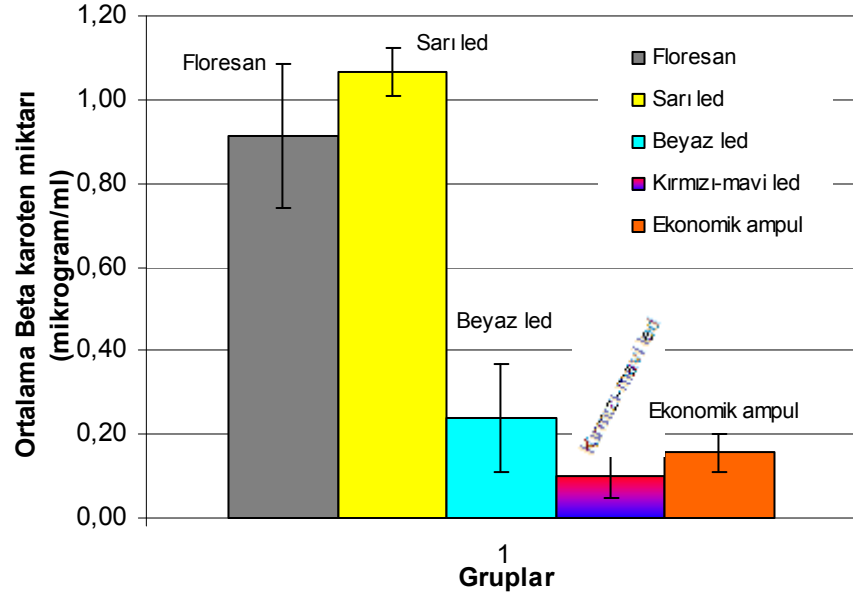
Tetraselmis chuii mikroalg türünün farklı ışık kaynaklarındaki (floresan lamba, sarı led, beyaz led, kırmızı-mavi led ve ekonomik ampul) optik yoğunluk değişimlerine bakıldığı zaman 20. güne kadar optik yoğunlukta artış meydana geldi (Şekil 4.20). Duncan'a göre, optik yoğunluk bakımından, gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık vardır ($P < 0,05$). İstatistik analiz sonuçlarına göre, floresan, sarı led ve ekonomik ampul aynı, diğerleri birbirinden farklı bulunmuştur (Çizelge 4.3).



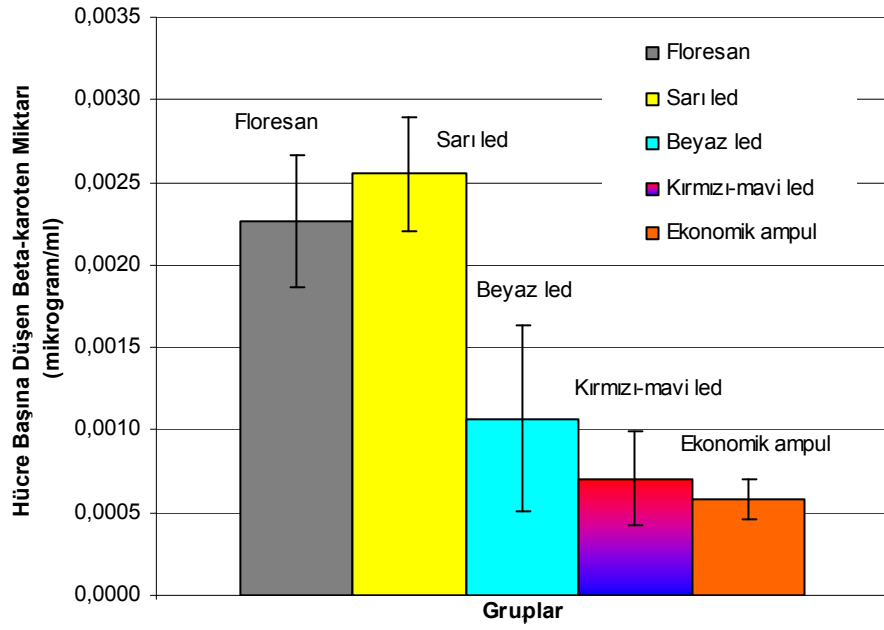
Şekil 4.20 *Tetraselmis chuii* mikroalg türünün deneme süresince farklı ışık kaynaklarındaki optik yoğunluk değişim grafiği (680 nm).

4.2.2.3 *Tetraselmis chuii* türünün zamana bağlı beta karoten miktarı değişimleri

Tetraselmis chuii mikroalg türünün farklı ışık kaynaklarındaki (floresan lamba, sarı, beyaz ve mavi-kırmızı led, ekonomik ampul) büyüme özellikleri araştırıldı. 22. günde beta karoten miktarı ve hücre başına düşen ortalama beta karoten miktarları değişimlerine bakıldığı zaman, beta karoten miktarlarının en fazla sarı led ışık (1,07 $\mu\text{g/ml}$) kullanılan sistemde, en az mavi-kırmızı led ışık (0,10 $\mu\text{g/ml}$) kullanılan sistemde olduğu gözlemlendi. Hücre başına düşen beta karoten miktarı ise en fazla 0,0026 $\mu\text{g/ml}$ ile sarı led ışık sistemi kullanılan kültürlerde elde edilmiştir (Şekil 4.21) ve (Şekil 4.22). Duncan'a göre, beta karoten bakımından, gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık vardır ($P<0,05$). İstatistik analiz sonuçlarına göre, floresan ve sarı led en büyük değerleri onlardan küçük bulunmuştur (Çizelge 4.3).



Şekil 4.21 *Tetraselmis chuii* mikroalg türünün farklı ışık kaynaklarında beta karoten miktarı değişim grafiği ($\mu\text{g/ml}$).



Şekil 4.22 *Tetraselmis chuii* türünün 22. güne ait farklı ışık kaynaklarındaki hücre başına düşen ortalama beta karoten miktarları ($\mu\text{g/ml}$).

Çizelge 4.3 Duncan'a göre, *Tetraselmis chuii* mikroalg türünün farklı ışık kaynaklarındaki istatistiksel analiz sonuçları.

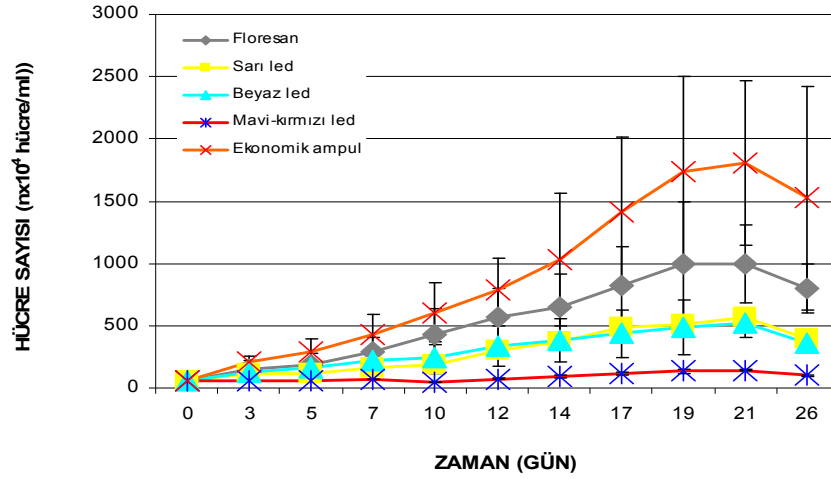
Değişkenler	X±S Floresan	X±S Sarı led	X±S Beyaz led	X±S Kırmızı mavi led	X±S Ekonomik ampul
Hücre sayısı	0,0078±0,284 ^a	0,0086±0,284 ^a	0,0111±0,284 ^{a,b}	0,0151±0,113 ^b	0,0159±0,113 ^b
Optik yoğunluk	14,3433±0,590 ^a	15,7878±0,590 ^a	21,6525±1,000 ^b	30,2989±1,000 ^c	14,2433±0,590 ^a
Beta karoten	0,6869±0,051 ^{a,b}	1,0329±0,053 ^b	0,4797±0,051 ^a	0,3110±0,051 ^a	0,3918±0,051 ^a

Not : ^{a, b, c} satırlar arasındaki istatistiksel yönden farklılıkları ifade etmektedir.

4.2.3 *Dunaliella salina* mikroalg türü için bulgular

4.2.3.1 *Dunaliella salina* türünün zamana bağlı hücre sayısı değişimleri

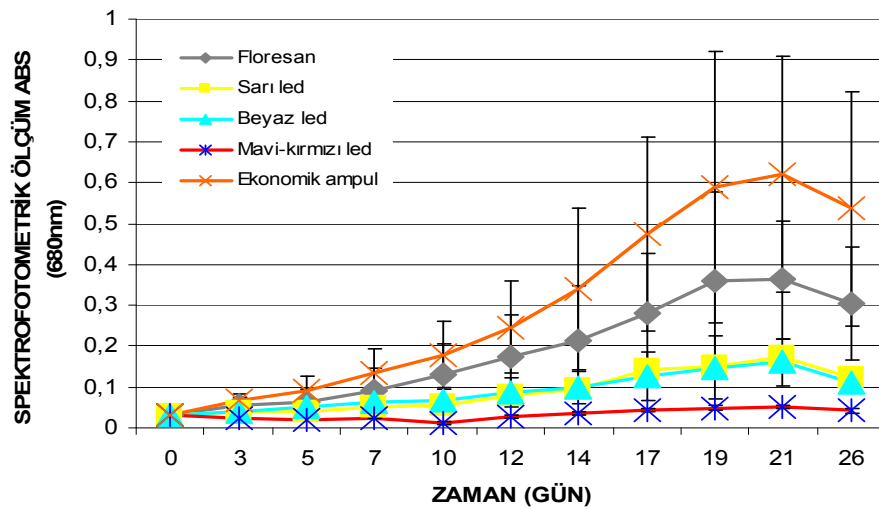
Dunaliella salina türünün farklı ışık kaynaklarındaki (floresan lamba, sarı led, beyaz led, kırmızı-mavi led ve ekonomik ampul) hücre sayıları tespit edilmiştir. Hücre sayıları değişimine bakıldığı zaman, 0. günde 60×10^4 hücre/ml olan hücre sayısı 21. güne kadar kademeli olarak artmış, floresan lambada 1000×10^4 hücre/ml'ye, sarı led'te 571×10^4 hücre/ml'ye, beyaz led'te 525×10^4 hücre/ml'ye, mavi- kırmızı led'te 141×10^4 hücre/ml'ye, ekonomik ampulde ise 1803×10^4 hücre/ml'ye kadar ulaşmıştır. En yüksek hücre sayısı, ekonomik ampul kullanılan sistemde tespit edilmiştir. En düşük hücre sayısı ise, mavi-kırmızı renkte ışık yayan led şeritte olduğu tespit edilmiştir. (Şekil 4.23). Duncan'a göre, hücre sayısı bakımından, gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık olduğu tespit edilmiştir ($P < 0,05$). İstatistik analiz sonuçlarına göre, floresan, sarı led, beyaz led ve ekonomik ampul aynı, kırmızı-mavi led onlardan farklı bulunmuştur (Çizelge 4.4).



Şekil 4.23 *Dunaliella salina* mikroalg türünün farklı ışık kaynaklarındaki ortalama hücre sayıları ($\times 10^4$ hücre/ml).

4.2.3.2 *Dunaliella salina* türünün zamana bağlı optik yoğunluk değişimi

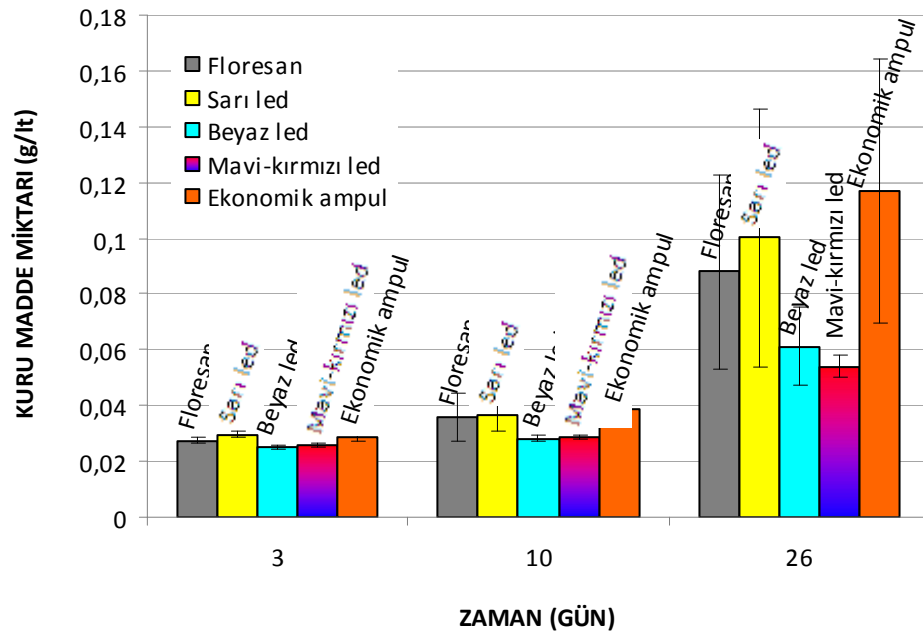
Dunaliella salina mikroalg türünün farklı ışık kaynaklarındaki (floresan lamba, sarı led, beyaz led, kırmızı-mavi led ve ekonomik ampul) optik yoğunluk değişimlerine bakıldığı zaman 21. güne kadar optik yoğunlukta artış meydana gelmiştir (Şekil 4.24). Duncan'a göre, optik yoğunluk bakımından, gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık olduğu tespit edilmiştir ($P < 0,05$). İstatistik analiz sonuçlarına göre, sarı led, beyaz led ve kırmızı-mavi led aynı, diğerleri birbirinden farklı bulunmuştur (Çizelge 4.4).



Şekil 4.24 *Dunaliella salina* mikroalg türünün deneme süresince farklı ışık kaynaklarındaki optik yoğunluk değişim grafiği (680 nm).

4.2.3.3 *Dunaliella salina* türünün zamana bağlı kuru madde miktarı değişimleri.

Dunaliella salina'nın farklı ışık kaynaklarındaki (floresan lamba, sarı led, beyaz led, kırmızı-mavi led ve ekonomik ampul) kuru madde miktarı değişimine baktığımızda en fazla ekonomik ampul kullanılan kültürlerde elde edilmiştir (Şekil 4.25). Kuru madde açısından, gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık olmadığı tespit edilmiştir ($P>0,05$).

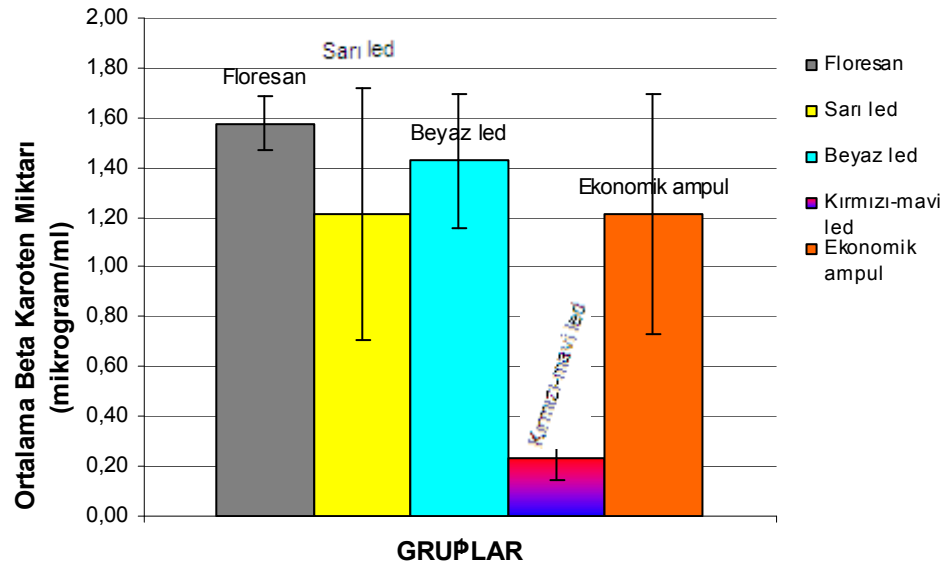


Şekil 4.25 *Dunaliella salina* mikroalg türünün farklı ışık kaynaklarındaki kuru madde miktarı değişim grafiği (g/Lt).

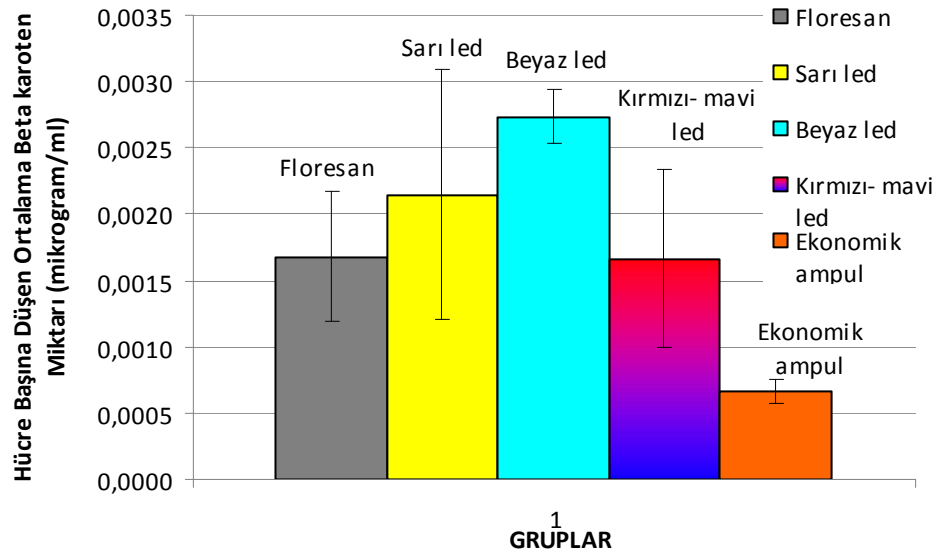
4.2.3.4 *Dunaliella salina* türünün zamana bağlı beta karoten ve klorofil a miktarı değişimleri

Dunaliella salina mikroalg türünün farklı ışık kaynaklarındaki (floresan lamba, sarı, beyaz ve mavi-kırmızı led, ekonomik ampul), 21. günde beta karoten miktarı ve hücre başına düşen ortalama beta karoten miktarları değişimlerine bakıldığı zaman, beta karoten miktarlarının en fazla floresan (1,58 $\mu\text{g/ml}$) kullanılan sistemde, en az mavi-kırmızı led ışık (0,23 $\mu\text{g/ml}$) kullanılan sistemde olduğu gözlemlenmiştir. Hücre başına düşen beta karoten miktarı ise en fazla, 0,0027 $\mu\text{g/ml}$ ile beyaz led ışık sistemi ve 0,0021 $\mu\text{g/ml}$ ile sarı led ışık sistemi kullanılan kültürlerde elde edilmiştir (Şekil 4.26) ve (Şekil 4.27). Duncan'a göre, beta karoten miktarı bakımından, gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir

farklılık vardır ($P<0,05$). İstatistik analiz sonuçlarına göre, kırmızı mavi led en küçük, diğerleri birbiriyle aynı ve en büyük bulunmuştur (Çizelge 4.4).



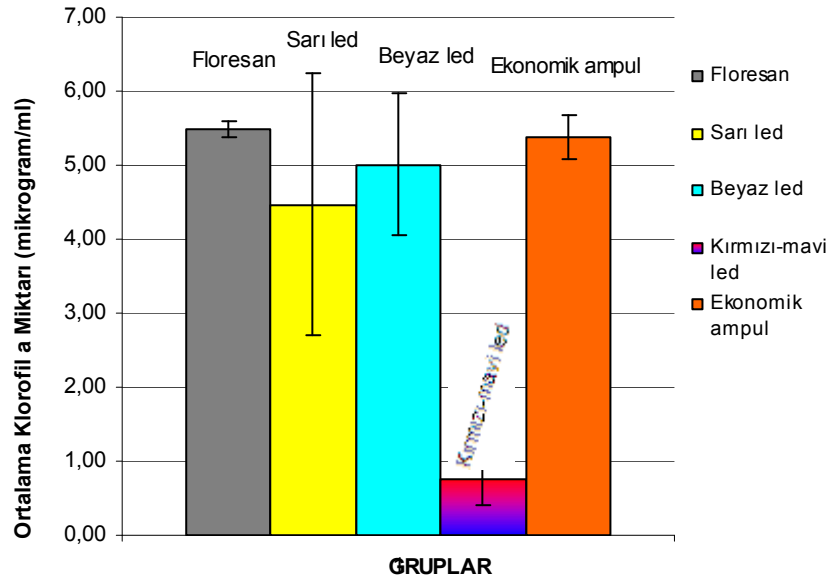
Şekil 4.26 *Dunaliella salina* mikroalg türünün farklı ışık kaynaklarında beta karoten miktarı değişim grafiği ($\mu\text{g/ml}$).



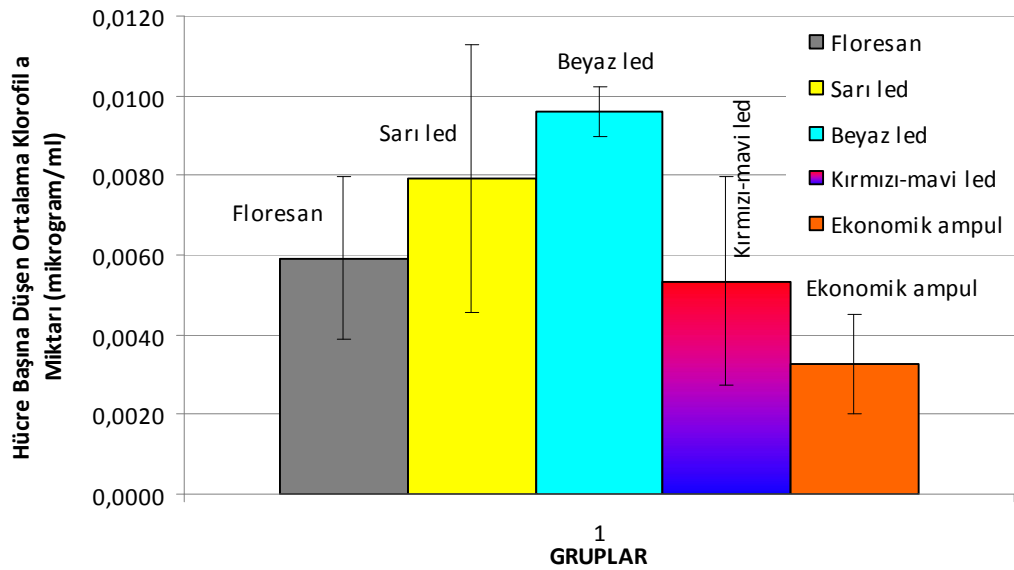
Şekil 4.27 *Dunaliella salina* türünün 21. güne ait farklı ışık kaynaklarındaki hücre başına düşen ortalama beta karoten miktarları ($\mu\text{g/ml}$).

21. güne ait klorofil a miktarı ve hücre başına düşen ortalama klorofil a miktarları değişimlerine bakıldığı zaman, klorofil a miktarlarının en fazla floresan ($5,49 \mu\text{g/ml}$) ve ekonomik ampul ($5,38 \mu\text{g/ml}$) kullanılan sistemde, en az mavi-

kırmızı led ışık ($0,75 \mu\text{g/ml}$) kullanılan sistemde olduğu gözlemlendi. Hücre başına düşen klorofil a miktarı ise en fazla $0,0096 \mu\text{g/ml}$ ile beyaz led ışık sistemi kullanılan kültürlerde elde edilmiştir (Şekil 4.28) ve (Şekil 4.29). Duncan'a göre, klorofil a miktarı bakımından, gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık vardır ($P<0,05$). İstatistik analiz sonuçlarına göre, kırmızı mavi led en küçük, diğerleri birbiriyle aynı ve en büyük bulunmuştur (Çizelge 4.4).



Şekil 4.28 *Dunaliella salina* türünün farklı ışık kaynaklarında klorofil a miktarı değişimi grafiği ($\mu\text{g/ml}$).



Şekil 4.29 *Dunaliella salina* türünün 21. güne ait farklı ışık kaynaklarındaki hücre başına düşen ortalama klorofil-a miktarları ($\mu\text{g/ml}$).

Çizelge 4.4 Duncan'a göre, *Dunaliella salina* mikroalg türünün farklı ışık kaynaklarındaki istatistiksel analiz sonuçları.

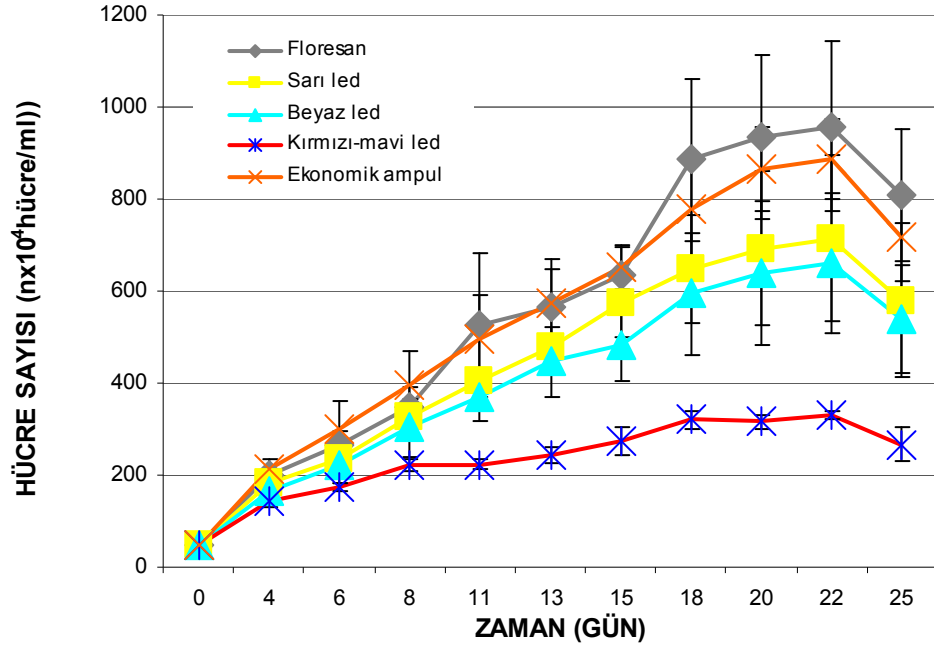
Değişkenler	X±S Floresan	X±S Sarı led	X±S Beyaz led	X±S Kırmızı mavi led	X±S Ekonomik ampul
Hücre sayısı	0,0042±0,071 ^a	0,0055±0,071 ^a	0,0054±0,071 ^a	0,0133±1,000 ^b	0,0032±0,071 ^a
Optik yoğunluk	0,1874±1,000 ^b	0,0894±0,128 ^a	0,0892±0,128 ^a	0,0330±0,128 ^a	0,3006±1,000 ^c
Beta karoten	0,5759±0,251 ^b	1,2123±0,251 ^b	1,4268±0,251 ^b	0,2331±1,000 ^a	1,2141±0,251 ^b
Klorofil a	0,7395±0,362 ^b	0,6209±0,362 ^b	0,6935±0,362 ^b	-0,1619±1,000 ^a	0,7306±0,362 ^b

Not: ^{a, b, c} satırlar arasındaki istatistiksel yönden farklılıkları ifade etmektedir.

4.2.4 Denizel *Chlorella sp.* mikroalg türü için bulgular

4.2.4.1 Denizel *Chlorella sp.* türünün zamana bağlı hücre sayısı değişimleri

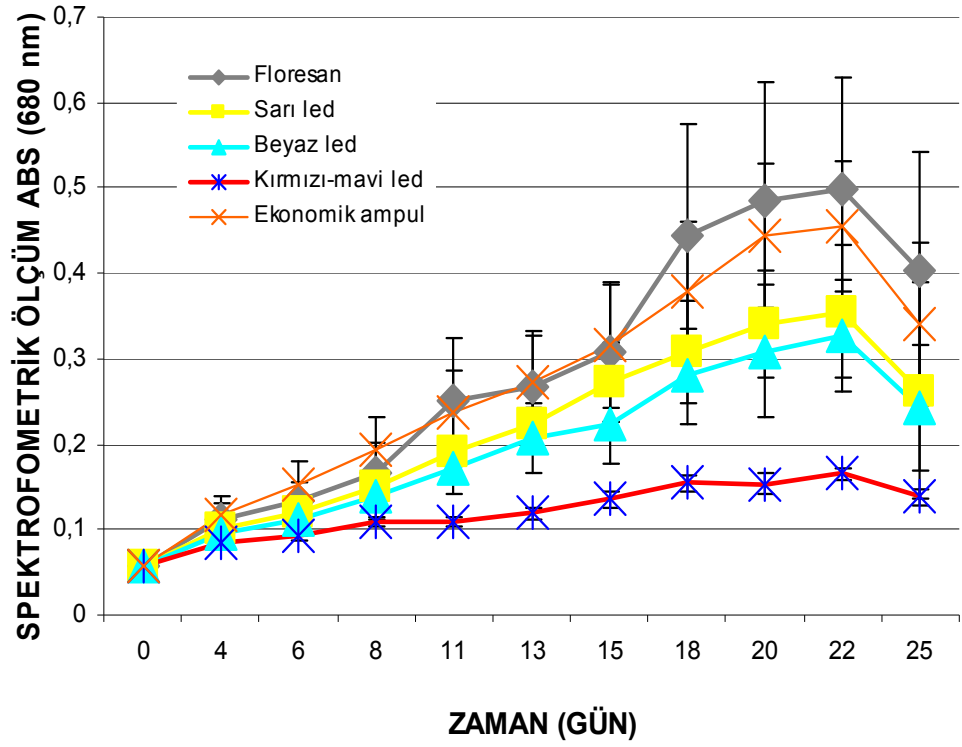
Denizel *Chlorella sp.* türünün farklı ışık kaynaklarındaki (floresan lamba, sarı led, beyaz led, kırmızı-mavi led ve ekonomik ampul) hücre sayıları tespit edilmiştir. Hücre sayıları değişimine bakıldığı zaman, 0. günde 50×10^4 hücre/ml olan hücre sayısı 22. güne kadar kademeli olarak artmış, floresan lambada 958×10^4 hücre/ml'ye, sarı led'te 715×10^4 hücre/ml'ye, beyaz led'te 661×10^4 hücre/ml'ye, mavi- kırmızı led'te 330×10^4 hücre/ml'ye, ekonomik ampulde ise 886×10^4 hücre/ml'ye kadar ulaşmıştır. En yüksek hücre sayısı ekonomik ampul ve floresan lamba kullanılan sistemde tespit edilmiştir. En düşük hücre sayısı ise mavi-kırmızı renkte ışık yayan led şeritte olduğu tespit edilmiştir. (Şekil 4.30). Duncan'a göre, hücre sayısı bakımından gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık vardır ($P < 0,05$). İstatistik analiz sonuçlarına göre kırmızı-mavi led en küçük, diğerleri birbirine benzer ve ondan büyük bulunmuştur (Çizelge 4.5).



Şekil 4.30 Denizel *Chlorella sp.* mikroalg türünün farklı ışık kaynaklarındaki ortalama hücre sayıları ($\times 10^4$ hücre/ml).

4.2.4.1 Denizel *Chlorella sp* türünün zamana bağlı optik yoğunluk değişimi

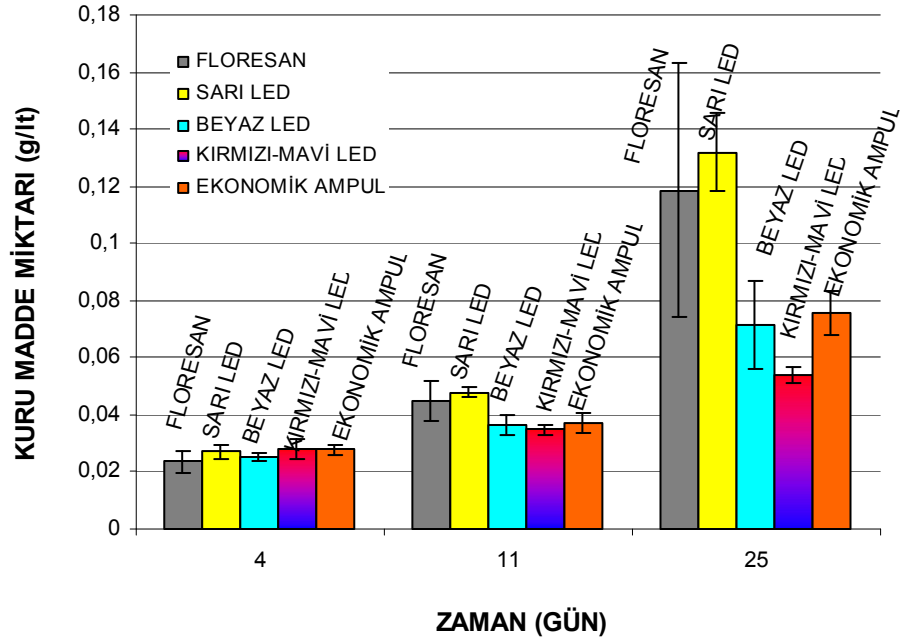
Denizel *Chlorella sp* mikroalg türünün farklı ışık kaynaklarındaki (floresan lamba, sarı led, beyaz led, kırmızı-mavi led ve ekonomik ampul) optik yoğunluk değişimlerine bakıldığı zaman 22. güne kadar optik yoğunlukta artış meydana gelmiştir (Şekil 4.31). Duncan'a göre, optik yoğunluk bakımından gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık olduğu tespit edilmiştir ($P < 0,05$). İstatistik analiz sonuçlarına göre kırmızı-mavi led farklı, diğerleri birbiriyle aynı bulunmuştur (Çizelge 4.5).



Şekil 4.31 Denizel *Chlorella sp.* mikroalg türünün deneme süresince farklı ışık kaynaklarındaki optik yoğunluk değişim grafiği (680 nm).

4.2.4.3 Denizel *Chlorella sp.* türünün zamana bağlı kuru madde miktarı değişimleri.

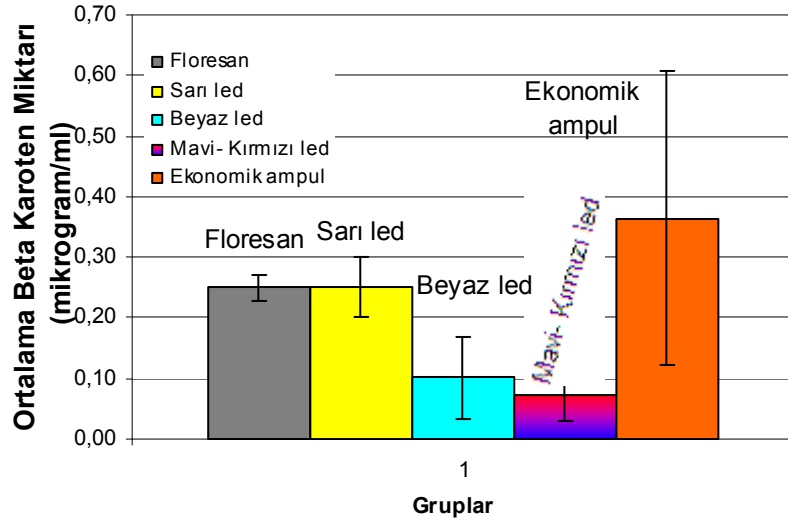
Denizel *Chlorella sp.*'nin farklı ışık kaynaklarındaki (floresan lamba, sarı led, beyaz led, kırmızı-mavi led ve ekonomik ampul) kuru madde miktarı değişimine baktığımızda en fazla sarı led ışık sistemi kullanılan kültürlerde elde edilmiştir (Şekil 4.32). Kuru madde miktarı açısından, gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık olmadığı tespit edilmiştir ($P>0,05$).



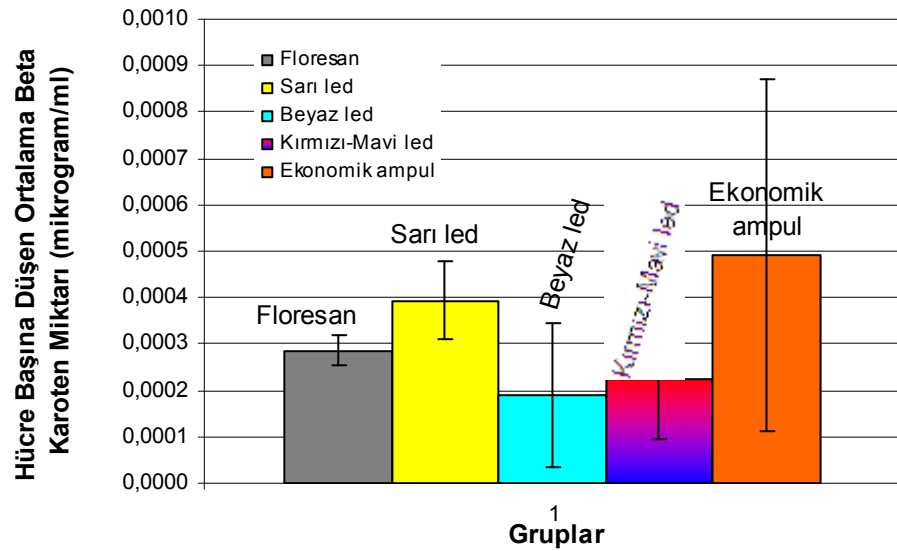
Şekil 4.32 Denizel *Chlorella sp.* mikroalg türünün farklı ışık kaynaklarındaki kuru madde miktarı değişim grafiği (g/lt).

4.2.4.4 Denizel *Chlorella sp.* türünün zamana bağlı beta karoten ve klorofil a miktarı değişimleri

Denizel *Chlorella sp.* mikroalg türünün farklı ışık kaynaklarındaki (floresan lamba, sarı, beyaz ve mavi-kırmızı led, ekonomik ampul), 18. günde beta karoten miktarı ve hücre başına düşen ortalama beta karoten miktarları değişimlerine bakıldığı zaman, beta karoten miktarlarının en fazla, ekonomik ampul (0,36 $\mu\text{g/ml}$), sarı led (0,25 $\mu\text{g/ml}$) ve floresan (0,25 $\mu\text{g/ml}$) kullanılan sistemde, en az mavi-kırmızı led ışık (0,07 $\mu\text{g/ml}$) kullanılan sistemde olduğu gözlemlenmiştir. Hücre başına düşen beta karoten miktarı ise en fazla, 0,0005 $\mu\text{g/ml}$ ile ekonomik ampul, 0,0004 $\mu\text{g/ml}$ ile sarı led ışık sistemi ve 0,0003 $\mu\text{g/ml}$ ile floresan kullanılan kültürlerde elde edilmiştir (Şekil 4.33) ve (Şekil 4.34). Duncan'a göre, beta karoten miktarı açısından gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık olduğu tespit edilmiştir ($P < 0,05$). İstatistik analiz sonuçlarına göre, kırmızı-mavi led ve beyaz led en küçük, diğerleri birbirine benzer ve onlardan büyük bulunmuştur (Çizelge 4.5).



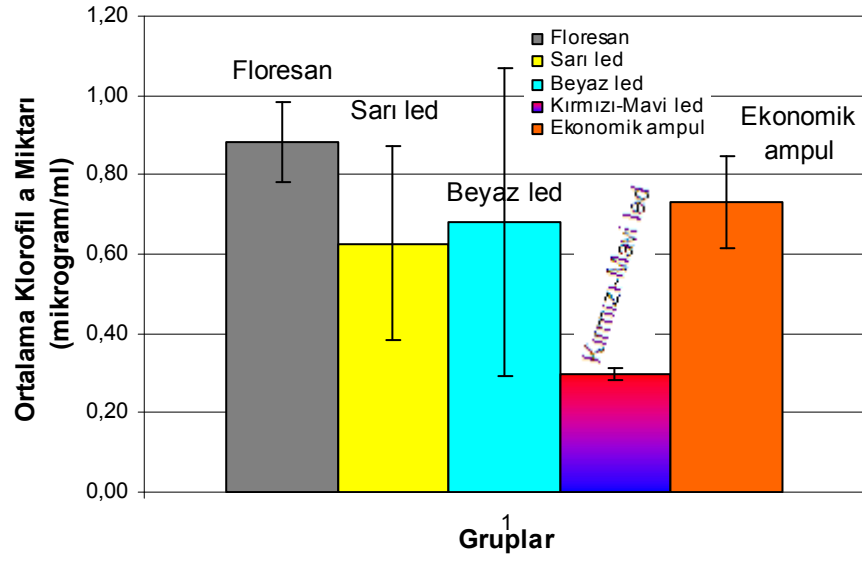
Şekil 4.33 Denizel *Chlorella sp.* mikroalg türünün farklı ışık kaynaklarında beta karoten miktarı değişim grafiği (µg/ml).



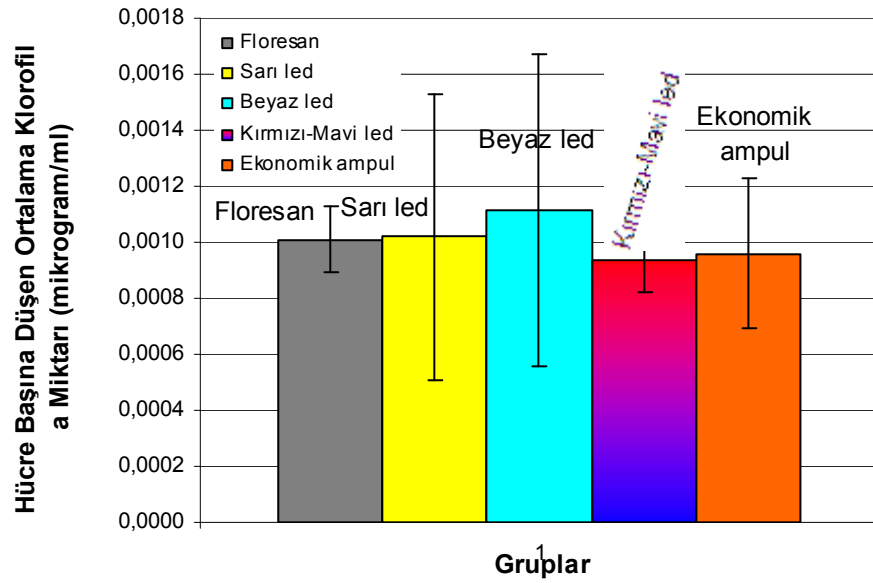
Şekil 4.34 Denizel *Chlorella sp.* türünün 18. güne ait farklı ışık kaynaklarındaki hücre başına düşen ortalama beta karoten miktarları (µg/ml).

18. güne ait klorofil a miktarı ve hücre başına düşen ortalama klorofil a miktarları değişimlerine bakıldığı zaman, klorofil a miktarlarının en fazla floresan (0,88 µg/ml) ve ekonomik ampul (0,73 µg/ml) kullanılan sistemde, en az mavi-kırmızı led ışık (0,30 µg/ml) kullanılan sistemde olduğu gözlemlenmiştir. Hücre başına düşen klorofil a miktarı ise en fazla 0,0011 µg/ml ile beyaz led ışık sistemi kullanılan kültürlerde elde edilmiştir (Şekil 4.35) ve (Şekil 4.36). Klorofil a

miktarı açısından, gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık olmadığı tespit edilmiştir ($P>0,05$).



Şekil 4.35 Denizel *Chlorella sp.* türünün farklı ışık kaynaklarında klorofil a miktarı değişim grafiği (µg/ml).



Şekil 4.36 Denizel *Chlorella sp.* türünün 18. güne ait farklı ışık kaynaklarındaki hücre başına düşen ortalama klorofil a miktarları (µg/ml).

Çizelge 4.5 Duncan'a göre, Denizel *Chlorella sp.* mikroalg türünün farklı ışık kaynaklarındaki istatistiksel analiz sonuçları.

Değişkenler	X±S Floresan	X±S Sarı led	X±S Beyaz led	X±S Kırmızı mavi led	X±S Ekonomik ampul
Hücre sayısı	2,6362±0,201 ^b	2,5561±0,201 ^b	2,5210±0,201 ^b	2,3236±1,000 ^a	2,6341±0,201 ^b
Optik yoğunluk	5,6038±0,243 ^a	6,3665±0,243 ^a	6,7905±0,243 ^a	8,9637±1,000 ^b	5,4581±0,243 ^a
Beta karoten	-0,6040±0,617 ^b	-0,6070±0,617 ^b	-1,0969±0,661 ^a	-1,1891±0,661 ^a	0,4968±0,617 ^b

Not: ^{a, b} satırlar arasındaki istatistiksel yönden farklılıkları ifade etmektedir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Algal büyümeyi düzenleyen en önemli parametreler; besin kalitesi ve miktarı, ışık, pH, türbülans, tuzluluk ve sıcaklıktır (Utting, 1985). Optimum parametreler ve tolerans aralıkları türe özgüdür. Birçok faktör birbirine bağlı olabilir. Algal kültürlerde oluşturulan ortam koşulunda bir algal tür için optimum olan parametre, başka algal tür için optimum olmayabilir (Coutteau, 1996). Ayrıca, mikroalg türlerinin kimyasal kompozisyonları ve büyüme oranları ışık, sıcaklık, besin, suyun tuz konsantrasyonu tarafından etkilenir (Asulabh, 2012; Ben-Amotz and Shaish, 1992). Mikroalg üretiminde temel hedef ekonomik bir sonuca ulaşmaktır. Özellikle hücrelerin ışığı etkin kullanamaması mikroalg üretiminde maliyeti etkileyen en önemli parametredir. Kültür balığı üretiminde mikroalg üretimi önemli bir maliyet girdisi oluşturur. Bu nedenle ürünleri yetiştiriciliğinde yoğun olarak kültürü yapılan *Nannochloropsis oculata*, *Tetraselmis chuii*, *Dunaliella salina* ve denizel *Chlorella sp.* türlerinin, farklı ışık kaynaklarının ve farklı tuzluluk konsantrasyonların büyüme ve pigment miktarları üzerine etkisi çalışıldı. Her alg türü için optimum kültür yoğunluğunun tespit edilerek, az harcamayla daha yüksek verimlilikte ürün elde edilebileceği tespit edilmiştir.

Çevresel koşullar ile birlikte kültür ortamında kullanılan nutrientler ve konsantrasyonları mikroalg büyüme ve mikroalgin biyokimyasal yapısı üzerinde değişikliklere neden olabilir. Büyümeyi, besin ortamlarında kullanılan nutrient türünün yanı sıra konsantrasyonlarında etkilemektedir (Brown et al., 1989). Pek çok tür için uygun olan F/2 besin ortamı ile *N. oculata* kültüründe en yüksek biyokimyasal değerler elde edilmektedir (Owens et al., 1987; Sukenik et al., 1989; Sukenik et al., 1993; Schneider and Roessler, 1994; Lourenco et al., 2002). Bu nedenle çalışmamızda besin ortamı olarak F/2 besin ortamı tercih edilmiştir.

Tuzluluk fitoplankton gelişimini, metabolizmasını ve dağılımını etkileyen en önemli ekolojik faktörlerden birisidir. Tuzluluk artışına bağlı olarak hücrelerin fotosentez ve protein sentezi kapasitelerinin azaldığı ve tuzluluğun daha da artırılmasıyla büyüme hızının düştüğü, dolayısıyla üretimde belirgin bir kaybın görüldüğü bildirilmiştir (Zhang et al., 2010). Deniz planktonlarının tuzluluk değişimine olan toleransları oldukça iyidir. Pek çok tür, doğal ortamdaki tuzluluğa göre daha düşük tuzlulukta iyi bir büyüme gösterir. Pek çok alg türü %12-44, optimum %20-24 tuzluluğu tercih eder. Pek çok türün canlılığını dahi sürdüremeyeceği %140 tuzlulukta büyüme hızı çok azalsa bile, fotosentetik

aktivite belirli bir süre devam eder (Ben-Amotz and Avron, 1983; Borowitzka and Borowitzka, 1992). Örneğin; *Isochrysis galbana* ‰15 tuzlulukta maksimum üreme gösterirken, *Tetraselmis suecica* ‰25-35 tuzluluğu tercih eder. *Spirulina platensis* ‰1 tuzlulukta iyi gelişme gösterir (Vonshak and Tomaselli, 2000). *Dunaliella sp.* türü ise tuzu seven organizma olduğu için geniş tuzluluk aralığında yaşayabilir. (Dudu Evren vd., 2001; Çelekli ve Dönmez, 2001). Bartley *et al.*, 2013, tarafından gerçekleştirilen çalışmada, *Nannochloropsis salina* mikroalg türünün büyümesi ve biyomas üretiminin ‰22 ve ‰34 tuzlulukta olduğunu tespit etmişlerdir. Farklı tuzluluk konsantrasyonlarında (‰20, ‰25, ‰30, ‰33, ‰35 ve ‰38), Alsull and Maznah Omar, 2012, yaptıkları çalışmada, *Tetraselmis sp.* ve *Nannochloropsis sp.* mikroalg türlerini kültürde, ‰33 tuzluluk derişiminde elde edilmiştir. *Nannochloropsis oculata* mikroalg türü ile gerçekleştirdiğimiz çalışmada ise, en yüksek hücre sayısı ‰20 tuzlulukta ayarlanmış kültür ortamında, kuru madde miktarı değişimine baktığımızda en fazla, ‰25 tuzluluk derişimine sahip kültürlerde elde edilmiştir. *Tetraselmis chuii* türünün en yüksek hücre sayısı, ‰30 ve ‰40 tuzlulukta ayarlanmış kültür ortamlarında kuru madde miktarı değişimine baktığımızda en fazla ‰40 tuzluluk derişimine sahip kültürlerde elde edilmiştir. Bu çalışmada tuzluluk artışına paralel olarak hücre sayısında düşüş olmuş ve son çıkan üründe azalma meydana gelmiştir.

Tuzluluğa toleranslı mikroalg türleri, denizel ortamda yaşamalarına izin veren tepki mekanizmalarına sahip iken, tuz seven mikroalg türleri optimum büyüme için yüksek tuzluluk konsantrasyonlarına ihtiyaç duyarlar. Her iki grupta tuz hasarında korunma ve hücre ile çevresi arasındaki osmotik dengeyi sağlamaya yardımcı olan metabolitler üretir. Deniz fitoplanktonunun büyümesini, metabolizmasını ve canlılığını dolayısıyla dağılımında etkili önemli bir ekolojik faktör ve değişken olan tuzluluk, fitoplankton kültürlerini de etkileyen önemli bir faktördür. Tuzluluk artışına bağlı olarak, hücrelerin fotosentez ve protein sentezi kapasiteleri azalır ve tuzluluğun daha çok artırılmasıyla büyüme hızı ve sonuç ürün üzerinde belirgin bir sınırlayıcı etki ortaya çıkar (Gökpınar, 1983). Ancak, *Dunaliella salina* tuzlu ortamlara çok iyi adapte olabilen mikroalg türü olarak bilinir (Goyal, 2007). *Dunaliella salina* mikroalg türü ile ‰40,ile ‰150 tuz konsantrasyonları arasında yapılan çalışmada da, en yüksek hücre yoğunluğu, ‰40 tuz konsantrasyonuna sahip kültürlerde, tuz konsantrasyonu yükseldikçe fotosentetik aktivite hızının düştüğü tespit edilmiştir. Pek çok türün canlılığını dahi sürdüremeyeceği ‰140 tuzlulukta büyüme hızı çok azalsa bile, fotosentetik aktivite belirli bir süre devam eder. Bu nedenle *Dunaliella salina* türünün tuzluluk ayarlamasında yüksek tuzluluk konsantrasyonu (‰150) tercih edilmiştir.

Fakat, Durmaz ve Gökpınar, 2006, tarafından yapılan bir çalışmada da, Konya Tuz Gölü'nde *Dunaliella salina* olarak tanımlanan hücreler seyreltme yöntemi ile izole edilerek, yüksek tuzluluk, yüksek ışık şiddeti ve azot eksikliği gibi bazı stres koşulları altında kültüre alınmış, *D. salina*'nın yüksek tuzluluk konsantrasyonlarında gelişimini sürdürebildikleri gözlenmiştir. Çalışmada *D. salina* için en uygun tuz derişiminin %100 NaCl olduğu gözlenmiştir. *Dunaliella sp.* ile farklı NaCl (%100, %150 ve %200) konsantrasyonlarında yapılan bir diğer çalışmada, %100NaCl konsantrasyonunda en iyi büyüme elde ettiklerini bildirmişlerdir. (Dudu Evren vd., 2001). Yaptığımız çalışmada, *Dunaliella salina* türünün kültüründe %40 tuzluluk konsantrasyonda maksimum üreme gösterdiği tespit edilmiştir. Çalışmalarda ki tuzluluk konsantrasyonları bir türü için uygun olur iken, başka bir çalışma için optimum olmayabilir.

Loseva *et al.*, 1998, yaptıkları bir çalışmada sıcaklığın ve tuz oranının *Chlorella* hücreleri oranına etkisini inceledikleri çalışmalarında yüksek sıcaklık (45°C) ve yüksek NaCl (450 µM) stres faktörleri uygulamalarından sonra *Chlorella* büyümesini incelemişlerdir. Bunun için, belirli aralıklarda yüksek sıcaklık ve yüksek NaCl uygulamaları yapılmış ve bu süreçten sonra tekrar normal koşullar sağlanarak, *Chlorella* hücrelerinin durumu gözlenmiştir. Böylelikle, canlının stres faktörlerine adaptasyon sürecinin uzunluğu ortaya çıkarılmıştır. Bu çalışmada hücrelerin ortama adaptasyonsüreleri türlere göre değiştiği tespit edilmiştir. *Nannochloropsis oculata* için gecikme fazı ilk denemde 2 gün olur iken ikinci denemede ise 6. güne kadar devam ettiği kayıt edilmiştir. *Tetraselmis chuii* türünde ise adaptasyon süresi 2 gün iken *Dunaliella salina* türünde 6-8 gün olarak kayıt edilmiştir. Fakat tuzluluğa adapte edilmiş hücrelerin fotosentez kapasitesi azalmış, ışık enerjisini kullanamamış ve bundan dolayı da stresli hücrelerin fotoinhibisyona uğramaları artmıştır. Tuz stresine giren hücrelerde büyüme oranının düştüğü ve bu nedenle büyüme oranında azalma olduğu görülmüştür.

Kültür ortamında ışığın türü ve renginin, mikroalglerin büyümesi üzerine etkisi olduğu bilinmektedir. Wang *et al.*, 2007 yılında yaptıkları çalışmada, *Spirulina platensis*'in büyümesi üzerine en etkili büyüme büyüme performansını kırmızı led ışıktaki, en düşük büyümeyi ise mavi led ışıktaki elde etmişlerdir. Hultberg *et al.*, 2014, tarafından yapılan çalışmada, 6 farklı dalga boyuna sahip (sarı, kırmızı, mavi, yeşil, beyaz ve mor ışık) ışığın *Chlorella vulgaris* mikroalg türünün kültüründe sarı , kırmızı ve beyaz ışığın etkili olduğunu rapor etmiştir. Kırmızı ışık *Chlorella vulgaris*'in optimal büyümesi için önemlidir. Çünkü bu

mikroalg kırmızı ışığı absorbe ettiği için yüksek oranda klorofile sahiptir (Fu *et al.*, 2013). Denizel *Chlorella sp.* mikroalg türü ile, floresan lamba, sarı led, beyaz led ve ekonomik ampul kullanarak yaptığımız çalışmada da kırmızı-mavi led ışıkta büyümenin düşük olduğu tespit edilmiştir.

Abiusi *et al.*, 2014, tarafından gerçekleştirilen çalışmada, geniş spektrum aralığındaki kırmızı led aydınlatma ile *Tetraselmis suecica* mikroalg türünü kültüre almış ve çalışma sonunda, mavi, yeşil, beyaz ledlere kıyasla kırmızı ışık altında EPA içeriği artışı gözlemlemişlerdir. Saavedra *et al.*, 1996, tarafından gerçekleştirilen çalışmada, geniş spektrum aralığına sahip koyu kırmızı led aydınlatma ile *Dunaliella salina* mikroalg türünü kültüre almış ve çalışma sonunda, floresan lamba altındaki hücre büyümesine kıyasla yüksek karotenoid seviyesi elde etmişlerdir. Kırmızı dalga boyu, hem *Spirulina platensis* hem de *Chlorella pyrenoidosa* için olumlu sonuçlar verdiği tespit edilmiştir (Wang *et al.*, 2007). Matthijs *et al.*, 1996, mikroalg kültürlerinde kırmızı ışık kullanımının, kırmızı ışığın klorofil pigmentasyonunu arttırdığını rapor etmiştir. Bu çalışmada, kırmızı- mavi ışığın klorofil a miktarını azalttığı tespit edilmiştir. klorofil a miktarı *Nannochloropsis oculata* için, 0,08 µg/ml; *Dunaliella salina* için, 0,75 µg/ml; denizel *Chlorella sp.* için, 0,30 µg/ml elde edilmiştir.

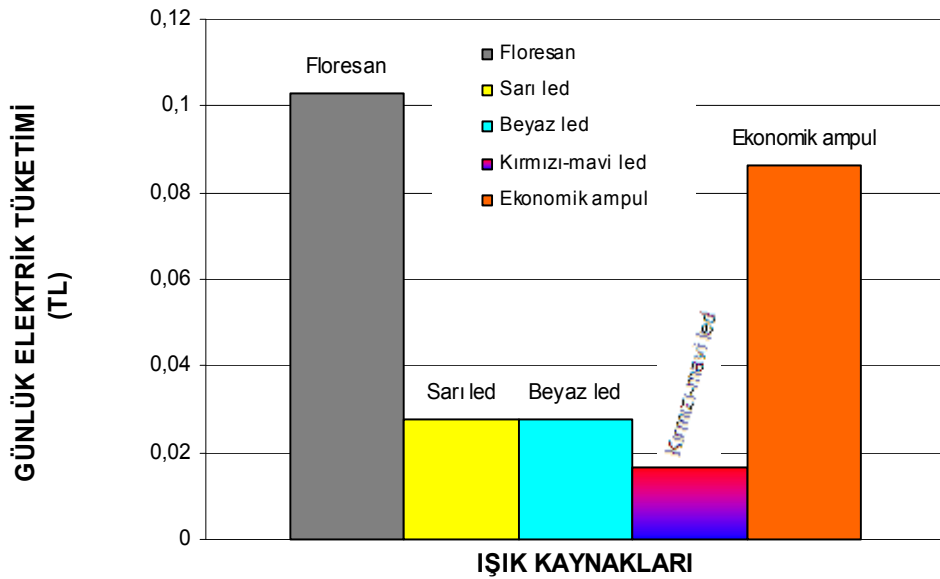
Katsuda *et al.*, 2006 yılında yaptıkları çalışmada mavi led lambalardan oluşturdukları flaş ışığın, *Haematococcus pluvialis*'in hücre yoğunluğu ve astaksantin miktarına etkisini araştırmış ve mavi led flaş ışığın, astaksantin miktarını etkili şekilde arttırdığını tespit etmişlerdir. Das *et al.*, 2011, tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, farklı dalga boyundaki, kırmızı (680 nm), beyaz, mavi (470 nm) ve yeşil led (550 nm) ışıkların *Nannochloropsis oculata* mikroalg türünün büyümesi üzerine etkilerini araştırmışlar ve elde edilen sonuçları, en etkili olan ışık kaynağından, az etkili olan ışık kaynağına doğru mavi>beyaz>yeşil>kırmızı olacak şekilde sıralanmışlardır. Teo *et al.*, 2014, mavi (457 nm), kırmızı (660 nm), kırmızı-mavi led ışıklar ve beyaz floresan lamba kullanarak, *Nannochloropsis* ve *Tetraselmis sp.* büyüme oranı üzerine en iyi büyümenin mavi dalga boyuna sahip kültürlerde olduğunu tespit etmişlerdir. Blair *et al.*, 2014, gerçekleştirdikleri çalışmada, farklı dalga boylarına sahip ışıkların (mavi, parlak beyaz, yeşil ve kırmızı) *Chlorella vulgaris* mikroalg türünün büyümesi üzerine kırmızı ve yeşil dalga boyuna sahip ışıklara kıyasla, mavi ışıkta yüksek büyüme oranı ve biyomas üretimi elde etmişlerdir. Bu çalışmada, *Nannochloropsis oculata*, *Tetraselmis chuii*, *Dunaliella salina*, denizel *Chlorella sp.* mikroalg türleri ile farklı ışık kaynaklarında (floresan, sarı, beyaz, kırmızı-

mavi led ve ekonomik ampul), en yüksek hücre yoğunluğu, *Nannochloropsis oculata* için, ekonomik ampul ve floresan lambada elde edilirken, *Tetraselmis chuii* için floresan ve sarı led şerit kullanılan sistemlerde, *Dunaliella salina* için, ekonomik ampul kullanılan sistemde, denizel *Chlorella sp.* için, ekonomik ampul ve floresan kullanılan sistemlerde elde edilmiştir. Sonuçta mavi ışık gibi kısa dalga boylu ışıkların fotosentez için daha fazla enerji gerektirdiğini ve fotoinhibisyona neden oldukları tespit edilmiştir.

Karotenler biyolojik antioksidan olarak hücre köklerini ve dokuları zararlı etkenlerden koruduğu için insan sağlığı için hayati öneme sahiptir (Yanar, 2004). Bir çok araştırmacı karotenidleri, insanları hastalıklara karşı koruyucu olarak önermiş ve β karoten, lutein gibi karotenler hala kanser tedavisinde uygulanmaktadır (Richmond, 2000; Ziegler *et al.*, 1996). Smayda, 1969, yapmış olduğu çalışmada, alg fotosentezinin ışık şiddetine bağlı olduğunu ve bunların değişik fotosentetik pigmentleri ile ilişkili olduğunu belirterek, pigmentlerin düşük ışık şiddetindeki önemi üzerinde durmuş, yüksek ışık şiddetinde klorofil ve fikosiyanın ışık şiddetini absorblamak için, çok önemli oldukları sonucuna varmıştır. Sukenik *et al.*, 1991, *N. oculata* ile yaptıkları çalışmada üç farklı ışık şiddetinin klorofil-a ve toplam karoten miktarlarına etkisini tespit etmişlerdir. Işık şiddeti artışına bağlı olarak klorofil a ve toplam karoten değerlerinde bir azalma olduğunu rapor etmişlerdir. Yaptığımız çalışmada da, *Nannochloropsis oculata* için en yüksek beta karoten miktarlarının, 0,44 $\mu\text{g/ml}$ ile sarı led ve 0,42 $\mu\text{g/ml}$ ile ekonomik ampul kullanılan sistemde, en fazla klorofil a miktarları 0,67 $\mu\text{g/ml}$ ile ekonomik ampul kullanılan sistemde olduğu tespit edilmiştir. *Tetraselmis chuii* için beta karoten miktarlarının en fazla, 1,07 $\mu\text{g/ml}$ ile sarı led ışık kullanılan sistemde, *Dunaliella salina* için betakaroten miktarlarının en fazla, 1,58 $\mu\text{g/ml}$ ile floresan kullanılan sistemde, klorofil a miktarlarının en fazla, 5,49 $\mu\text{g/ml}$ ile floresan ve 5,38 $\mu\text{g/ml}$ ile ekonomik ampul kullanılan sistemde olduğu belirlenmiştir. Denizel *Chlorella* için beta karoten miktarlarının en fazla, 0,36 $\mu\text{g/ml}$ ile, ekonomik ampul, 0,25 $\mu\text{g/ml}$ ile sarı led ve 0,25 $\mu\text{g/ml}$ ile floresan kullanılan sistemde, klorofil a miktarlarının en fazla 0,88 $\mu\text{g/ml}$ ile floresan ve 0,73 $\mu\text{g/ml}$ ile ekonomik ampul kullanılan sistemde olduğu tespit edilmiştir. En düşük beta karoten ve klorofil a değeri kırmızı-mavi led ışık yayan sistemlerde olduğu tespit edilmiştir.

Enerji kaynaklarının giderek azaldığı ve pahalılaştığı dünyamızda ürün maliyetleri büyük ölçüde etkilenmektedir. Bu nedenle maliyet düşürme yöntemleri ile ilgili çalışmalar devam etmektedir. Yaptığımız çalışmada ki veriler

göz önüne alınarak floresan lamba, sarı led, beyaz led, kırmızı- mavi led ve ekonomik ampul kullanılarak gerçekleştirilmiş olan denemenin bir günlük elektrik sarfiyatı tutarı hesaplandığında, Türkiye Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu'nun (EPDK) temel fiyat üzerine dağıtım bedeli eklenmemiş çıplak elektrik kWh ücreti sanayide 0,24 TL olduğu kabul edilirse, çalışmada kullanılan, 15 W gücündeki ekonomik ampul, 0,015 kWh değerindedir ve bir günlük elektrik sarfiyatı 0,0864 TL olarak hesaplanmıştır (Şekil 5.1). Metrede 60 led ampul bulunduran bir led şerit 4,8 W gücünde olacağından, çalışmada kullandığımız, 36 adet kırmızı- mavi led ampul 2,88 W gücündedir ve günlük elektrik sarfiyatı 0,0165TL olarak hesaplanmıştır. Çalışmada kullandığımız, 60 adet beyaz ve 60 adet sarı led ampul 4,8 W gücündedir ve 0,0048 kWh değerindedir ve bir günlük elektrik sarfiyatları her ikisinde de 0,0276TL olarak hesaplanmıştır. Son olarak, çalışmada kullandığımız 18 W gücündeki floresan ampul 0,018 kWh değerindedir ve bir günlük elektrik sarfiyatı 0,103TL olarak aşağıda gösterildiği gibi hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda, elde ettiğimiz verilere göre, floresan lambalarla led aydınlatmalar arasında yaklaşık 5 kat'lık bir maliyet farkı olduğunu ve led sistemlerini kullanmanın daha ekonomik olduğunu söyleyebiliriz.



Şekil 5.1 Deneme sırasında kullanılan ışık kaynaklarının bir günlük elektrik sarfiyatı (TL).

Bu çalışmalarda elde edilen verilere göre, bir günlük elektrik sarfiyatı (TL) hesaplamaları bakımından, *Nannochloropsis oculata* mikroalg türü için, en ekonomik ışık kaynağının, maksimum hücre sayısı bakımından beyaz led,

maksimum beta karoten miktarı bakımından sarı led, maksimum klorofil a miktarı bakımından ekonomik ampul ve sarı led olduğu belirlenmiştir (Çizelge 5.1). *Tetraselmis chuii* mikroalg türü için, en ekonomik ışık kaynağının, maksimum hücre sayısı ve beta karoten miktarı bakımından, sarı led sistemlerinin olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 5.2). *Dunaliella salina* mikroalg türü için, en ekonomik ışık kaynağının, maksimum hücre sayısı bakımından ekonomik ampul, maksimum beta karoten miktarı açısından beyaz led, maksimum klorofil a eldesi bakımından ise ekonomik ampul ve beyaz led, maksimum kuru madde miktarı bakımından ekonomik ampul kullanımı uygun bulunmuştur (Çizelge 5.3). Denizel *Chlorella sp.* mikroalg türü için, en ekonomik ışık kaynağının, maksimum hücre sayısı ve beta karoten miktarı bakımından, ekonomik ampul ve sarı led, maksimum klorofil a miktarı bakımından, ekonomik ampul, sarı ve beyaz led, maksimum kuru madde miktarı bakımından sarı led sistemlerinin olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 5.4).

Sonuç olarak, floresan, ekonomik ampul ve led ışık kaynakları arasındaki enerji kullanım maliyeti farkı ortaya çıkmaktadır. Yapılan kültür çalışmalarında, yüksek verim, düşük maliyet dikkate alınmalıdır. Led ışık kaynakları verimlilikleri, kurulum maliyetleri ve kullanım ömürleri açısından yeni kurulacak kültür sistemlerinde tercih edilmelidir. Led ışık sistemleri kullanılan kültür denemelerinin hücre yoğunluğu, beta karoten değeri ve kültürün aydınlatılması için harcanan elektrik maliyeti açısından daha verimli olduğu tespit edilmiştir.

Gerçekleştirdiğimiz denemelerde, ışık kaynağı olarak çoğunlukla kullanılan floresan lambalar ile birlikte led ışıklar kullanılmıştır. Ledler son yıllarda ekonomikliği, sağladığı ürün çeşitliliği ve kullanım ömrü ile öne çıkan led türü lambalar tercih edilmiştir. Bu denemede fotosentezde aktif kullanılabilen güneş ışığı dalga boyu aralığındaki 400-700 nm beyaz, sarı, kırmızı-mavi ışık verecek led sistemler kullanılmıştır. Yapılan denemeler sonucunda kültür koşullarında yapılacak değişikliklerle maksimum düzeyde pigment seviyesi eldesi için optimum kültür koşulları tespit edilerek en yüksek biyomas ve pigment seviyesi belirlenmiştir. *Nannochloropsis oculata*, *Tetraselmis chuii*, *Dunaliella salina*, Denizel *Chlorella sp.* mikroalg türlerinin büyümesini etkileyen çevresel faktörlerden ışığın, tuzluluğun etkisinin araştırılması sonucu yapılan bu çalışma, bilimsel ve ticari anlamda yapılacak olan uygulamalardaki başarıyı arttırarak ileride yapılacak olan çalışmalara ışık tutacaktır.

Çizelge 5.1 *Nannochloropsis oculata* mikroalg türü için, deneme sırasında kullanılan ışık kaynaklarının bir günlük elektrik sarfıyatı (TL).

Işık Kaynakları	Günlük Elektrik Tüketim Miktarı (TL)	Hücre Sayısı (nx10⁶ hücre/ml)	Beta karoten miktarı (µg/ml)	Klorofil a miktarı (µg/ml)
Floresan	0,103	81	0,35	0,15
Sarı led	0,0276	65	0,44	0,21
Beyaz led	0,0276	80	0,31	0,17
Kırmızı-mavi led	0,0165	32	0,02	0,08
Ekonomik ampul	0,0864	67	0,42	0,67

Çizelge 5.2 *Tetraselmis chuii* mikroalg türü için, deneme sırasında kullanılan ışık kaynaklarının bir günlük elektrik sarfıyatı (TL).

Işık Kaynakları	Günlük Elektrik Tüketim Miktarı (TL)	Hücre Sayısı (nx10⁴ hücre/ml)	Beta karoten miktarı (µg/ml)
Floresan	0,103	401	0,91
Sarı led	0,0276	421	1,07
Beyaz led	0,0276	226	0,24
Kırmızı-mavi led	0,0165	138	0,10
Ekonomik ampul	0,0864	263	0,16

Çizelge 5.3 *Dunaliella salina* mikroalg türü için, deneme sırasında kullanılan ışık kaynaklarının bir günlük elektrik sarfıyatı (TL).

Işık Kaynakları	Günlük Elektrik Tüketim Miktarı (TL)	Hücre Sayısı (nx10⁴ hücre/ml)	Beta karoten miktarı (µg/ml)	Klorofil a miktarı (µg/ml)	26. güne ait Kuru madde miktarı (g/lt)
Floresan	0,103	1000	1,58	5,49	0,088
Sarı led	0,0276	571	1,21	4,47	0,100
Beyaz led	0,0276	525	1,43	5,00	0,061
Kırmızı-mavi led	0,0165	141	0,23	0,75	0,054
Ekonomik ampul	0,0864	1803	1,21	5,38	0,116

Çizelge 5.4 Denizel *Chlorella sp.* mikroalg türü için, deneme sırasında kullanılan ışık kaynaklarının bir günlük elektrik sarfıyatı (TL).

Işık Kaynakları	Günlük Elektrik Tüketim Miktarı (TL)	Hücre Sayısı (nx10⁴ hücre/ml)	Beta karoten miktarı (µg/ml)	Klorofil a miktarı (µg/ml)	25. güne ait Kuru madde miktarı (g/lt)
Floresan	0,103	958	0,25	0,88	0,118
Sarı led	0,0276	715	0,25	0,63	0,131
Beyaz led	0,0276	661	0,10	0,68	0,071
Kırmızı-mavi led	0,0165	330	0,07	0,30	0,054
Ekonomik ampul	0,0864	886	0,36	0,73	0,075

6. ÖNERİLER

Yapılan denemeler sonucunda fotobiyoreaktör tasarımlarında ışık kaynağı olarak led sistemlerden yararlanmanın maliyeti floresanlı sistemlere nazaran yaklaşık %50 azalttığı tespit edilmiştir. Led sistemlerin kullanım ömrü, düşük elektrik sarfiyatı ve yüksek renk seçenekleri açısından kurulacak fotobiyoreaktör sistemlerinde tercih edilmesi elde edilecek ürün, maliyet açısından faydalı olacaktır.

Yapılan denemelerde, farklı ışık kaynakları ve farklı tuzluluk derişimleri kullanımı hücre sayısı, beta karoten ve klorofil a düzeyleri arasında değişiklere neden olmuştur ve her alg türü için farklı sonuçlar elde edilmiştir. Tuzluluk derişiminin *Nannochloropsis oculata* kültürlerinde %20-30, *Tetraselmis chuii* kültürlerinde ise %30-40, *Dunaliella salina* kültürlerinde ise %40 olarak ayarlanması önerilebilir. Işık kaynağı olarak, *Nannochloropsis oculata* için, ekonomik ampul, floresan ve beyaz led, *Tetraselmis chuii* için, floresan ve sarı led, *Dunaliellasalina* için; ekonomik ampul, denizel *Chlorella sp.* için, ekonomik ampul ve floresan kullanımı önerilebilir. Bu nedenle geniş renk seçenekleri, geniş tuzluluk derişimi aralıkları ve tür çeşitliliğindeki denemelerin çoğaltılması, çeşitlendirilmesi faydalı olacaktır. Az harcamayla daha yüksek verimlilikte ürün elde edebilmek için bu konuyla ilgili çalışmaların sürdürülmesi gerekmektedir.

Sonuç olarak, alg hücre sayısını artırmak ve daha yüksek bir büyüme hızına ulaşmak amacıyla, tuzluluk derişiminin *Nannochloropsis oculata* kültürlerinde %20-30, *Tetraselmischuii* kültürlerinde ise %30-40, *Dunaliellasalina* kültürlerinde ise %40 olarak ayarlanması önerilebilir.

Mikroalg biyoteknolojisinde fotobiyoreaktör tasarımı hem bilimsel hem de ekonomik açıdan önem arz eder. Fotobiyoreaktör tasarımında amaç güneş enerjisi gibi yüksek seviyeli ışık kaynağının optimal kullanımı için yeni kültür sistemlerinin yapılmasıdır (Richmond *et al.*, 1982). Ancak, fotosentetik hücrelerin ticari üretiminde yapay aydınlatma kullanmak algal biyomas maliyetlerini yükseltir. Vonshak *et. al.*, 1982, belirtildiğine göre güneş ışığı maliyeti düşürmesine rağmen iklim şartlarının uygunluğu da verimliliği etkilemektedir. Bu nedenle kültür sistemi kurulurken verimliliği etkileyecek koşullar göz önüne alınıp optimal verimliliğe ulaşması amaçlanmıştır. Ekonomik yükün minimuma indirildiği, maksimum verimlilikte ürün elde edebilecek sistemlerin

oluřturulabilmesi ve bu sistemlerin oluřturulma maliyetlerinin dūřūrūlebilmesi için arařtırmaların sūrdūrūlmesi gerekmektedir.

ūlkemiz iç su kaynaklarında mevcut canlı kaynaklarının deęerlendirilmesi ve ekonomiye kazandırılması ancak ūzerinde yapılacak arařtırmalarla mūmkūndūr. Mikroalgler hūcre içinde biriktirdikleri metabolitler bakımından ōnemli canlı gruplarındandır. Bu bakımdan sucul ortamlarda daęılım gōsteren mikroalglerin tanımı, izolasyonu ve yıęın (mass) ūretimleri yapılması ūlkemiz canlı kaynaklarının deęerlendirilmesi açısından son derece ōnemlidir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Abiusi, F., Sampietro, G., Marturano, G., Biondi, N., Rodolfi, L., and D'Ottavio, M.**, 2014, Growth, photosynthetic efficiency, and biochemical composition of *Tetraselmis suecica* F&M-M33 grown with LEDs of different colors. *Biotechnol. Bioeng.* 111, 956–964pp.
- Abu-Rezq, T. S., Al-Hooti, S., and Jacob, D.A.**, 2010, Optimum culture conditions required for the locally isolated *Dunaliella salina*, *J. Algal Biomass Utiln.*, 1 (2): 12-19pp.
- Alsull, M., and Wan Omar, W. M.**, 2012, Responses of *Tetraselmis* sp. and *Nannochloropsis* sp. Isolated from Penang National Park Coastal Waters, Malaysia, to the Combined Influences of Salinity, Light and Nitrogen Limitation, International Conference on Chemical, Ecology and Environmental Sciences, Bangkok.
- Anonim,**
http://www.hammaddeler.com/index.php?option=com_content&view=article&id=3548&Itemid=314 (Erişim tarihi: 3 Nisan 2003)
- Asulabh K.S., Supriya, G., and Ramachandra, T.V.**, 2012, Effect of Salinity Concentrations on Growth Rate and Lipid Concentration in *Microcystis* Sp., *Chlorococcum* Sp. and *Chaetoceros* Sp., LAKE: National Conference on Conservation and Management of Wetland Ecosystems, School of Environmental Sciences Mahatma Gandhi University, Kottayam, Kerala.
- Baba, M., Kikuta, F., Suzuki, I., Watanabe, M.M., and Shiraiwa, Y.**, 2012. Wavelengthspecificity of growth, photosynthesis, and hydrocarbon production in the oilproducing green alga *Botryococcus braunii*. *Bioresour. Technol.* 109, 266–270pp.
- Bartley, M., Boeing, W. J., Corcoran, A. A., Holguin, F. O., and Schaub, T.**, 2013, Effects of salinity on growth and lipid accumulation of biofuel microalga *Nannochloropsis salina* and invading organisms, biomass and bioenergy 54, 83-88pp.
- Baysal, T., ve Ersus, S.**, 1999, Karotenoidler ve insan sağlığı, *Gıda Dergisi*, 24 (3): 177-185pp.
- Becker, E.W.**, 1995, *Microalgae:Biotechnology and Microbiology*, Cambridge University Pres.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Beijerinck, M.W.**, 1890, Culturversuche mit Zoochlorellen, Lichenengonidien und anderen niederen Algen, *Botanische Zeitung* 47: 725-739, 741-754, 757-768, 781-785pp.
- Beltran, L.M., Garzon-Castro, C. L., Valencia, D. F., and Uribe, V.A.**, 2013, Web Control and monitoring system: experimentation with *Haematococcus pluvialis*, *Int. J. Eng.*, 26, 219–228pp.
- Ben-Amotz, A., and Avron, M.**, 1981. Glycerol and β -carotene metabolism in the halotolerant alga *Dunaliella*: a model system for biosolar energy conversion. *Trends Biochem. Sci.*6: 297–9pp.
- Ben-Amotz, A., and Avron, M.**, 1983. On the factors which determine massive β -carotene accumulation in the halotolerant alga *Dunaliella bardawil*. *Plant Physiol.* 72: 593–597pp.
- Ben-Amotz, A., and Shaish, A.**, 1992. Carotene bio-synthesis. In: Avron, M., Ben-Amotz, A. (Eds.), *Dunaliella: Physiology, Biochemistry and Biotechnology*. CRC Press, Boca Raton, FL, 206–216pp.
- Bertling, K., Hurse, T.J., Kappler, U., and Rakic, A.D.**, 2006, Lasers an effective artificial source of radiation for the cultivation of anoxygenic photosynthetic bacteria, *Biotechnol Bioeng* 94:337–345pp.
- Blair, M. F., Kokabian, B., and Gude, V. G.**, 2014, Light and growth medium effect on *Chlorella vulgaris* biomass production, *Journal of Environmental Chemical Engineering* 2, 665-674pp.
- Borowitzka, M.A., and Borowitzka, L.J.**, 1992. Microalgal biotechnology, Cambridge University press, Vol :1, Cambridge, 477p.
- Borowitzka, M.A., and Borowitzka, L.J.**, 1992 (Eds). *Dunaliella*. In *Microalgal Biotechnology*. Cambridge University Press, Cambridge, 27–58 pp.
- Brown, M.R., Jeffrey, S.W., and Garland, C.D.**, 1993, Nutritional aspects of microalgae used in mariculture: a literature review. CSIRO Mar. Lab. Rep. 205, 44pp.
- Butcher, R.W.**, 1959, An introductory account of the smaller algae of British coastal waters, Part I: Introduction and Chlorophyceae, Vol. ser. IV (Part 1), Great Britain: Minist. Agric. Fish. Food, Fish. Invest., 74pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Carvalho, A.P., Silva, S.O., Baptista, J.M., and Malcata, F.X.,** 2011, Light requirements in microalgal photobioreactors: an overview of biophotonic aspects, *Appl Microbiol Biotechnol* 89:1275–1288 DOI 10.1007/s00253-010-3047-8pp.
- Chaneva, G., Furnadzhieva, S., Minkova, K. and Lutavsky, J.,** 2007. Effect of light and temperature on the cyanobacterium *Arthonema africanum* a prospective phycobiliprotein producing strain. Springer Science Business Media, 19:537-544pp.
- Chen, C.Y., Chen, Y. C., Huang, H. C., Huang, C. C., Lee, W.L., and Chang, S.C.,** 2013, Engineering strategies for enhancing the production of eicosapentaenoic acid (EPA) from an isolated microalga *Nannochloropsis oceanica* CY2. *Bioresour. Technol.* 147, 160–167pp.
- Chen, H.B., Wu, J. Y., Wang, C. F., Fu, C. C., Shieh, C.J., Chen, C. I., Wang, C. Y., and Liu, Y. C.,** 2010, Modelling on chlorophyll a and phycocyanin production by *Spirulina platensis* under various light-emitting diodes. *Biochem. Eng. J.*, 53, 52–56pp.
- Cifuentes, A.S., Gonzales, M.A., Vargas, S., Hoeneisen, M., and Gonzales, N.,** 2003, Optimization of biomass, total carotenoids and astaxanthin production in *Haematococcus pluvialis* flotox strain steptoe (Nevada, USA) under laboratory 36:343-357pp.
- Cirik, S., ve Gökpınar, Ş.,** 2006, Plankton Bilgisi ve Kültürü, Ege Üniversitesi Yayınları, Su Ürünleri Fakültesi Yayın No:47, Ders Kitabı Dizini No:17. Ders Kitabı, 4. Baskı. Bornova- İzmir.
- Cohen, Z.,** 1999, Chemicals from microalgae, British Library Cataloguing-in-Publication Data, 419p.
- Cohen, Z.,** 2000. Chemicals from microalgae, Taylor and Francis publishers, 419p.
- Cohen, Z., Vonshak, A. and Richmond, A.,** 1988, Effect of environmental conditions on fatty acid composition of the red alga *Porphyridium cruentum*: correlation to growth rate, *Journal of Phycology*, 24, 328-332pp.
- Coutteau, P.,** 1996. Micro-algae. In: Lavens, P. & Sorgeloos, P. (Eds.). Manual on the production and use of live food for aquaculture. FAO Fisheries Technical Paper 361. FAO, Rome, 7-48pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Çelekli, A., ve Dönmez, G.,** 2001, Bir *Dunaliella* türünün gelişimine ve beta karoten üretimine pH ve tuz konsantrasyonlarının etkisi. *Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi*, 1. Alg Teknoloji Sempozyumu, 79-86pp (In Turkish).
- Çelikel, N., Kınık, Ö., Gönç, S., ve Kavas, G.,** 2006, Mikroalglerin gıdalarda renk verici madde (pigment) kaynağı olarak kullanımı, Türkiye 9. Gıda Kongresi, 24-26 Mayıs, pp. 447-450, Bolu.
- Dalay, M.C., Cirik, S., ve Kuru, E.,** 2001, Türkiye Ege bölgesi iklim koşullarında açık hava kültürleri için uygun *Spirulina platensis* (Stiz.) Geitl, 1930 suşunun tespiti, *Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi*, 18(3-4), 523-528pp.
- Das, P., Lei, W., Aziz, S. S., and Obbard, J. P.,** 2011, Enhanced algae growth in both phototrophic and mixotrophic culture under blue light, *Bioresource Technology* 102, 3883–3887pp.
- Del Campo, J. A., Moreno, J., Rodríguez, H., Vargas, M. A., Rivas, J., and Guerrero, M. G.,** 2000, Carotenoid content of chlorophycean microalgae: factors determining lutein accumulation in *Muriellopsis sp.* (Chlorophyta), *Journal of Biotechnology*, 76,51–59 pp.
- Dudu, Evren, Ü., Kanlıtepe, Ç., Çıracı, C., ve Dönmez, G.,** 2001, Tuz Gölünden (Konya-Türkiye) izole edilen *Dunaliella* türlerinin gliserol üretim kapasitesinin belirlenmesi. *Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi*, 1. Alg Teknoloji Sempozyumu, 225-232pp (In Turkish).
- Durmaz, Y.,** 2006, Azot kaynakları ve konsantrasyonlarının *Nannochloropsis oculata* (Eustigmatophyceae)'nın büyüme ve pigment kompozisyonuna etkisi, *Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi*, 23, 3-4, 295-299pp.
- Durmaz, Y., and Gökpınar, Ş.,** 2006, *Dunaliella salina* (Dunal) *Teodoresco* (Chlorophyceae) büyümesi üzerine tuz derişimlerinin etkileri, *E.Ü. Su Ürünleri Dergisi*, *E.Ü. Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, Cilt/Volume 23, (1-2), 121-124.
- Edge, R., McGarvey, D.J., and Truscott, T.G.,** 1997, The carotenoids as antioxidants, areview. *J. Photochem. Photobiol.*, 41, 189–200pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Fabregas, J., Dominquez, A., Requero, M., Maseda, A., and Otero, A., 2000,** Optimization of culture medium for the continuous cultivation of the microalgae *Haematococcus pluvialis*. Appl Microbiol Biotechnol, 53:530-535pp.
- Fabregas, J., Herreo, C., Cabezas, B. and Abalde, J., 1986,** Biomass production and biochemical composition in mass cultures of the marine microalga *Isochrysis galbana* parke at varying nutrient concentratipns. *Aquaculture*, 53:101-113pp.
- Fazeli, M.R., Tofighi, H., Samadi, N., and Jamalifar, H., 2006,** Effects of salinity on b-carotene production by *Dunaliella tertiolecta* DCCBC26 isolated from the Urmia salt lake, north of Iran, Bioresource Technology 97, 2453–2456pp.
- Fu, W., Guðmundsson, Ó., Paglia, G. H., Andresson, Ó.S., Pálsson, B.Ø., and Brynjólfsson, S., 2013,** Enhancement of carotenoid biosynthesis in the green microalga *Dunaliella salina* with light-emitting diodes and adaptive laboratory evolution. Appl. Microbiol. Biotechnol. 97, 2395– 2403pp.
- Goyal, A., 2007,** Osmoregulation in *Dunaliella*, Part II: Photosynthesis and starch contribute carbon for glycerol synthesis during a salt stress in *Dunaliella tertiolecta*, Plant Physiology and Biochemistry 45, 705-710pp.
- Gökpınar, Ş. ve Cirik, S., 1991,** *Phaeodactylum tricornitum*’un geniş ölçekli yığın kültürleri üzerine tuzluluk faktörünün etkisi, E. Ü. Su Ürünleri F. Eğitiminin 10. Yılında Su Ürünleri Semp., 12-14 Kasım, İzmir, 429-438pp.
- Gökpınar, Ş., 1983,** Observations on the culture of a marine diatom *Phaeodactylum tricornitum* bohlinin different nutrient and salinity concentration. Ege Ü.Fac. of Science, 6; 77-86pp.
- Göksan, T., ve Gökpınar, Ş., 2005.** *Haematococcus pluvialis* flotow (Chlorophyceae)’un farklı ışık şiddetlerinde vejetatif büyüme özellikleri, *E.U Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 22: 21-24pp.
- Grinstead, G.S., Tokach, M.D., Dritz, S.S., Goodband, R.D., and Nelssen, J.L., 2000,** Effects of *Spirulina platensis* on growth performance of weanling pigs, Animal Feed Science and Technology, 83, 237-247pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Guillard, R.R.L. and Ryther, J.H.**, 1962, Studies of marine planktonic diatoms, I. *Cyclotella nana* Hustedt and *Detonula confervacea* Cleve, *Can. J. Microbiol.*, 8: 229-239pp.
- Guillard, R.R.L.**, 1975, Culture of phytoplankton for feeding marine invertebrates in "Culture of Marine Invertebrate Animals.", Smith W.L. and Chanley M.H. (Eds.), Plenum Press, New York, USA, 26-60 pp.
- Hibberd, 1981**, Notes on the taxonomy and nomenclature of the algal classes Eustigmatophyceae and Tribophyceae (Synonym Xanthophyceae), *Botanical journal of the Linnean society*, 82: 93-119pp.
- Hoff, F.H. and Snell, T. W.**, 1997, Plankton culture manual, Florida AquaFarms Inc. Dade City, Florida, 56 s., USA.
- Horrobin, D. F.**, 1999, Lipid metabolism, human evolution and schizophrenia. Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids, Volume 60, Issues 5-6, 431-437pp.
- Hossain, S., Salleh, A., Boyce, A. N., Chowdhury, P., and Naquiuddin, M.**, 2008, Biodiesel fuel production from algae as renewable energy, *American Journal of Biochemistry and Biotechnology*, 4 (3): 250-254pp.
- Hu, Q.**, 2004, Environmental effects on cell composition, in handbook of microalgal culture: Biotechnology and applied phycology, Richmond, A. (Eds) Blackwell publishing company, 83-93pp.
- Hultberg, M., Jönsson, H. L., Bergstrand, K. J., and Carlsson, A.S.**, 2014, Impact of light quality on biomass production and fatty acid content in the microalga *Chlorella vulgaris*, *Bioresource Technology* 159, 465–467pp.
- Hunter, K.J., and Fletcher, J.M.**, 2002, The antioxidant activity and composition of fresh, frozen, jarred and canned vegetable. *Innovation Food Sci. Emerg. Technol.*, 3: 399-406pp.
- Jeong, H., Lee, J., and Cha, M.**, 2013, Energy efficient growth control of microalgae using photobiological methods, *Renew. Energ.* 54, 161–165pp.
- Jimenes, C., and Niell Xavier F.**, 1999, Influence of temperature and salinity on carbon and nitrogen content in *Dunaliella viridis* Teodoresco under nitrogen sufficiency, *Biosource Technology*. 38: 91 – 94pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Johnson, E.A., and Schroeder, W.A.**, 1995, In: Fiechter, A. (Ed.), Advances in biochemical engineering biotechnology, vol. 53. Springer-Verlag, Berlin, 119–178pp.
- Kaplan, D., Richmond, A., Dubinsky, Z., and Aaronson, S.**, 1986. Algal nutrition. In: Richmond, A. Ed., Handbook of Microalgal Mass Culture, CRC Press, FL, 147-198pp.
- Kargın, H.**, 2002, Mikroalg- Rotifer Kültür Sistemleri ve Tasarımları, Yardımcı ders kitabı, ME. Ü. Yayınları No. 5, Su Ürünleri Fakültesi Yayınları No. 3; ISBN 975–6900–08–3; 15–16pp.
- Katsuda, T., Lababpour, A., Shimahara, K. and Katoh, S.**, 2006, Astaxanthin Production by *Haematococcus pluvialis* under Illumination with LEDs, Enzyme and Microbial Technology, 35, 81-86pp.
- Katsuda, T., Lababpour, A., Shimahara, K. and Katoh, S.**, 2014, Astaxanthin Production by *Haematococcus pluvialis* under Illumination with LEDs, Enzyme and Microbial Technology, 35, 81-86pp.
- Keeling, P.J.**, 2013, The number, speed, and impact of plastid endosymbioses in eukaryotic evolution. Annu. Rev. Plant Biol. 64, 583–607pp.
- Kim, D. G., Lee, C., Park, S. M., and Choi, Y. E.**, 2014, Manipulation of light wavelength at appropriate growth stage to enhance biomass productivity and fatty acid methyl ester yield using *Chlorella vulgaris*, Bioresource Technology 159, 240–248pp.
- Kommareddy, A., and Anderson, G.**, 2003, Study of light as a parameter in the growth of algae in a Photo-Bio-Reactor (PBR), ASAE Annual International Meeting Presentation 034057, Las Vegas, USA.
- Kommareddy, A., and Anderson, G.**, 2004, Study of light requirements of a photobioreactor, North Central ASAE/CSAE Conference Presentation MB04-111, Winnipeg, USA.
- Koray, T.**, 2002, Denizel Fitoplankton. Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Yay. No:32, İzmir.
- Koru, E. and Cirik, S.**, 2003, *Spirulina platensis* (Cyanophyceae) mikroalg'inin büyümesine ve bazı biyokimyasal özelliklerine sıcaklığın etkisi, Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi, 20(3-4), 419-422pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Kwon, H.K.**, 2013, Laboratory study for the phytoremediation of eutrophic coastal sediment using benthic microalgae and light emitting diode (LED). *J. Fac. Agric. Kyushu Univ.*, 58, 417–425pp.
- Live food aquaculture training course**, www.aquatraining.org (Erişim tarihi: 3 Nisan 2014).
- Loseva, N.L., Alyabyev, A.J., Rachimova, G.G., ve Estrina, R.I.**, 1998, The effect of high temperature and salt on the metabolic heat rate of *Chlorella* cells, *Thermochimica Acta* 309: 129-131pp.
- Lourence, S., Barbarino, E., Mancini-Filho, J., Schinke, K. and Aidar, E.**, 2002, Effect of different nitrogen sources on the growth and biochemical profile of 10 marine microalgae in batch culture: An evaluation for aquaculture, *Phycology* 12: 249-255pp.
- Lubian, L.M., Montero, O., Moreno-Garrido, I., Huertas, I.E., Sobrino, C., Gonzalesdel Valle, M. and Pares, G.**, 2000, *Nannochloropsis (Eustigmatophyceae)* as source of commercially valuable pigments, *Journal of Applied Phycology*, 12; 249-255pp.
- Marchetti, J., Bougaran, G., Jauffrais, T., Lefebvre, S., Rouxel, C., Saint-Jean, B., Lukomska, E., Robert, R. and Cadoret, J.P.**, 2013, Effects of blue light on the biochemical composition and photosynthetic activity of *Isochrysis sp. (T-iso)*, *J. Appl. Phycol.*, 25, 109–119pp.
- Marriott, M.F.H., and Blankenship, R.E.**, 2011, Evolution of photosynthesis. *Annu. Rev. Plant Biol.* 62, 515–548pp.
- Masojidek, J., Koblizek, M., and Torzillo, G.**, 2004, Photosynthesis in microalgae. In: Richmond A (Ed.) *Handbook of microalgal culture: biotechnology and applied phycology*. Blackwell Science, Oxford, 20–39pp.
- Matthijs, H.C., Balke, H., Van Hes, U.M., Kroon, B., Mur, L.R., and Binot, R.A.**, 1996, Application of light-emitting diodes in bioreactors: flashing light effects and energy economy in algal culture (*Chlorella pyrenoidosa*). *Biotechnol. Bioeng.*, 50, 98–107pp.
- Mohsenpour, S.F., and Willoughby, N.**, 2013, Luminescent photobioreactor design for improved algal growth and photosynthetic pigment production through spectral conversion of light. *Bioresour. Technol.* 142, 147–153pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Molina-Grima, E., Fernandez-Sevilla, J.M., Sanchez-Perez, J.A., and Garcia Camacho, F.**, 1996, A study on simultaneous photolimitation and photoinhibition in dense microalgal cultures taking in to account incident and averaged irradiances, *Journal of Biotechnology*, 45,59- 69pp.
- Okauchi, M.**, 1991, The status of phytoplankton production in Japan, In: Rotifer and microalgae culture systems. Fulks, W. and Main, K.L. (Editörler), Proceeding of a US-Asia Workshop, Honolulu, HI, January 28-31, The Oceanic Institute, USA, 247-256pp.
- Owens, T.G., Gallagher, J.C and Alberte, R.S.**, 1987, Photosynthetic light-harvesting function of viyolaxanthin in *Nannochloropsis* spp. Eustigmatophyceae, *J. Phycol*, 23: 79-85pp.
- Özdamar, K.**, 2004, Programlar ve İstatistik Veri Analizleri, I. Kaan Yayınları, 649s, Eskişehir.
- Pazos, J.V.P. and Izquierdo, P.F.**, 2011, Synthesis of neutral lipids in *Chlorella* sp. under different light and carbonate conditions. *Cien. Tecnol. Fut.* 4, 47–58pp.
- Qiang, H., and Richmond, A.**, 1994, Optimizing the population density in *Isochrysis galbana* grown outdoor in a glass column photobioreactor, *Journal of Applied Phycology*, 6: 391-396pp.
- Rafigul, I.M., Jalal, K.C.A. and Alam, M.Z.**, 2005, Environmental factors for optimasition of *Spirulina* biomass in laboratory culture, *biotechnology*, 4(1):19-22pp.
- Reboloso-Fuentes M. M., Navarvo-Perez, A., Garcia-Camacho, F., Ramos-Miras, J. J., and Guil-Guerrero, J.L.**, 2001, Biomass nutrient profiles of the microalga *Nannochloropsis*, *J Agri Food Chem*, 49:2966-2972pp.
- Renaud, M.S., Thinh, V.L., Lambrinidis, G., and Parry, L.D.**, 2002, Effect of temperature on growth, chemical composition and fatty acid composition of tropical Australian microalgae grown in batch cultures, *Aquaculture*, 211:195- 214pp.
- Richmond, A.**, 2000, Microalgal biotechnology at the turn of millennium: A Personal View, *Journal of Applied Phycology*, 12: 441- 451pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Richmond, A., Karg, S., and Boussiba, S.**, 1982, The effect of the bicarbonate system on the competition between *Spirulina platensis* and *Chlorella sp.*, *Plant and Cell Physiol.*, 23, 1411-1417pp.
- Rodolfi, L., Chini Zittelli, G., Bassi, N., Padovani, G., Biondi, N., Bonini, G., and Tredici, M.R.**, 2009, Microalgae for Oil: Strain Selection, Induction of Lipid Synthesis and Outdoor Mass Cultivation in a Low-Cost Photobioreactor. *Biotechnology and Bioengineering* 102: 100-112pp.
- Roessler, P.G.**, 1990, Environmental control of glycerolipid metabolism in microalgae: commercial implications and future research directions, *J. Phycol.*, 26: 393-399pp.
- Saavedra, M.P.S., Jimenez, C. and Figueroa, F.L.**, 1996, Far-red light inhibits growth but promotes carotenoid accumulation in the green microalga *Dunaliella bardawi.*, *Physiol. Plant*, 98, 419–423pp.
- Sanchez, M.D., Mantell, C., Rodriguez, M., Martinez de la Ossa, E., Lubian, L.M. and Montero, O.**, 2005, Supercritical fluid extraction of carotenoids and chlorophyll a, *Journal of Food Engineering*, 66:245-251pp.
- Schenk, M. P., Thomas-Hall, R.S., Stephens, E., Marx, U.C., Mussnug, J.H., Posten, C., Kruse, O., and Hankamer, B.**, 2008, Second generation biofuels: high-efficiency microalgae for biodiesel production, *BioEnergy Research* 1: 20–43pp.
- Schneider, J., and Roessler, P.**, 1994, Radilabeling studies of lipids and fatty acids in *Nannochloropsis* (Eustigmatophyceae) an oleaginous marine alga, *Journal of Phycology*, 30, 594-598pp.
- Schulze, P.S.C., Barreira, L.A., Pereira, H.G.C., Perales, J. A., and Varela, J. C.S.**, 2014, Light emitting diodes (LEDs) applied to microalgal production, TIBTEC-1174; No., 9p.
- Seto, A., Kumasaka, K., Hosaka, M., Kojinama, E., Kashiwakura, M. and Kato, T.**, 1992, Production of Eicosapentaenoic Acid by Marine Microalgae and Its Commercial Utilization for Aquaculture. In Kyle DJ, Ratledge C (eds), *Industrial Application of Single Cell Oils*, American Oil Chemists Society, Champaign, Illinois, 219-234pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Shu, C.H., Tsai, C.H., Liao, W.H., Chen, K.Y., and Huang, H.C.**, 2012, Effects of light quality on the accumulation of oil in a mixed culture of *Chlorella sp.* and *S. cerevisiae*, *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 87, 601–607pp.
- Sloth, J.K., Wiebe, M.G. and Eriksen, N.T.**, 2006, Accumulation of phycocyanin in heterotrophic and mixotrophic cultures of the acidophilic red algae *Galdieria sulphuraria*, *Enzyme and Microbial Technology*, 38: 168-175pp.
- Smayda, T.J.**, 1969, *Limnol.* 2:342-359, 1969, *J. Phycol.* 150-157pp, 1970, 8: 353-414pp.
- Sukatar, A.**, 2002, Alg Kültür Yöntemleri, Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Serisi No: 184, 168 pp., İzmir.
- Sukenik, A.**, 1991, Ecophysiological considerations in the optimization of eicosapentaenoic acid production by *Nannochloropsis sp.* (Eustigmatophyceae), *Bioresource Technol.*, 35 (3), 263-269pp.
- Sukenik, A., Carmeli, Y., Berner, T.**, 1989, Regulation of fatty acid composition by irradiance level in the Eustigmatophyte *Nannochloropsis sp.*, *Journal Phycology*, 25: 686-692pp.
- Sukenik, A., Zmora, O., Carmeli, Y.**, 1993, Biochemical quality of marine unicellular algae with special emphasis on lipid composition: II. *Nannochloropsis sp.*, *Aquaculture*, 117, 313-326pp.
- Şahin, Y., ve Akyurt, İ.**, 2010, Planktonlar ve fotobiyoreaktörler (Derl.), *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi / The Black Sea Journal of Sciences*, Sonbahar / Fall: 1, Volume: 1, Number: 2, 83-92pp.
- Takaichi, S.**, 2011, Carotenoids in algae distribution, biosyntheses and functions, *Mar. Drugs* 9, 1101–1118pp.
- Tang, H., Chen, M., Garcia, M.E.D., Abunasser, N., Ng, K.Y.S., and Salley, S.O.**, 2011, Culture of microalgae *Chlorella minutissima* for biodiesel feedstock production, *Biotechnol Bioeng* 108(10):2280–2287pp.
- Teo, C. L., Atta, M., Bukhari, A., Taisir, M., Yusuf, A. M., and Idris, A.**, 2014, Enhancing growth and lipid production of marine microalgae for biodiesel production via the use of different LED wavelengths, *Bioresource Technology*, 162, 38–44pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Teodoresco, E.C.**, 1904, Organisation et développement du *Dunaliella*, nouveau genre de Volvocacée - Polyblepharidée. *Beihefte zum Botanischen Centralblatt* 18(Abt. 1): 215-232pp.
- Thompson, P.A., Levasseur, M.E. and Harrison, P.J.**, 1989, Light-limited growth on ammonium vs. nitrate: what is the advantage of marine phytoplankton, *Limnol. Oceanogr.*, 34:1014-1024pp.
- Torzillo.**, 1991, Temperature as an important factor affecting productivity and night biomass loss in *Spirulina platensis*. Grown outdoors in tubular photobioreactors, *Bioresource Technology*, Elsevier Sciences Publishers Ltd., England.
- Utting, S.D.**, 1985, Influence of nitrogen availability on the biochemical composition of three unicellular marine algae of commercial importance. *Aquacult. Engin.*, 4: 175-190pp.
- Vonshak, A.**, 1997, *Spirulina platensis (Arthrospira)*: physiology, cell biology and biotechnology, Taylor and Francis, London, Great Britain, 213-226pp.
- Vonshak, A., Abeliovich, A., Boussiba, S., Arad, S., and Richmond, A.**, 1982, on the production of *Spirulina* biomass; effect of environmental factor and of the population density, *Biomass*, 2, 175p.
- Vonshak, A., and Tomaselli, L.**, 2000, *Arthrospira (Spirulina)*: systematics and ecophysiology. In. *The ecology of Cyanobacteria*, B.A. Whitton and M. Potts (Eds), 505-22pp, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.
- Wang, C.Y., Fu, C.C., and Liu, Y.C.**, 2007, Effects of using light-emitting diodes on the cultivation of *Spirulina platensis*, *Journal of Biochemical Engineering*, 37, 21-25 pp.
- Weldy, S.C., and Huesemann, M.**, 2003, Lipid production by *Dunaliella salina* in batch culture: effects of nitrogen limitation and light intensity, 115-122pp.
- Yanar, Y., Celik, M., and Yanar, M.**, 2004, Seasonal changes in total carotenoid contents of wild marine shrimps (*Penaeus semisulcatus* and *Metapenaeus monoceros*) inhabiting the eastern Mediterranean, *Food Chemistry* 88 (2): 267-269pp.
- Yoshioka, M., Yago, T., Stark, Y.Y., Arakawa, H., and Morinaga, T.**, 2012, Effects of high frequency of intermittent light on the growth and fatty acid profile of *Isochrysis galbana*, *Aquaculture* 338–341, 111–117pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Zhang, T., Gong, H., Wen, X., and Lu, C.**, 2010, Salt stress induces a decrease in excitation energy transfer from phycobilisomes to photosystem II but an increase to photosystem I in the cyanobacterium *Spirulina platensis*. *Journal of Plant Physiology*, 167: 951-958pp.
- Zhao, Y., Wang, J., Zhang, H., Yan, C., and Zhang, Y.**, 2013, Effects of various LED light wavelengths and intensities on microalgae-based simultaneous biogas upgrading and digestate nutrient reduction process, *Bioresour. Technol.*, 136, 461–468pp.
- Zhao, Y.J., Hui, Z., Chao, X., Nie, E., Li, H.J., He, J., and Zheng, Z.**, 2011, Efficiency of twostage combinations of subsurface vertical down-flow and up-flow constructed wetland systems for treating variation in influent C/N ratios of domestic wastewater, *Ecol. Eng.* 37, 1546–1554pp.
- Ziegler, R., Colavito, E.A., Hartge, P., Mc Adams, M. J., Schoenberg, J. B., Mason, T.J., and Fraumeni, J.F.J.**, 1996, Importance of a-carotene, b-carotene and other phytochemicals in the etiology of lung cancer, *J. Natl. Cancer Ins.*, 88, 612- 615pp.
- Zou, N., and Richmond, A.**, 2000, Light-path length and population density in photoacclimation, *Journ. Of Applied Phycology*, 12:349-354pp.

ÖZGEÇMİŞ

Pınar Pirinç, T.C. vatandaşı olup, 23.04.1985- İzmir doğumludur. İlk ve orta öğrenimini İzmir’de tamamlamıştır. İzmir Kız Lisesi’nden 2002 yılında mezun olmuştur. 2003 yılında E.Ü. Su Ürünleri Fakültesi’ni kazanmış ve 2008’de buradan mezun olmuştur. Aynı yıl güz yarıyılında E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Su Ürünleri Yetiştiriciliği Ana Bilim Dalı’nda Yüksek lisans yapmaya hak kazanmış, 2010 yılında mezun olmuştur. Aynı yıl güz yarıyılında E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Su Ürünleri Yetiştiriciliği Ana Bilim Dalı’nda doktora yapmaya hak kazanmıştır. Halen buradaki çalışmalarına devam etmektedir.

EKLER

Ek 1 Mikroalglerin Kimyasal Kompozisyonları Üzerine Işık Kalitesinin Etkisi
(Schulze *et al.*, 2014).

Işık	λ (nm)	Alg türü	Etkisi	Referans
Mavi led	460–475	<i>Spirulina platensis</i>	Sarı, kırmızı ve beyaz ledlere kıyasla biyomasta düşük klorofil ve fikosiyanın içeriği.	Chen <i>et al.</i> , 2010
	440–470	<i>Chlorella sp</i>	Kırmızı ledlere kıyasla biyomasta yüksek lipid içeriği.	Shu <i>et al.</i> , 2012
	500	<i>Chlorella sp</i>	Kırmızı ışığa kıyasla mavi ışıktaki hafifçe yükselen lipid üretimi.	Pazos and Izquierdo, 2011
	470	<i>Dunaliella salina</i>	Mavi ışığa kırmızı ışık (660 nm) ilavesiyle β karoten ve lutein birikimi	Fu, <i>et al.</i> , 2013
	470	<i>Haematococcus pluviialis</i>	Kırmızı pigmentlerin birikimi	Beltran <i>et al.</i> , 2013
	380–470	<i>Haematococcus pluviialis</i>	Astaksantin birikimi	Katsuda <i>et al.</i> , 2004
	Geniş spektrum aralığı	<i>Isochrysis T-ISO</i>	Beyaz floresanlara kıyasla, yüksek protein içeriği ve düşük karbonhidrat ve klorofil içeriği	Marchetti <i>et al.</i> , 2013
	Geniş spektrum aralığı 475	<i>Isochrysis galbana</i> <i>Nannochloropsis oceanica</i>	Yüksek DHA ve fosfolipit içeriği Floresan, beyaz ve sarı led lere kıyasla, mavi ve kırmızı ledler de ($\lambda \approx 630$ nm) yüksek EPA içeriği	Yoshioka <i>et al.</i> , 2012 Chen <i>et al.</i> , 2013
	470	<i>Nannochloropsis sp.</i>	Fototrofik koşullar altında, kırmızı, yeşil ve beyaz ledlere kıyasla, yüksek palmitoleik asit ve düşük EPA içeriği; mikсотrofik büyümede mavi, yeşil ve beyaz ışıktaki düşük yağ asiti; fototrofik koşullar altında da benzer yağ asiti içeriği.	Das <i>et al.</i> , 2011
	450	<i>Nitzschia sp.</i>	Kırmızı (650 nm) ve sarı (590 nm) ledlere kıyasla yüksek klorofil içeriği.	Kwon, 2013
Yeşil led	Geniş spektrum aralığı 470	<i>Phaeodactylum tricornutum</i> <i>Tetraselmis suecica</i>	Kırmızı ve beyaz ledlere kıyasla yüksek klorofil içeriği. Beyaz floresanlara, kırmızı, yeşil, mavi ledlere kıyasla yüksek klorofil birikimi; kırmızı ledlere kıyasla mavi ışık altında yüksek karbonhidrat içeriği	Costa <i>et al.</i> , 2013 Abiusi <i>et al.</i> , 2014
	Geniş spektrum aralığı	<i>Chlorella vulgaris</i>	Mavi, sarı, turuncu ve kırmızı geniş ışık spektrumuna kıyasla yüksek klorofil birikimi.	Mohsenpour and Willoughby, 2013
Kırmızı led	550	<i>Nannochloropsis sp.</i>	Fototrofik koşullar altında floresan ve kırmızı, beyaz ledlere kıyasla yüksek arakidonik asit içeriği.	Das <i>et al.</i> , 2011
	660	<i>Botryococcus braunii</i>	Mavi ve yeşil ledlere kıyasla yüksek karotenoid/klorofil oranı	Baba <i>et al.</i> , 2012
	660	<i>Chlorella sp.</i>	Sarı, mavi, beyaz ledlere kıyasla yüksek biyogaz üretimi.	Zhao <i>et al.</i> , 2013
	660	<i>Chlorella minutissima</i>	Yağ asitinde C18:2 içeriği artışı, C18:3 içeriği azalışı, floresan ve beyaz ledler arasında yağ asiti değişikliği yoktur, bütün ışık kaynakları arasındaki total yağ asiti değişmemiştir.	Tang <i>et al.</i> , 2011
	680	<i>Nannochloropsis sp.</i>	Fototrofik koşullar altında, mavi, yeşil, beyaz ledlere kıyasla yüksek oleik asit içeriği.	Das <i>et al.</i> , 2011
	Geniş spektrum aralığı	<i>Tetraselmis suecica</i>	Mavi, yeşil, beyaz ledlere kıyasla kırmızı ışık altında EPA içeriği artışı.	Abiusi <i>et al.</i> , 2014
Koyu kırmızı led	Geniş spektrum aralığı	<i>Dunaliella salina</i>	Floresan lamba altında hücre büyümesine kıyasla yüksek karotenoid seviyesi.	Saavedra <i>et al.</i> , 1996