TUZLULUĞUN *Halopteris filicina* (Grateloup) Kützing (Phaeophyceae) TÜRÜ ÜZERİNE FİZYOLOJİK ETKİLERİ

Seher OK HAYRANDERE

T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TUZLULUĞUN *Halopteris filicina* (Grateloup) Kützing (Phaeophyceae) TÜRÜ ÜZERİNE FİZYOLOJİK ETKİLERİ

Seher OK HAYRANDERE
0009-0001-0993-3945

Prof. Dr. Gamze YILDIZ
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
BİYOLOJİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2024
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TUZLULUĞUN *Halopteris filicina* (Grateloup) Kützing (Phaeophyceae) TÜRÜ ÜZERİNE FİZYOLOJİK ETKİLERİ

Seher OK HAYRANDERE

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Biyoloji Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Gamze YILDIZ

Küresel iklim değişikliği sonucunda deniz suyu sıcaklığının artması, buzulların erimesi ve artan yağışlarla deniz seviyesinin yükselmesi, deniz suyunun tuzluluğunu azaltabileceği düşünülmektedir. Bu tuzluluk değişikliklerinin deniz yosunları üzerindeki etkileri üzerine daha fazla anlayış kazanmak önemlidir. Bu nedenle bu çalışma, *Halopteris filicina* (Grateloup) Kützing türünün tuzluluk değişimlerine olan tepkisini incelemeyi amaçlamaktadır. Eylül 2023'te Çandarlı istasyonundan toplanan *H. filicina* örnekleri, Ege Denizi suyu özelliklerine en yakın koşullarda laboratuvar koşullarına alınıp, adaptasyon sürecinden sonra 3 farklı tuz derişimine (23 ppt, 33 ppt ve 40 ppt) sahip suni deniz suyu içeren akvaryumlara yerleştirilip 4 hafta boyunca kültüre alınmıştır. Örneklerin günlük büyüme hızı, nitrojen metabolizması (nitrat redüktaz aktivitesi), klorofil-a ve fukoksantin pigmenti, protein içeriği ve fotosentez aktivitesi haftalık olarak ölçülmüştür. Bu analizler, tuzluluk değişimlerinin türün fizyolojik ve morfolojik özellikleri üzerindeki etkilerini değerlendirmeye yardımcı olmuştur.

Çalışma sonucuna göre *H. filicina* türünün günlük büyüme oranı, fotosentetik pigment içeriği, fotosentez aktivitesi ve protein içeriğinin tuzluluk stresinden etkilenmediği saptanmıştır. Nitrat redüktaz aktivitesinin ise zamana ve tuzluluğa bağlı olarak etkilendiği görülmüştür. 23 ppt tuz derişimindeki örneklerde nitrat redüktaz aktivitesinin genelde yüksek son haftada ise düşük seviyelerde olduğu gözlemlenmiştir.

Bu çalışma, *H. filicina* türünün tuzluluk stresinden etkilenmediğini ortaya koymuştur. İntertidal bölgede yaşayan bu türün, tuzluluk değişimlerine karşı toleranslı olması ve kozmopolit bir tür olması nedeniyle de bu değişimlerden etkilenmediği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Fotosentez, Halopteris, Nitrat redüktaz, Tuzluluk
2024, vii + 49 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

PHYSIOLOGICAL EFFECTS OF SALINITY ON THE SPECIES *Halopteris filicina* (Grateloup) Kützing (Phaeophyceae).

Seher OK HAYRANDERE

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Biology

Supervisor: Prof. Dr. Gamze YILDIZ

As a result of global climate change, rising sea water temperature, melting glaciers and sea level rise due to increased precipitation are thought to reduce the salinity of seawater. It is important to gain more understanding on the effects of these salinity changes on seaweeds. Therefore, this study aims to investigate the response of the species *Halopteris filicina* (Grateloup) Kützing to salinity changes.*H. filicina* specimens collected from Çandarlı station in September 2023 were transferred to laboratory conditions under conditions closest to the characteristics of Aegean Sea water, and after the adaptation process, they were placed in aquariums containing artificial seawater with 3 different salt concentrations (23 ppt, 33 ppt and 40 ppt) and cultured for 4 weeks. Daily growth rate, nitrogen metabolism (nitrate reductase activity), chlorophyll-a and fucoxanthin pigment, protein content and photosynthetic activity were measured weekly. These analyses helped to assess the effects of salinity changes on the physiological and morphological characteristics of the species.

According to the results of the study, daily growth rate, photosynthetic pigment content, photosynthetic activity and protein content of *H. filicina* species were not affected by salinity stress. Nitrate reductase activity was found to be affected by time and salinity. In samples at 23 ppt salt concentration, nitrate reductase activity was generally high and low in the last week.

This study revealed that *H. filicina* was not affected by salinity stress. It is thought that this species, which lives in the intertidal zone, is not affected by these changes because it is tolerant to salinity changes and is a cosmopolitan species.

Key words: Photosynthesis, Halopteris, Nitrate Reductase, Salinity
2024, vii + 49 pages.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans ve tez çalışmam boyunca benimle sürekli ilgilenen ve yönlendiren, desteğini esirgemeyen değerli tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Gamze YILDIZ'a teşekkürlerimi sunarım.

Arazi çalışmasında yardımını esirgemeyen değerli Biyolog Dr. Sinem GÜZELVARDAR'a ve laboratuvar çalışmalarımda bana yardımcı olan, desteklerini esirgemeyen değerli arkadaşlarım Esra BELİK, Ecem KARİP, Nergis COŞKAN ve Arş. Gör. Özden DERE'ye teşekkürlerimi sunarım.

Her anımda yanımda olan, maddi ve manevi desteğini esirgemeyen sevgili eşim Oğuzhan HAYRANDERE'ye ve beni her anlamda güçlü kılan, mutluluk veren canım oğlum Metehan Ege HAYRANDERE'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca beni destekleyen, her zaman yanımda olan, güç veren annem Ummahan OK'a ve hep yanımda hissettiğim babam Mehmet OK'a ve hayatımın her alanında yanımda olan tüm sevdiklerime teşekkürlerimi sunarım.

Seher OK HAYRANDERE
…/…/…….

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET viii
ABSTRACT ix
TEŞEKKÜR x
İÇİNDEKİLER xi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ xii
ŞEKİLLER DİZİNİ xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ xiv
1. GİRİŞ 1
2. KURAMSAL TEMELLER 6
2.1. Kahverengi Algler ve *Halopteris filicina* (Grateloup) Kützing türü 6
2.2. Deniz Yosunlarında Fotosentez ve Fotosentetik Pigmentler 9
2.3. Deniz Yosunlarında Azot Metabolizması 15
2.4. Pulse Amplitude Modulation Klorofil Floresan Tekniği 16
3. MATERYAL ve YÖNTEM 18
3.1. Deney Esnasında Kullanılan Cihazlar 18
3.2. Arazi Çalışması ve Deneysel Düzenek 18
3.3. Ekofizyolojik Analizler 21
3.3.1 Günlük Büyüme Oranı 22
3.3.2. Klorofil-a, Fukoksantin 22
3.3.3. Nitrat Redüktaz Aktivitesi 22
3.3.4. Klorofil Floresans Ölçümleri 23
3.3.5. Toplam Protein Miktarı 23
3.4. İstatiksel Analizler 24
4. BULGULAR 25
4.1. Günlük Büyüme Oranı 25
4.2. Klorofil-a 25
4.3. Fukoksantin 27
4.4. Nitrat Redüktaz Aktivitesi 29
4.5. PAM Klorofil Floresan Ölçümleri 30
4.6. Toplam Protein Miktarı 36
5. TARTIŞMA ve SONUÇ 38
KAYNAKLAR 42
ÖZGEÇMİŞ 49

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Kısaltmalar
A	Absorbans
ppt	Binde bir
dk	Dakika
I_k	Doygunluk ışık yoğunluğu
alfa	FA- eğrisinin başlangıç eğimi
g	Gram
L	Litre
F_v/F_m	PSII'nin Maksimum Kuantum Ürünü
M	Molar
m^2	Metre kare
µ mol	Mikromol
mg	Miligram
ml	Mililitre
µ	Mikron
nm	Nanometre
^oC	Santigrat derece
s	Saniye
cm	Santimetre
%	Yüzde

Kısaltmalar	Açıklama
ATP	Adenosin Trifosfat
NH_4^+	Amonyum
PSI	Fotosistem I
PSII	Fotosistem II
CO_2	Karbondioksit
rETRmax	Maksimum Göreceli Elektron Transfer Oranı
NADPH	Nikotinamid Adenin Dinükleotid Fosfat
NO_3^-	Nitrat
NO_2^-	Nitrit
PAM	Pulse Amplitude Modulation (Modulasyonlu Atış Genişliği)
H_2O	Su

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil	2.1.	*Halopteris filicina* türünün genel görünümü …….....	**8**
Şekil	2.2.	Fotosentezin genel reaksiyon denklemi……...	**9**
Şekil	2.3.	Işığa bağımlı ve ışığa bağımsız reaksiyonların kloroplast organelinde gerçekleştiği kısımlar……...	**10**
Şekil	2.4.	Fotosistem merkezleri ve Fotosentezin ışık reaksiyonları ile Kalvin döngüsü……	**12**
Şekil	2.5.	Klorofil-a, Klorofil-b, Klorofil-c1 ve Klorofil-c2 moleküllerinin yapısı……...	**13**
Şekil	2.6.	Fukoksantin pigmentinin yapısı…….....	**14**
Şekil	2.7.	Fotosentez aydınlanma eğrisi ve Fotosentetik parametreler…	**17**
Şekil	3.1.	Örnekleme alanı …….....	**19**
Şekil	3.2.	Deney düzeninin görüntüsü……..……	**20**
Şekil	3.3.	Akvaryumu genel görüntüsü…….....	**21**
Şekil	4.1.	Farklı tuz derişimlerine maruz kalan *Halopteris filicina* türünün günlük büyüme oranı…….....	**25**
Şekil	4.2.	Farklı tuz derişimlerine maruz kalan *H. filicina* türünün klorofil-a miktarları.....	**26**
Şekil	4.3.	Farklı tuz derişimlerine maruz kalan *H. filicina* türünün fukoksantin miktarları……	**28**
Şekil	4.4.	Farklı tuz derişimlerine maruz kalan H. *filicina* türünün nitrat redüktaz aktivitesi…….....	**29**
Şekil	4.5.	Farklı tuz derişimlerine maruz kalan *H. filicina* türünün F_v/F_m değerleri……	**31**
Şekil	4.6.	Farklı tuz derişimlerine maruz kalan H. *filicina* türünün $rETR_{max}$ değerleri……	**32**
Şekil	4.7.	Farklı tuz derişimlerine maruz kalan H. *filicina* türünün I_k değerleri……	**34**
Şekil	4.8.	Farklı tuz derişimlerine maruz kalan H. *filicina* türünün alfa değerleri……...	**35**
Şekil	4.9.	Farklı tuz derişimlerine maruz kalan H. *filicina* türünün toplam protein miktarı…….....	**36**

ÇİZELGELER DİZİNİ

			Sayfa
Çizelge	4.1.	Farklı tuz derişimlerine maruz kalan *H. filicina* türünün klorofil-a miktarları için çift yönlü varyans analizi sonuçları……	**27**
Çizelge	4.2.	Farklı tuz derişimlerine maruz kalan *H. filicina* türünün fukoksantin miktarı için çift yönlü varyans analizi sonuçları……	**28**
Çizelge	4.3.	Farklı tuz derişimlerine maruz kalan *H. filicina* türünün nitrat redüktaz aktivitesi için çift yönlü varyans analizi sonuçları……	**30**
Çizelge	4.4.	Farklı tuz derişimlerine maruz kalan *H. filicina* türünün F_v/F_m değerleri için çift yönlü varyans analizi sonuçları……	**32**
Çizelge	4.5.	Farklı tuz derişimlerine maruz kalan *H. filicina* türünün $rETR_{max}$ değerleri için çift yönlü varyans analizi sonuçları…..……	**33**
Çizelge	4.6.	Farklı tuz derişimlerine maruz kalan *H. filicina* türünün I_k değerleri için çift yönlü varyans analizi sonuçları……	**34**
Çizelge	4.7.	Farklı tuz derişimlerine maruz kalan *H. filicina* türünün alfa değerleri için çift yönlü varyans analizi sonuçları……	**35**
Çizelge	4.8.	Farklı tuz derişimlerine maruz kalan *H. filicina* türünün toplam protein miktarı için çift yönlü varyans analizi sonuçları….....	**37**

1. GİRİŞ

Deniz suyundaki tuzluluk, jeolojik bölgelerdeki kayaçlardan farklı etkilerle çözünen minerallerden kaynaklanmaktadır. Denizlerdeki tuzluluk, buharlaşma ve yağışın etkisiyle birlikte derinlikle de ilişkili olarak değişiklik göstermektedir. Tuzluluk, açık okyanus sularında genellikle sabit derişimdedir. Ancak kıyıya yakın bölgelerde rüzgâr, buharlaşma, yağış gibi sebeplerle değişkenlik gösterebilmektedir (Karsten, 2012).

Denizlerdeki tuzluluk, çeşitli faktörlerden etkilenerek değişebilmektedir. Özellikle iklim değişikliği, buzulların erimesi, yağış miktarı, deniz suyu buharlaşması ve akarsuların tatlı suyu denize taşıması gibi süreçler tuzluluğun değişmesine katkı sağlamaktadır. Buzulların erimesi ve artan yağışlar deniz suyu tuzluluğunu düşürebilirken, yoğun buharlaşma ve azalan yağışlar tuzluluğun artmasına neden olabilmektedir. Bu değişiklikler, deniz ekosistemlerinde organizmalar üzerinde önemli etkilere sahip olabilmektedir. Özellikle tuzluluk değişimlerinin, deniz canlılarının yaşam alanlarını, besin kaynaklarını ve diğer yaşamsal faktörleri etkileyerek ekosistem dengesini bozabileceği düşünülmektedir. Deniz yosunlarının yerel ve bölgesel dağılımını belirgin bir şekilde etkileyen faktörlerden biri tuzluluktur (Nejrup ve Pedersen, 2012). Kıyısal sulardaki tuzluluk seviyeleri genellikle okyanus sularındaki kararlı durumdan farklıdır.

Su dolaşımındaki, oksijen seviyesindeki ve özellikle tuzluluktaki değişimler sonucu su sıcaklığında artış meydana gelmektedir. Bu değişimlerden deniz yosunu, plankton ve balık topluluklarının etkileneceği tahmin edilmektedir. Bu tür değişikliklerin, ekosistemi etkilemesi ve trofik yapı üzerinde dolaylı etkiler yaratması beklenmektedir (Scherner vd., 2012). Deniz yosunlarının üzerlerinde oluşan olumsuz etkiler, kıyısal bölgelerde ve limanlarda primer üretici olmaları nedeniyle diğer toplulukları da etkileyebileceği düşünülmektedir (Ytreberg vd., 2011). Deniz yosunlarının kıyısal ekosistemlerdeki büyük önemi göz önüne alındığında, deniz yosunu popülasyonundaki olası bir azalmanın kommunite üzerinde dramatik sonuçlara yol açabileceği düşünülmektedir (Bischof vd., 2006).

Deniz yosunlarının primer üretici olması ve su ortamlarında diğer canlılara habitat sağlaması nedeniyle iklim değişikliğinin deniz yosunlarına etkileri büyük önem taşımaktadır (Wilson vd., 1990; Airoldi vd., 2008; Brown vd., 2010). Ayrıca, deniz yosunları kıyısal ekosistemlerde meydana gelen çevresel değişikliklere hızlı tepki verdiklerinden dolayı, biyoindikatör olarak kullanılabilmektedir (Tribollet ve Vroom, 2007).

Deniz yosunlarının dağılımı, biyoçeşitliliği ve fizyolojik işlevleri genellikle çevresel faktörlerin etkisi altında şekillenmektedir. (Karsten, 2012). Alglerin dağılımını etkileyen ekolojik faktörler arasında fiziksel faktörler (substrat, sıcaklık, ışık, bulanıklık), kimyasal faktörler (tuzluluk, pH, O_2 ve karbondioksit (CO_2) seviyeleri, besin tuzları, oligoelementler, vitaminler) ve dinamik faktörler (dalgalanma, deniz seviyesindeki değişiklikler, akıntılar, basınç) bulunmaktadır (Cirik vd., 2010). İntertidal deniz yosunları çevresel faktörlere maruz kalmaktadır. Bu faktörler arasında besin azlığı, sıcaklık, kuruma, ışık ve tuzluluk yer almaktadır (Davison ve Pearson, 1996). Bu faktörler belirli bir tür için minimum-maksimum aralığın dışında olduğunda, türün büyüme ve fotosentez yeteneği sınırlanabilmektedir (Wang vd., 2012).

Tuzluluk, deniz yosunlarının dağılımında belirleyici bir rol oynamaktadır (Ramlov vd., 2012). İntertidal bölgede yaşayan deniz yosunu türleri, tuzluluk değişimlerine karşı subtidal bölgede yaşayan deniz yosunu türlerine göre daha az etkilenmektedir (Karsten vd., 1991). Her türün yaşayabileceği kendine özgü optimum aydınlık, sıcaklık ve tuzluluk değerleri bulunmaktadır. Yıldız ve Tiryaki (2017)'nin çalışmasına göre, aynı bölgede bulunan türlerin tuzluluk değişimlerine karşı farklı fizyolojik tepkiler sergileyebileceği anlaşılmaktadır. Yapılan araştırmalar, farklı deniz yosunu türlerinin en iyi büyüme hızını farklı tuzluluk seviyelerinde gösterdiğini ortaya koymaktadır (Yıldız ve Tiryaki, 2018).

Tuzluluğun artması, hücrelerin fotosentez ve protein sentezi yeteneklerini azaltabilmektedir (Gökpınar, 1983). Deniz yosunlarının fotosentez verimliliği, üreme yeteneği, gelişimi ve büyümesi çevresel değişimlerden önemli ölçüde etkilenmektedir (Gao ve Xu, 2010; Gevaert vd., 2003; Yıldız ve Tiryaki, 2017).

Deniz ekosisteminin primer üreticisi olan deniz yosunları; ticari, ekolojik ve biyolojik açılardan büyük önem arz eden canlılardır. Deniz yosunları, mineral maddeler, protein ve yağ asitleri bakımından oldukça zengindir.

Deniz yosunlarının biyokimyasal bileşenleri de ışık, sıcaklık, tuzluluk gibi çeşitli koşullara bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Deniz yosunu türleri, hücrelerinde vitamin, protein, hidrokarbon, yağ asitleri, polisakkaritler, pigment ve birçok metaboliti yüksek miktarlarda doğal olarak biriktirebilmektedirler. Deniz yosunları zengin protein, yağ asitleri ve mineral içeriği nedeniyle uzun zamanlardan beri insanlar tarafından gıda, endstüriyel gübre, hayvan yemi ve farmasötik ürün kaynağı olarak kullanılmaktadır (Durmaz vd., 2020). Deniz yosunlarının içerdikleri besin içeriklerinin miktarı ve çeşitliliği, türler arasında farklılık gösterirken, mevsimler, coğrafi bölge ve sıcaklık gibi faktörlerin de bu özellikleri etkilediği bilinmektedir (Pinchetti vd., 1998).

Bazı alg türlerinde tuzluluğun artmasıyla protein içeriğinde azalma olduğunu gözlemlemiştir (Fabregas vd., 1985). Alglerin pigment içeriği de hem türler arasında hem de fizikokimyasal faktörlere bağlı olarak değişebilmektedir (Ramaraj vd., 2013). Tuzluluğun, deniz yosunlarında organik osmolitlerin (prolin, mannitol, sükroz sorbitol vb.) sentezini artırdığı da belirlenmiştir (Eggert vd., 2007; Kirst, 1990).

Ogata ve ve Schramm (1971), tuzluluğa karşı verilen tepkilerin diğer çevresel koşulların (sıcaklık, ışık, pH, besin maddeleri vb.) şiddetine bağlı olarak değişebileceğini gözlemlemiştir. Ayrıca, türün tuzluluktan etkilenme seviyesi, türün genotipine ve hücrelerindeki metabolik değişikliklere bağlı olarak çeşitli şekillerde açığa çıkmaktadır (Perez-Alfocea vd., 1996; Luna vd., 1994). Dayanıklı genotipler, tuzluluğa karşı tolerans göstermek için tuzdan sakınım, osmotik potansiyelini artırma gibi mekanizmaları kullanmaktadır. Hassas genotipler, tuzluluk değişimlerine karşı uyum sağlama mekanizmalarında başarı sağlayamayarak tuzluluktan etkilenmektedir (Doğan vd., 2008).

Tuzluluk, iyon konsantrasyonu ve osmoregülasyonunu etkileyip organizmaların biyolojik işlevlerini değiştirdiği için deniz yosunlarının dağılımında belirleyici bir faktör olarak görülmektedir (Ramlov vd., 2012). Tuzluluktaki değişimler, deniz yosunlarında hücre içerisindeki osmolariteyi etkileyerek organizmanın stres yaşamasına yol açmaktadır. Bu durum, ortamdaki tuzluluk değişimiyle birlikte oluşan osmotik gradyan ve ardından gerçekleşen su akışı ile karakterize edilmektedir. Bu süreç, organizmanın turgor basıncını ve hücre hacmini değiştirmektedir (Kirst, 1989).

Özellikle tidal ve intertidal bölgede yaşayan alg türlerinin tuzluluk değişimine karşı oluşturdukları iyonların ve osmolitlerin derişimlerini ayarlamada daha üstün performans sergiledikleri gözlemlenmiştir. Bu bölgede bulunan alg türlerinin, tuzluluk değişimlerine karşı pelajik bölgede yaşayan türlerden daha dayanıklı olduğu görülmektedir (Kirst, 1989). Deniz yosunlarının metabolik yükünü artıran tuzluluktaki değişimler, enerji kaynaklarını daha az verimli kullanmalarına neden olarak büyüme ve diğer metabolik süreçler için sınırlı bir kaynak bırakmaktadır. Bu durum, tuzluluk değişimlerine dayanıklı olmayan türlerde büyüme, gelişme ve üreme gibi faaliyetleri olumsuz yönde etkileyerek, bu türlerde strese neden olabilmektedir (Çetin, 2014). Bu nedenle, her geçen gün deniz yosunlarının tuz stresine nasıl tepki verdiğini ve adaptasyon sağladığını anlamak daha çok önem arz etmektedir.

Tuzluluk stresine karşı deniz yosunlarının fizyolojik ve biyokimyasal tepkileri geniş çapta araştırılmıştır. Bunlar, iyon homeostazı, osmotik uyum, metabolit birikimi, solunum, fotosentez, büyüme ve gelişmedir (Parida ve Das, 2005; Kirst, 1990). Bu çalışmalar, tuz derişimindeki değişikliklerin deniz yosunlarında spor salınımı, büyüme, pigment içeriği ve fotosentetik performansları üzerinde etkisi olduğunu ortaya koymaktadır (Imchen, 2012; Lartigue vd., 2003; Bunsom ve Prathep, 2012; Yıldız ve Dere, 2008; Sudhir ve Murthy, 2004).

Son araştırmalar özellikle tuz stresinin fotosentetik performans üzerindeki etkilerini incelemektedir (Liang vd., 2013; Gao vd., 2016). Farklı tuz derişimlerinin deniz yosunları üzerindeki etkileri, alg türüne, tuz derişimine ve maruz kalma süresine bağlı olarak değişebilmektedir.

Ancak genel olarak, tuzluluk seviyelerindeki artış veya azalma deniz yosunlarının fizyolojisi, büyüme, üreme ve metabolik faaliyetleri üzerinde çeşitli etkilere neden olabilmektedir.

Küresel iklim değişikliği sonucunda deniz suyu sıcaklığının artması, buzulların erimesi ve artan yağışlarla deniz seviyesinin yükselmesi ile deniz suyu tuzluluğunun azalabileceği düşünülmektedir. Bu tuzluluk değişimlerinin deniz yosunları üzerindeki etkilerine dair daha fazla bilgi edinmek ekolojik açıdan önemlidir. Ayrıca intertidal bölgede yaşayan türlerin diğer bölgede yaşayan türlere göre tuzluluk stresine karşı daha toleranslı olduğu düşünülmektedir. Yapılan çalışmalar her tür için bu genel kanının doğru olmadığını göstermektedir. Türler arasında morfolojik yapı, biyokimyasal özellikler ve korunma mekanizmaları farklılık gösterdiği için farklı türler tuzluluk stresine farklı tepkiler vermektedirler.

Türler arasındaki bu farklılıklar nedeniyle bu çalışma, eksik bilgilerin tamamlanması ve literatüre katkı sağlaması amacıyla daha önce çalışılmamış *Halopteris filicina* türünün tuzluluk değişimlerine olan tepkisini incelemeyi amaçlamaktadır. Eylül 2023'te Çandarlı kıyılarından toplanan *Halopteris filicina* örnekleri, 3 farklı tuz derişiminde (23 ppt, 33 ppt ve 40 ppt) 4 hafta boyunca kültüre alınmış ve tuz derişiminin fizyolojik etkileri haftalık olarak ölçülmüştür.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Kahverengi Algler ve *Halopteris filicina* (Grateloup) Kützing türü

Phaeophyceae (kahverengi algler), karmaşık morfolojiye ve gelişmiş anatomiye sahip bir grup olup yaklaşık 1800 türü içermektedir. Bu alglerin uzunluğu 60 metreye kadar ulaşabilmektedir (Dawes, 1998). Kahverengi algler, geniş bir yaşam alanına sahiptir. Örneğin bazı kahverengi alg türleri kaya havuzları, intertidal bölgeler, kıyıya yakın sular ve gelgit bölgelerinde yaşamlarını sürdürmektedir (Lee, 2008).

Kahverengi alglerde, klorofil a ve c, ksantofil pigmenti olarak fukoksantin, beta-karoten ve diğer pigmentler bulunmaktadır. Bu pigmentlerin etkileşimi renklerinin koyu zeytin yeşilinden kahverengiye kadar değişmesine neden olmaktadır. Kahverengi alglerde bazı karbonhidratlar bulunmaktadır. Bunlar, selüloz, laminarin, fukoidin, alginik asit ve mannitoldan oluşmaktadır. Kahverengi alglerin polisakkarit miktarları ise türe, büyüme koşullarına ve çevresel faktörlere bağlı olarak değişebilmektedir (Karakuş, 2011). Esmer deniz yosunları önemli biyoaktif bileşik kaynakları olarak kabul edilmektedir (Gupta ve Abu-Ghannam, 2011). Bu biyoaktif bileşikler arasında karotenoid olarak fukoksantin, polifenol olarak florotannin ve polisakkarit olarak da fukoid, aljinat ve laminarin bulunmaktadır. Ek olarak omega 3 (çoklu doymamış yağ asitleri) içermektedir (Holdt ve Kraan, 2011).

Bu deniz yosunlarının hücreleri genellikle bir çekirdeğe sahiptir ve çekirdeği belirgindir. Eşeyli üreme çoğu esmer deniz yosunu türünde haploid ve diploid evrenin baskınlığı olarak değişiklik göstermekle birlikte isogami, anisogami veya oogami şeklinde gerçekleşmektedir (Thomas, 2002). Esas depo maddesi laminarindir ve kahverengi alglere özgüdür. Alkol tabiatında olan mannitol de bir fotosentez ürünüdür. Kışın çok az, yazın çok fazla sentezlenmekte ve deniz yosununun yayılış gösterdiği derinliğe de bağlı olarak değişmektedir. Laminarin ve mannitol dışında müsilajlı bir madde olan algin ve fukosterol, sargesterol gibi yağlar da sentez edilmektedir.

Günümüzdeki moleküler sistematik ve filogenetik çalışmalara dayanarak, kahverengi alglerin sınıflandırması Heterokonthaphyta filumu altında Phaeophyceae sınıfı olarak yer almaktadır. Bu sınıf, Dictyotophycida, Discosporangiophycidae, Fucophycidae ve Ishigeophycidae olmak üzere dört alt sınıfa ayrılmaktadır.

Çalışma materyali olan *Halopteris filicina* (Grateloup) Kützing türünün sistematikteki yeri aşağıdaki şekildedir (https://www.algaebase.org).
Empire: Eukaryota
Kingdom: Chromista
Phylum: Heterokontophyta
Subphylum: Ochrophytina
Class: Phaeophyceae
Subclass: Dictyotophycidae
Order: Sphacelariales
Family: Stypocaulaceae
Genus: Halopteris
Species: *filicina*

H. filicina, 10 cm yüksekliğe kadar büyüyen yeşilimsi kahverengi, eğrelti otu benzeri bir deniz yosunudur. Uzun ve uca doğru sivrilen bir dizi ayrı gövde, kök benzeri görünüme sahip bir tutunma yerinden büyümektedir. Her bir gövde, sırayla kısa, iğnemsi dallar taşıyan yan dallar taşımaktadır ve bu dalların yoğunluğu gövdenin üst kısmına doğru artmaktadır. *H. filicina* ışığı az alan littoral bölgede ve 20 m derinliğe kadar sublittoral bölgelerde çoğunlukla epifit şekilde yaşamaktadır. *H. filicina*, *H. scoparia* türüne benzer ancak görünüş olarak daha az gürdür. Üreme sporangiyumları oval şekildedir ve kısa saplar üzerinde dalcıkların ekseninde tekil olarak konumlanmaktadır. Şekil 2.1'de tez çalışmasında kullanılan *H. filicina* türünün genel görünümü verilmiştir.



Şekil 2.1. *Halopteris filicina* türünün genel görünümü (Petri 13 cm)

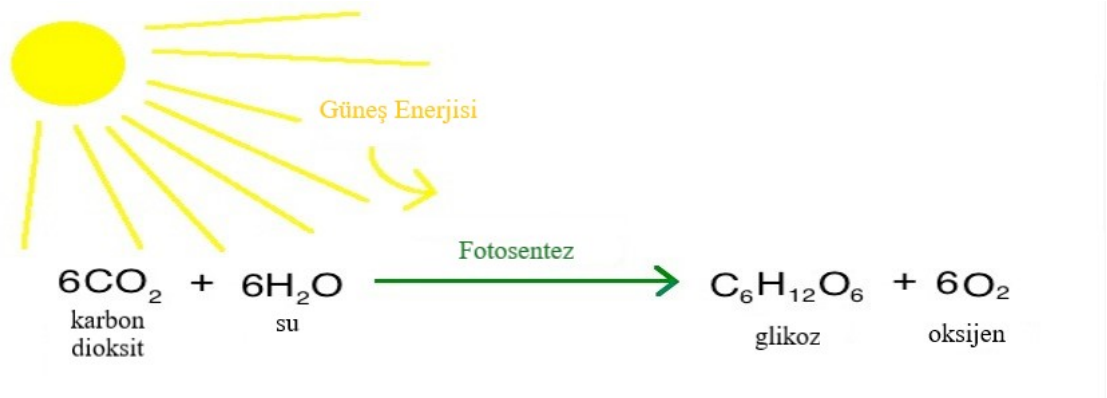
Bu tür, ılıman ve tropikal sularda oldukça geniş bir coğrafi dağılıma sahiptir (Loyda vd., 2019). Atlantik Okyanusu'nda, Azor Adaları'ndan (Tittley ve Neto, 1994), İskandinav Yarımadası'ndan (Athanasiadis, 1996), Bahamalar'dan (Ballantine ve Aponte, 2003), Florida'dan (Dawes ve Mathieson, 2008), Brezilya'dan (Menezes-Széchy ve Paula, 2010), İspanya'dan (Afonso-Carrillo, 2014), Büyük Britanya'dan (Bunker vd., 2017), Fas'tan (Moussa vd., 2018) ve Fransa'dan (Burel vd., 2019) bildirilmiştir. Hint Okyanusu'nda, bu tür Güney Afrika'dan (Silva vd., 1996) ve Umman Denizi'nden (Wynne, 2018) rapor edilmiştir.

Pasifik Okyanusu'nda, Şili'den (Ramírez ve Sante-lices, 1991), Hawaii'den (Abbott ve Huisman, 2004) ve Japonya'dan (Yoshida vd., 2015) rapor edilmiştir. Ayrıca, bu tür Akdeniz'de de bulunmuştur: Libya ve Tunus'tan (Ribera vd., 1992), Mısır'dan (Aleem, 1993), Malta'dan (Cormaci vd., 1997), Slovenya'dan (Rindi ve Battelli, 2005), İsrail'den (Einav ve Israel, 2008), Türkiye'den (Taşkın vd., 2008), İspanya'dan (Joher vd., 2012), Yunanistan'dan (Tsiamis vd., 2013), Cezayir'den (Ould-Ahmed vd., 2013), Kıbrıs'tan (Tsiamis vd., 2014) ve İtalya'dan (Bottalico vd., 2016) bildirilmiştir.

Türkiye'de ise Ege, Akdeniz, Karadeniz ve Marmara'da rapor edilmiştir (Taşkın, 2019).

2.2. Deniz Yosunlarında Fotosentez ve Fotosentetik Pigmentler

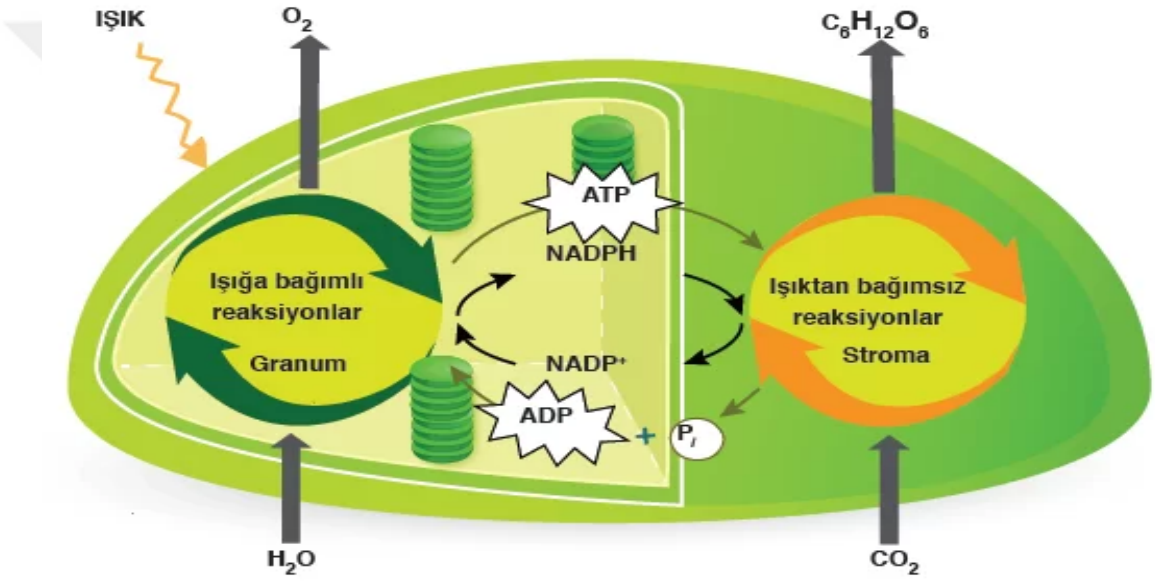
Ototrofik organizmalar, güneş ışığından aldıkları enerjiyi fotosentez sürecinde kimyasal enerjiye dönüştürerek canlıların ihtiyaç duyduğu oksijen kaynağını oluşturmaktadır (Field vd., 1998). Deniz yosunları, su ortamlarında bulunan ve besin zincirinin önemli bir parçasını oluşturan canlılardır. Fotosentez yapabilme özellikleri sayesinde primer üretici olarak görev almaktadırlar. Fotosentez sürecinde, güneş ışığını kullanarak su (H_2O) ve $C0_2$'i metabolize ederek organik bileşikler üretmektedir (Şekil 2.2). Deniz yosunları, fotosentez süreciyle suyun içindeki CO_2 miktarını azaltırken, aynı zamanda ortama oksijen sağlamaktadır. Böylece, sucul hayvanların oksijen ihtiyacını karşılamakta ve sucul ekosistemlerdeki canlıların hayatta kalmasını sağlamaktadır (Zeybek vd., 2003).



Şekil 2.2. Fotosentezin genel reaksiyon denklemi (İnternetten değiştirilerek alındı.)

Fotosentez, iki aşamadan oluşan bir biyokimyasal reaksiyon sürecini içermektedir. Bu aşamalardan biri olan ışığa bağlı reaksiyonlar, ökaryotik ototrof organizmaların kloroplast organelindeki granumlarda gerçekleşmektedir. Diğer aşama olan ışıktan bağımsız reaksiyonlar ise kloroplastın stroması içinde meydana gelmektedir (Türe, 2009) (Şekil 2.3).

Tilakoidlerde, pek çok enzim, kofaktör ve fotosentezin ışık reaksiyonlarında gereken pigmentler bulunmaktadır. Işığa bağlı reaksiyonlarda kullanılan enzimler ise stromada yer almaktadır (Hopson ve Wessels, 1990).



Şekil 2.3. Işığa bağımlı ve ışığa bağımsız reaksiyonların kloroplast organelinde gerçekleştiği kısımlar (İnternetten alındı.)

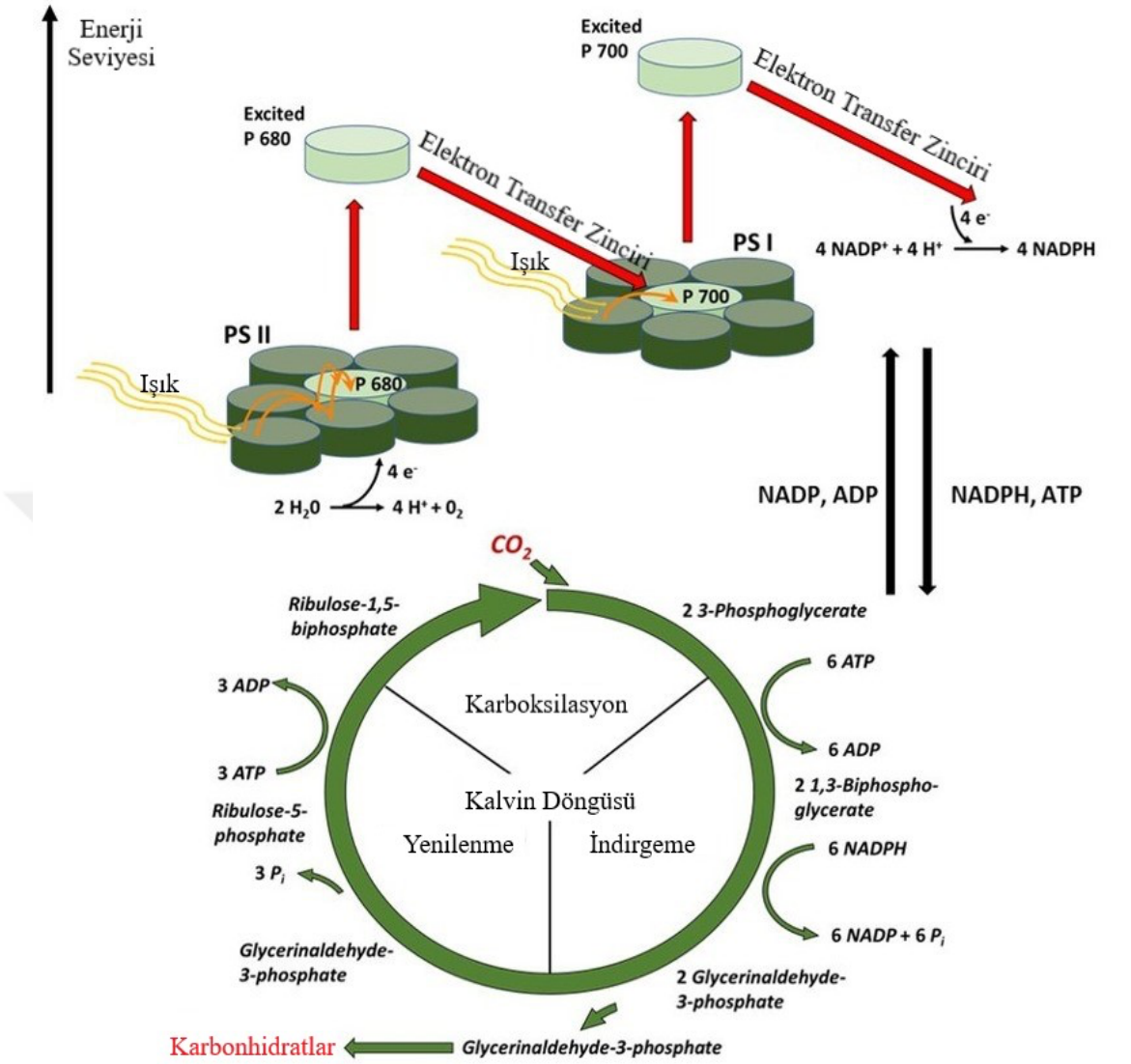
Işığa bağlı reaksiyonlarda, güneş enerjisi klorofil-a ve diğer pigmentler tarafından absorbe edilmektedir. Bu absorbe edilen enerji, klorofil pigmentindeki elektronların uyarılmasına ve elektronların enerji seviyelerinin yükselmesine neden olmaktadır. Uyarılmış elektronların enerjisinin bir bölümü, suyun (H_2O) parçalanması ve serbest oksijen molekülünün oluşması için gereklidir. Diğer bir bölümü de canlılarda Adenozin trifosfat (ATP) olarak bilinen enerji depolama molekülünde depolanmaktadır (Türe, 2009).

Nikotinamid adenin dinükleotid fosfat (NADPH) molekülleri, H_2O'nun hidrolizi ile ortaya çıkan elektron ve protonların NADP molekülüyle bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Bu NADPH molekülleri, uyarılmış elektronların taşınmasını sağlar ve ikinci aşamada kullanılmak üzere ATP molekülleriyle beraber kloroplastın stroma bölgesine geçmektedir.

Işık enerjisinin klorofile yönlendirilmesinin nedeni, sistemdeki tüm pigmentlerin, taşıdıkları ışık enerjisi nedeniyle klorofilden daha yüksek enerji seviyelerine sahip olmalarıdır. Klorofil tarafından yakalanan enerji, oksidasyon-reduksiyon reaksiyonlarıyla kimyasal enerjiye dönüşüp ve suyu parçalamaktadır.

Bu ışığa bağlı bölümde enerji, fotofosforilasyonla, elektron taşıyıcıları olan ATP ve NADP gibi koenzimlere dönüştürülerek tutulmaktadır. Fotosentezin ışıktan bağımsız ikinci aşamasında ise, yüksek enerjili ATP ve NADP'nin yardımıyla CO_2 karbonhidratlara indirgenmektedir (Hopson ve Wessels, 1990). Işığa bağımlı reaksiyonlar, aynı anda aktif olan iki fotosistemden meydana gelmektedir. Bunlar; Fotosistem I (PSI) ve Fotosistem II (PSII)'dir. Bu reaksiyon merkezleri, Siyanobakteriler, karasal bitkiler ve ökaryotik alglerde, ışık yakalama bileşenleri, elektron taşıma molekülleri ve CO_2 fiksasyonu gibi birçok açıdan birbirlerine benzemektedir (Barsanti ve Gualtieri, 2006).

Kloroplastın stromasında meydana gelen ışıktan bağımsız tepkimelerde CO_2'nin basit şekerlere dönüşümü gerçekleşmektedir. Bu süreç, Kalvin döngüsü ya da CO_2 fiksasyon yolu olarak bilinen bir dizi biyokimyasal tepkime zinciri ile gerçekleşmektedir (Woodrow ve Berry, 1988) (Şekil 2.4). Kalvin döngüsü ile oluşan glukozun polimerizasyonuyla depo maddesi nişasta meydana gelmektedir. Fotosentez sürecinin sonucunda, oksijen ve yüksek enerjili besinler üretilmektedir. Ototrofik canlılar, üretilen besinleri yaşamsal faaliyetlerini sürdürmek için kullanmaktadır (Yılmaz vd., 2016).

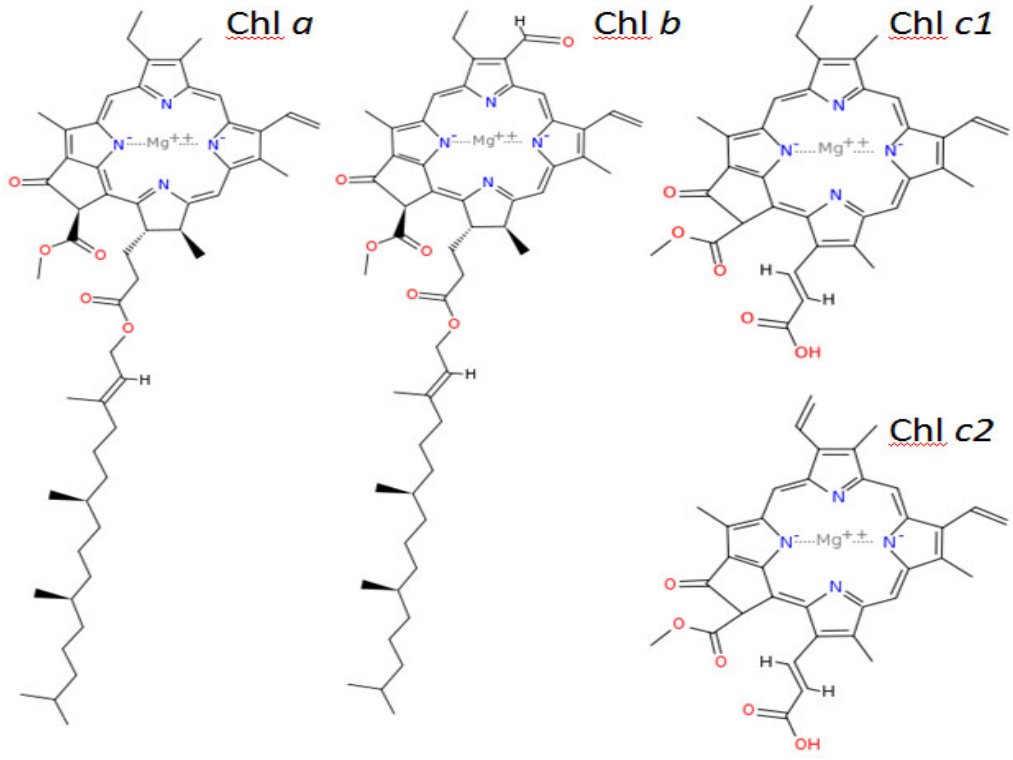


Şekil 2.4. Fotosistem merkezleri ve Fotosentezin ışık reaksiyonları ile Kalvin döngüsü (İnternetten değiştirilerek alındı.)

Fotosentez yapan canlılarda, ışık yakalamada görev alan çeşitli renk maddeleri (pigment) bulunmaktadır. Bu pigmentlerin bazıları plastidlerin zar sistemlerinde (tilakoid membranlarında) bulunurken, diğerleri vakuollerde çözünmüş halde bulunmaktadır (Yılmaz vd., 2016). Fotosentetik pigmentlerin alglerdeki dağılımı ve fotosentezdeki rolleri farklılık göstermektedir. Klorofiller, bitkilerin, alglerin ve bazı fotosentetik bakterilerin fotosentez sürecinde temel pigment olarak görev yapmaktadır (Agostiano vd., 1996). Klorofil, porfirin halkası ve fitol grubu olmak üzere iki ana bileşenden oluşmaktadır (Streitweiser ve Heathcock, 1981).

Klorofil a ve b, tekli ve çiftli bağ örgülerini içerdiklerinden dolayı oldukça etkili fotoreseptörlerdir. Fotosentez sürecinde güneş enerjisi klorofil tarafından absorblanarak, CO_2 ve H_2O kullanılmasıyla karbonhidrat ve oksijen sentezi gerçekleştirilmektedir (Streitweiser ve Heathcock, 1981).

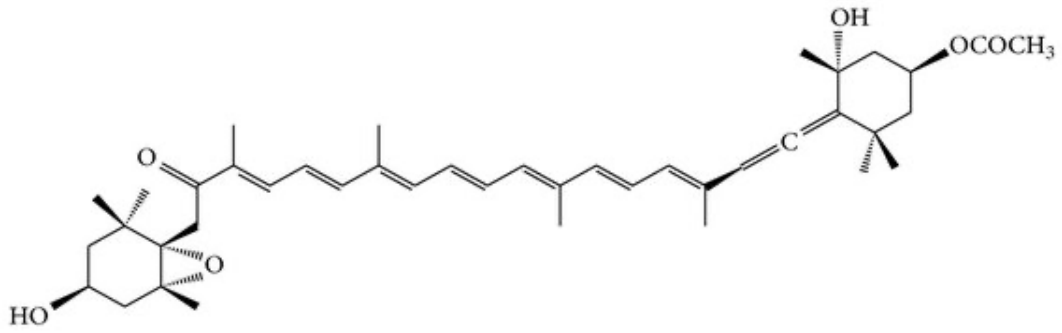
Klorofil molekülü, ortasında magnezyum atomu ve bu atoma bağlı dört pirol halkasından meydana gelmektedir (Larkum, 2003). Klorofil-a molekülü, fotosentezin ana bileşenidir bu yüzden de tüm alg sınıflarında bulunmaktadır. Diğer pigmentler ise yardımcı olarak görev almaktadır. Klorofil-a ile b'nin molekül yapıları birbirine benzerdir. Ayrıca her ikisi de uzun bir fitol zincire sahiptir. Klorofil-c molekülünde uzun fitol zincir bulunmamaktadır (Lobban ve Harrison, 1997) (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Klorofil-a, Klorofil-b, Klorofil-c1 ve Klorofil-c2 moleküllerinin yapısı (Lobban ve Harrison, 1997)

Klorofil-a, tüm yeşil bitkilerde yaygın olarak bulunmaktadır. Klorofil-b ise özellikle yeşil alglerde ve yüksek bitkilerde görülmektedir. Klorofil-c kahverengi alglerde, diyatomlarda ve öglena gibi tek hücreli ökaryotik organizmalarda bulunmaktadır. Klorofil-d ise kırmızı alglerde görülmektedir. Klorofil-a, alkol, eter, benzen ve aseton gibi çözücülerde çözünmektedir.

Fukoksantin, Phaeophyceae üyelerinde en yaygın bulunan ksantofil türüdür. Fukoksantin, özellikle kahverengi alglerde bulunan bir karotenoid pigmentidir ve kimyasal olarak bir aldehit grubuna sahiptir (Şekil 2.6). Farklı biyolojik etkilere sahip olan özgün bir kimyasal yapıya sahiptir. Bu kimyasal yapısı, antienflamatuar etkilerin yanı sıra güçlü bir antioksidan kapasiteye sahiptir. Genellikle alglere kahverengi rengini veren pigment olarak bilinmektedir. Güneş ışığını absorbe ederek fotosentezi destekler ve alglerin fotosentetik aktivitesine katkı sağlamaktadır.



Şekil 2.6. Fukoksantin pigmentinin yapısı (Gammone ve D'Orazio, 2015)

2.3. Deniz Yosunlarında Azot Metabolizması

Deniz yosunları inorganik bileşikleri kullanarak organik bileşik elde eden fotosentetik organizmalardır. Fotosentez tarafından sağlanan enerji sayesinde, deniz yosunları sucul ortamdaki besin tuzlarını hücre içine almaktadırlar (Turpin, 1991). Kırmızı, yeşil ve kahverengi algler, bulundukları ortamdaki azot gazını doğrudan kullanamazlar sadece ortamdaki azot türevlerini kullanmaktadırlar. (Castro ve Huber, 1997; Cirik ve Cirik, 2011). Araştırmalar, nitrat (NO_3^-) alımı ve nitrat redüktaz aktivitesinin deniz yosunlarının büyüme oranı üzerinde etkili olduğunu göstermektedir (Davison vd., 1984; Davison ve Stewart, 1983).

Besin tuzlarının daha yoğun olduğu kıyısal bölgelerde yayılışa sahip olan alglerin, genellikle çevredeki azotu bünyelerine daha çabuk aldıkları saptanmıştır (Peckol vd., 1994). Deniz yosunları için azotun; amino asitler, enzimler ve proteinlerin oluşumunda kritik bir rol oynadığı bilinmektedir. Deniz yosunlarının inorganik azot ihtiyaçları ve alım yetenekleri türler arasında değişiklik göstermektedir. Azot kaynağı olarak genellikle azot türevleri olan NO_3^-, nitrit (NO_2^-), amonyum (NH_4^+) ve üre gibi bileşiklerden faydalanmaktadırlar (Hanisak, 1983). Hurd vd. (2014), deniz yosunları için deniz suyundaki temel inorganik azot kaynaklarının NH_4^+ ve NO_3^- olduğunu belirtmiştir. NH_4^+, deniz yosunları için özellikle kullanımı kolay bir azot kaynağıdır, çünkü hücre zarından kolaylaştırılmış difüzyon yoluyla hücre içine alınıp doğrudan amino asitlere dönüşebilmektedir. NO_3^- alımı ise daha karmaşık bir süreç gerektirmektedir. Hücre içine aktif taşıma yoluyla alınarak nitrat redüktaz enzimi tarafından önce NO_2^-'e indirgenmektedir. Daha sonra NO_2^-, başka enzimatik reaksiyonlarla NH_4^+ indirgenip ardından amino asitlerin sentezinde kullanılabilmektedir. Bu süreçler, deniz yosunlarının büyümesi ve metabolik fonksiyonlarının sürdürülmesi için hayati öneme sahiptir.

NO_3^- asimilasyonunun ilk basamağı olan NO_3^-'ın NO_2'e indirgenmesini katalizleyen enzim, nitrat redüktazdır. Bu nedenle, azot metabolizması hakkında bilgi edinmemizi sağlamaktadır.

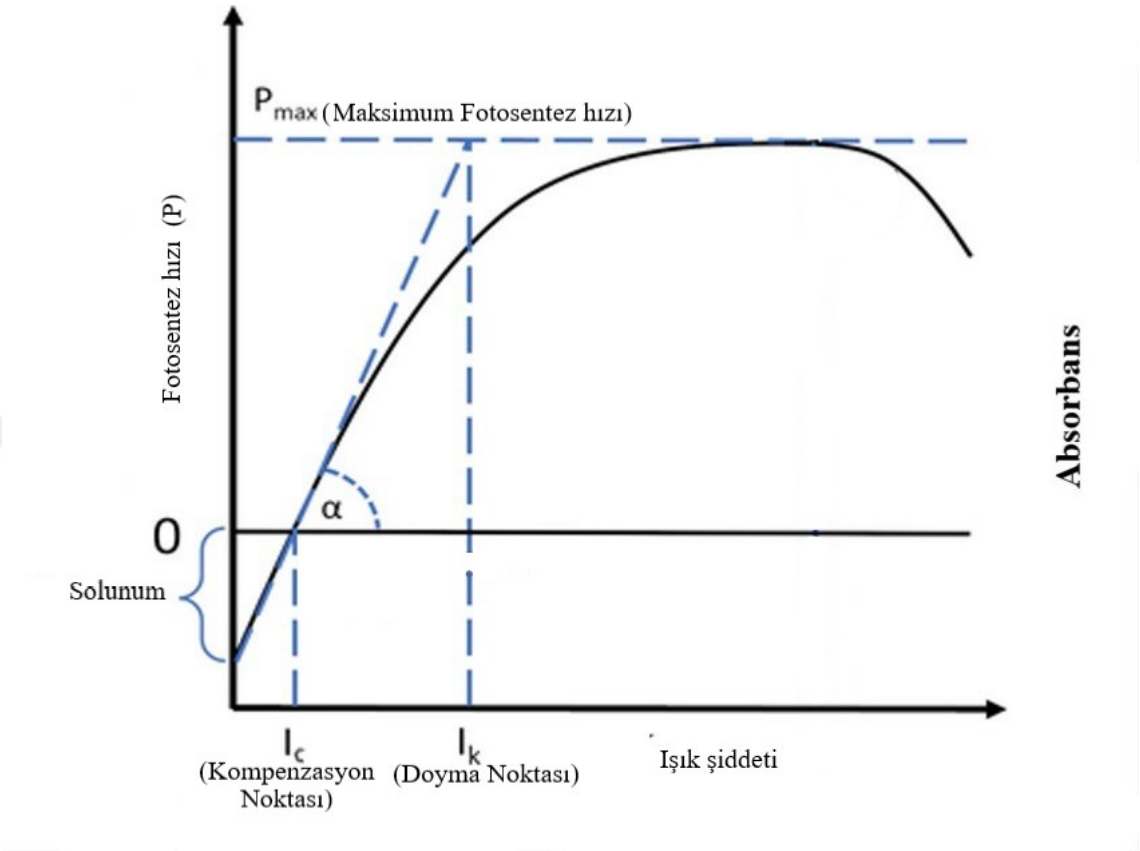
2.4. Pulse Amplitude Modulation Klorofil Floresan Tekniği

Son dönemlerde, klorofil floresansının ölçümü ekofizyolojik çalışmalarda yaygın olarak tercih edilen Pulse Amplitude Modulation (PAM) tekniği ile gerçekleşmektedir (Maxwell ve Johnson, 2000). PAM tekniği kullanarak bitkilerin fotosentez aktivitesi ölçülmektedir. Bu cihaz, bitki örneklerine belirli aralıklarla ışık darbeleri gönderip, bitkilerin tepkilerini analiz etmektedir. Fotosentetik olarak aktif olan bitki örneklerinin klorofil floresansı ve fotosentez verimliliği gibi parametrelerini ölçmektedir. Bu sayede, bitkilerin fotosentez performansı, fotosentetik sistemlerin etkinliği ve bitkilerin stres altındaki tepkileri gibi konuları incelemek için kullanılabilmektedir. Bu yöntem, diğer tekniklerle karşılaştırıldığında örnekleri daha hızlı ve stres oluşturmadan ölçebilmesinin yanı sıra, çok sayıda tekrarlı ölçüm yapabilme imkânı sunması sebebiyle de tercih edilmektedir. PAM tekniği, fotosentetik ölçümler için kullanımı pratik olmasına rağmen, teorik açıdan ve elde edilen verilerin doğru yorumlanması bakımından karmaşık ve tartışmalı bir yöntem olarak değerlendirilmektedir (Nainanayake, 2007).

Floresan parametreler arasında, özellikle ekofizyolojik çalışmalarda sıkça kullanılan PSII' nin maksimum fotokimyasal kuantum verimi (F_v/F_m) ve PSII' nin etkili kuantum verimi ($\Delta F/F_m'$) önemli ölçütler olarak kabul edilmektedir. F_v/F_m değeri, örneklerin fizyolojik durumlarıyla ilgili bilgi veren bir göstergedir. F_v/F_m oranının farklı yosun türlerinde değişkenlik gösterebildiği ve bazı durumlarda değişkenlik göstermediği bilinmektedir. Büchel ve Wilhelm (1993) tarafından belirtildiğine göre, optimum koşullarda bulunan kahverengi deniz yosunlarının F_v/F_m oranı yaklaşık olarak 0,7 olarak ölçülmüştür. Düşük F_v/F_m değerleri, stres altında olan bitkilerde veya fotosentez aktivitesinin düşük olduğu durumlarda gözlemlenebilmektedir. Işık yakalama sistemlerinde emilen enerjinin çevreye yayılan ısı miktarındaki artışı, F_v/ F_m değerindeki düşüşü ifade etmektedir (Krause ve Weis, 1991).

PAM tekniği, fotosentetik performansı değerlendirmek için kullanılan bir yöntemdir. Karanlığa uyumlu hale getirilmiş fotosentez yeteneğine sahip materyal üzerine farklı ışık yoğunlukları uygulanarak ölçümler gerçekleşmektedir.

Bu floresan ölçümleri ile fotosentez-aydınlanma eğrisi (Şekil 2.7) oluşturulmakta ve eğri üzerinden diğer fotosentetik parametreler hesaplanmaktadır.



Şekil 2.7. Fotosentez aydınlanma eğrisi ve Fotosentetik parametreler (İnternetten değiştirilerek alındı.)

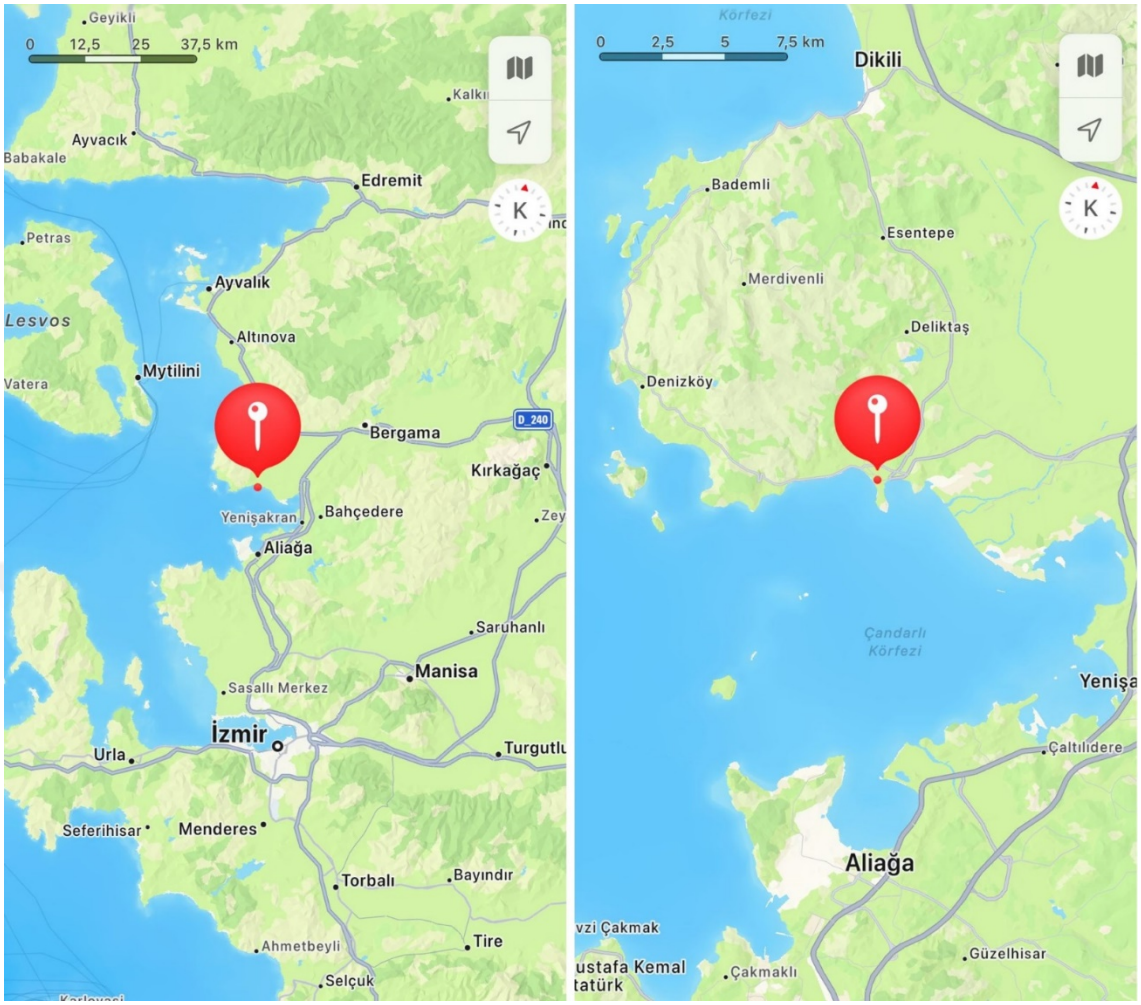
3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Deney Esnasında Kullanılan Cihazlar

PAM 2500 (Walz, Almanya)
Gün ışığı lambası (Philips master TLD 90 deluxe 36W/950)
Hassas terazi (SARTORİUS CPA224S)
Spektrofotometre (BECKMAN COULTER DU730)
Salinimetre (HATCH SensION5)
pH metre (WTW 3210)
Işık ölçer (LI-COR LI-250A)
Manyetik karıştırıcı (MTOPS Ms300 Hs)
Santrifüj (HETTICH UNİVERSAL 320)

3.2. Arazi Çalışması ve Deneysel Düzenek

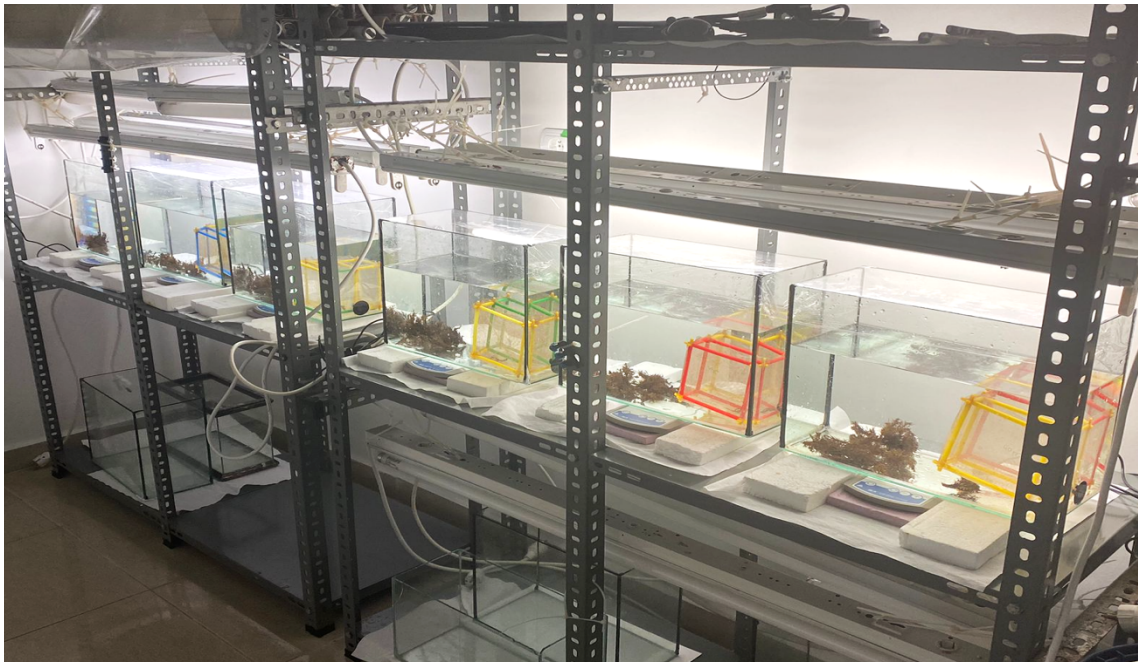
Örnekler, Çandarlı Körfezi'nden Eylül-2023 tarihinde toplanmıştır (Şekil 3.1). *H. filicina* örnekleri Dikili Çandarlı kıyı şeridinde iskeleden el ile toplandı. Daha sonra Bursa Uludağ Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Biyoloji bölümünde bulunan Fikoloji Araştırma Laboratuvarı'na getirilmek üzere, içerisinde deniz suyu bulunan 5 litrelik plastik kaplara konuldu. Epifitlerin örneklerden arındırılması için suni (Coral pro salt-red sea) deniz suyu ile yıkama işlemi gerçekleştirildi.



Şekil 3.1. Örnekleme alanı

H. filicina örnekleri, sabit sıcaklık (22° C), pH (8) ve tuzluluk (33 ppt) değerlerine sahip akvaryumlarda, 12 saat aydınlık, 12 saat karanlık periyotta kültüre alındı. Örneklerin, tuzluluk stresine maruz kalmadan önce 10 gün boyunca ortama uyum göstermeleri sağlanmıştır. 10 günlük alışma döneminden sonra stok kültürden sağlıklı deniz yosunu örnekleri seçildi. Seçilen deniz yosunu örnekleri, içinde 10 L filtrelenmiş suni deniz suyu bulunan akvaryumlara eşit miktarlarda dağıtıldı. Örnekler, ortama uyum sağladıktan sonra üç farklı tuzluluk derişimine (23 ppt, 33 ppt, 40 ppt) sahip akvaryumlarda dört haftalık uygulama periyodunda kültüre alındı. Suni deniz suyu ile hazırlanan kültür ortamına, provasoli çözeltisi eklendi (Provasoli, 1968). Buna ek olarak, vitamin (B12, tiyamin, biyotin) ve $CaCl_2.2H_2O$ (Woelkerling vd., 1983) ilave edildi. Uygulama periyodu (28 gün) boyunca akvaryumlarda bulunan suni deniz suyu haftada iki kez yenilendi.

Tuzluluğun bu tür üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla deney düzeneği kuruldu ve bunun için 6 adet uygulama akvaryumu hazırlandı. Deney düzeninin görüntüsü, Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'de gösterildiği gibi oluşturuldu. Örneklerin teşhisi ise ışık mikroskobu ile yapıldı. Çalışma için toplanan deniz yosununun Phaeophyceae sınıfında yer alan *Halopteris filicina* (Grateloup) Kützing türü olduğu saptanmıştır.



Şekil 3.2. Deney düzeninin görüntüsü



Şekil 3.3. Akvaryumun genel görüntüsü

3.3. Ekofizyolojik Analizler

Çandarlı istasyonundan toplanan deniz yosunu örnekleri, ortama uyum sağladıktan sonra akvaryumlarda dört hafta boyunca kültüre alınmıştır. Kültür ortamında sıcaklık, pH, ışık yoğunluğu ve aydınlanma rejimi, *H. filicina* türü üzerinde tuzluluğun etkilerini belirlemek amacıyla sabit tutulmuştur. Uygulamalardan biri, türün toplandığı yaşam ortamının tuz derişiminde (33 ppt) olup kontrol uygulaması olarak yapılmıştır. Diğer uygulamalar düşük (23 ppt) ve yüksek (40 ppt) tuz derişimi olarak belirlenmiştir.

Farklı tuzluluk derişimlerine maruz bırakılan *H. filicina* türünün toplam protein, klorofil-a ve fukoksantin miktarları için 7'nci, 14'üncü, 21'inci, 28'inci günlerinde alınan dokular sıvı azotta dondurulup -20° C'de saklandı. Klorofil Floresans Ölçümleri ve nitrat redüktaz aktivitesi haftalık olarak ve *in situ* ölçüldü**.**

3.3.1 Günlük Büyüme Oranı

Akvaryumlardaki deniz yosunu örneklerinin, uygulamanın 1'inci ve 21'inci günlerinde kurutma kâğıdı ile suyu alındı ve hassas terazi kullanılarak tartıldı. Günlük büyüme oranları, Zou (2005) tarafından önerilen logaritmik modele göre hesaplandı.

$$\text{Günlük büyüme oranı (\%)} = \ln (W_1/W_0) / t \times 100$$

W_1= son ağırlık (g)

W_0= başlangıç ağırlığı (g)

t= zaman (gün)

3.3.2. Klorofil-a, Fukoksantin

Klorofil analizi, Inskeep ve Bloom (1985)'un yöntemine göre gerçekleştirildi. Sıvı azot ile dondurulmuş doku örneklerinin (~0.03 g) üzerine 3 ml N,N-Dimetilformamid ilave edildi ve 24 saat karanlıkta inkübe edildi. 24 saat sonra elde edilen ekstrakt spektrofotometrik olarak ölçüldü ve klorofil-a miktarı aşağıdaki formüle göre hesaplandı (mg/g).

$$\text{Klorofil-a (mg/g)} = 12{,}70 \times A_{664{,}5} - 2{,}79 \times A_{647}$$

Fukoksantin içeriği için uygulama tanklarından seçilen sıvı azot ile dondurularak saklanan yaklaşık 0,03 g sağlıklı alg dokuları, %80'lik aseton ile ekstre edildikten sonra 3000 rpm'de 15 dk santrifüj edildi. Süpernatant kısmı spektrofotometrik olarak ölçüldü. Fukoksantin miktarı aşağıdaki Seely vd. (1972) tarafından önerilen formüle göre hesaplandı(mg/g).

$$\text{Fukoksantin (mg/g)} = A_{470} - 1{,}239 (A_{631} + A_{581} - 0{,}3x\, A_{664}) - 0{,}0275 \times A_{664} / 141$$

3.3.3. Nitrat Redüktaz Aktivitesi

Nitrat reduktaz aktivitesi, Corzo ve Niell (1991)'in tanımladığı *in situ* yönteme göre gerçekleştirildi. Doğrudan uygulama tankından alınan tallus parçaları (~0,06 g), içerisinde 4 ml fosfat tamponu (pH: 8.0; 0,1 M) bulunan koyu kahverengi ışık geçirmez test tüplerine yerleştirildi.

Deniz yosunu örnekleri, anaerobik ortam oluşturmak için kahverengi tüplere konulmadan önce ve sonra, her bir test tüpüne 1 dakika boyunca azot gazı verildi. Kapakları sıkıca kapatılan test tüpleri, karanlıkta ve oda sıcaklığında 90 dk inkübe edildi. Süre tamamlandıktan sonra, çözeltiden 1 ml alınıp, üzerine 0.5 ml %4 sülfonilamid ve 1ml %0,1 N-naftiletilendiamin eklendi. Deney karışımı 30 dk ile 2 saat arasında bir süre bekletilerek, 543nm dalga boyundaki absorbansları spektrofotometrik olarak ölçüldü.

3.3.4. Klorofil Floresans Ölçümleri

Fotosentez verimliliği ile ilgili bilgi veren alfa, maksimum göreceli elektron transferi ($rETR_{max}$) ve doygun ışık yoğunluğu (I_k) ve örneklerin fizyolojik durumlarıyla ilgili olan F_v/F_m oranları PAM 2500 cihazıyla ölçülüp, değerler kaydedildi. Ölçümlerde, önceden yapılan ön denemelere göre 10 dakika boyunca karanlıkta bekletilen örnekler üzerine, artan yoğunluklarda ışık uygulanmıştır.

Ön denemeler doğrultusunda, klorofil floresan ölçümleri ve fotosentetik performansın belirlenmesinde kullanılacak ışık yoğunlukları 10 aşamalı olarak belirlenmiştir. Her 30 saniyede bir, doygunluk darbesi uygulanarak, fotosentezin etkin kuantum verimi ($\Delta F/Fm'$) kaydedilmiştir. Daha sonra, ışık yoğunluğu bir sonraki aşamaya çıkacak şekilde ayarlanarak ölçüm tamamlanmıştır. Alfa, $rETR_{max}$ ve I_k değerleri cihaz tarafından otomatik olarak çizilen fotosentez-aydınlanma eğrisinden Eilers and Peeters (1988) tarafından önerilen formüle göre hesaplanmıştır.

3.3.5. Toplam Protein Miktarı

Toplam protein miktarı, Bradford (1976) yöntemine göre gerçekleştirildi. Yöntemde yaklaşık 0,07g doku örneği, 3 ml sodyum fosfat tamponu (pH: 6,8; 0,2 M) ile havanda ezildi. Daha sonra 3000g'de 5 dk santrifüj edilip süpernatant, doku ekstratı olarak kullanıldı. Doku ekstratı, 3ml Coomassie Brilliant Blue G-250 ayıracıyla tepkimeye sokularak 595 nm dalga boyunda spektrofotometrik ölçümleri yapıldı. Bovine serum albümin standart eğrisinden hesaplanan toplam protein miktarı, mg/g cinsinden belirlendi.

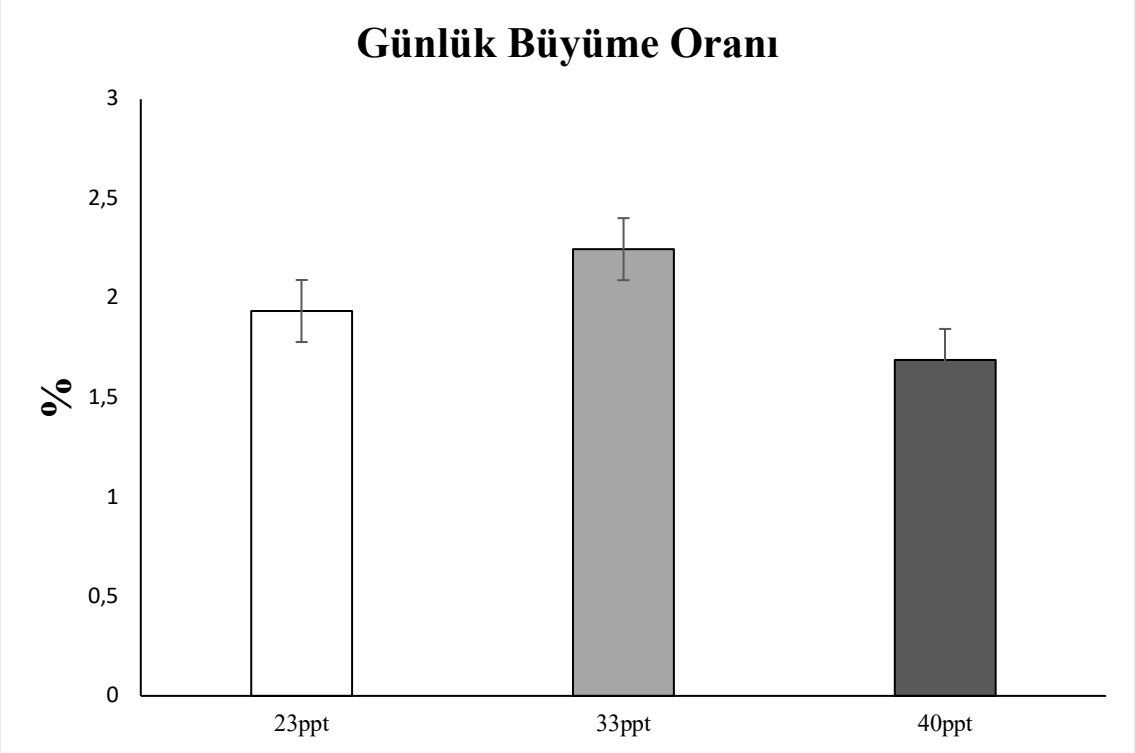
3.4. İstatiksel Analizler

Dört haftalık uygulama periyodunda, farklı tuz derişimlerine maruz kalan örneklerin toplam protein, klorofil-a, fukoksantin, PAM klorofil floresans ölçümleri arasındaki farklılıklar çift yönlü varyans analizi ile belirlenmiştir. Uygulamalar arasındaki büyüme ölçümleri ise tek yönlü varyans analizi ile belirlenmiştir. Çoklu karşılaştırma testi olarak Tukey HSD uygulanmıştır. Normalite ve varyansın homojenliği, Kolmogorov Smirnov ve Levene testleri ile test edilmiştir. Yapılan bütün istatiksel analizler, SPSS 28 paket programı kullanılarak 0,05 anlamlılık düzeyinde test edilmiştir.

4. BULGULAR

4.1. Günlük Büyüme Oranı

4 hafta boyunca farklı tuz derişimlerine maruz kalan *Halopteris filicina* türünün büyüme oranları Şekil 4.1'de gösterilmektedir. En yüksek büyüme oranı 33 ppt tuz derişimine maruz kalan örneklerde %2,25±0,16 olarak bulunmuştur. En düşük büyüme oranı ise 40 ppt tuz derişimine maruz kalan örneklerde %1,69±0,5 olarak saptanmıştır. Ancak uygulamalar arasında günlük büyüme oranı istatistiksel olarak farklı bulunmamıştır (F=1,770; p=0,249).

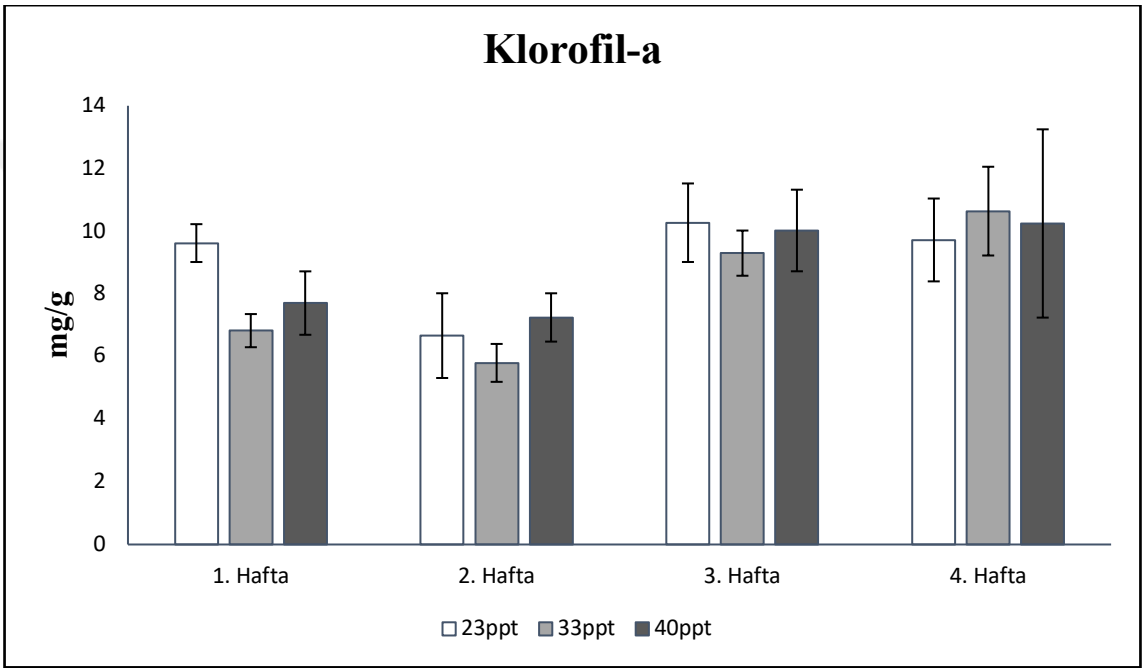


Şekil 4.1. Farklı tuz derişimlerine maruz kalan *Halopteris filicina* türünün günlük büyüme oranı

4.2. Klorofil-a

Farklı tuz derişimine maruz kalan H. *filicina* türünde klorofil-a miktarları Şekil 4.2'de gösterilmektedir. 1. haftada, en yüksek klorofil-a değeri (9,62±0,6 mg/g) 23 ppt tuz derişimindeki örneklerde belirlenmiştir. 33 ppt ve 40 ppt tuz derişimlerindeki örneklerin klorofil-a değerleri sırasıyla 6,82±0,53 mg/g, 7,70±1,01 mg/g olarak belirlenmiştir.

Toplanan türün yaşam ortamındaki tuz derişimine (33 ppt) maruz kalan örneklerin klorofil-a değerleri, 4. hafta hariç diğer haftalarda 23 ppt ve 40 ppt tuz derişimindeki örneklerin klorofil-a değerinden daha düşük seviyelerde bulunmuştur. 1. haftada en düşük klorofil-a değeri 33 ppt tuz derişimindeki örneklerde olduğu görülmüştür. 2. haftada 40 ppt tuz derişimindeki örneklerin klorofil-a değeri 7,24±0,77mg/g belirlenip, 1. haftadaki klorofil-a değerinden az da olsa azalmasına rağmen 2. haftada 23 ppt ve 33 ppt tuz derişimindeki örneklerin klorofil-a değerinden yüksek olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.2. Farklı tuz derişimlerine maruz kalan H. *filicina* türünün klorofil-a miktarları

1., 2. ve 3. haftalarda 33 ppt tuz derişimindeki örneklerde klorofil-a değeri diğer tuz derişimindeki örneklerin klorofil-a değerinden daha düşük olmasına rağmen 4. Haftada klorofil-a değeri diğer tuz derişimindeki örneklerden daha yüksek bir değere (10,63±1,42 mg/g) sahip olduğu gözlenmiştir ve bu değerin uygulama boyunca kaydedilen en yüksek klorofil-a değeri olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.1'de *H. filicina* türünün klorofil-a değerleri için hesaplanan çift yönlü varyans analizi sonuçları verilmiştir. Çift yönlü varyans sonuçları incelendiğinde, tuzluluk faktörünün *H. filicina* türünün klorofil-a içeriğini etkilemediği (F=2,613; p=0,084) görülmüştür.

H. filicina türünün klorofil-a değerleri zaman faktöründen etkilenmiştir (F=24,439; p=0,001). Örneklerin 1., 2. ve 3. haftalardaki klorofil-a değerleri arasında anlamlı farklılık bulunurken (p<0,05), 3. ve 4. haftalarda klorofil-a değerleri arasında anlamlı bir farklılık bulunamamıştır (p>0,05). Tuzluluk ve zamanın bir etkileşim içinde olmadığı saptanmıştır (F=2,021; p=0,081).

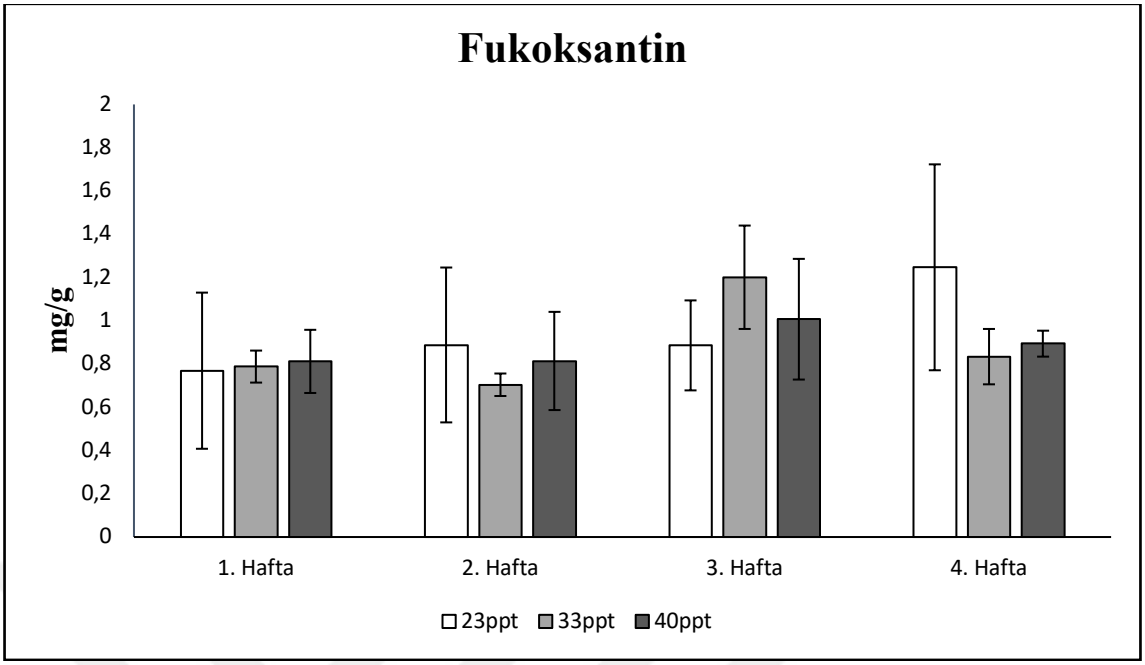
Çizelge 4.1. Farklı tuz derişimlerine maruz kalan *H. filicina* türünün klorofil-a değerlerinin çift yönlü varyans analizi sonuçları

	Tuzluluk	Zaman	Tuzluluk*Zaman
Serbestlik derecesi	2	3	6
Kareler ortalaması	4,579	42,821	3,540
F	2,613	24,439	2,021
p	0,084	0,001	0,081

4.3. Fukoksantin

Yapılan tez çalışmasında farklı tuz derişimine maruz kalan *H. filicina* türünün fukoksantin miktarları Şekil 4.3'de gösterilmiştir. 1. haftada en düşük fukoksantin değeri (0,77±0,36 mg/g) 23 ppt tuz derişimindeki örneklerde gözlemlenmiş olup, 33 ppt ve 40 ppt tuz derişimindeki örneklerle yakın değerlere (sırasıyla 0,79±0,07 mg/g, 0,81±0,15 mg/g) sahip olduğu görülmüştür. 2. haftada 23 ppt tuz derişimindeki örneklerin en yüksek fukoksantin değerine (0,888±0,358 mg/g) sahip olduğu görülmüştür. 3. haftada 33 ppt tuz derişimindeki örneklerde en yüksek fukoksantin değeri (1,2±0,24 mg/g), 23 ppt tuz derişimindeki örneklerde ise en düşük fukoksantin değeri (0,89±0,21 mg/g) gözlemlenmiştir. 4. haftada ise 2. haftada olduğu gibi en yüksek fukoksantin değerine 23 ppt tuz derişimindeki örneklerde rastlanmıştır.

4 haftalık kültür boyunca en yüksek fukoksantin değeri (1,25±0,48 mg/g) 4. haftada 23 ppt tuz derişimindeki örneklerde görülürken, en düşük fukoksantin değeri (0,7±0,05 mg/g) ise 2. haftada 33 ppt tuz derişimindeki örneklerde görülmüştür.



Şekil 4.3. Farklı tuz derişimlerine maruz kalan *H. filicina* türünün fukoksantin miktarları

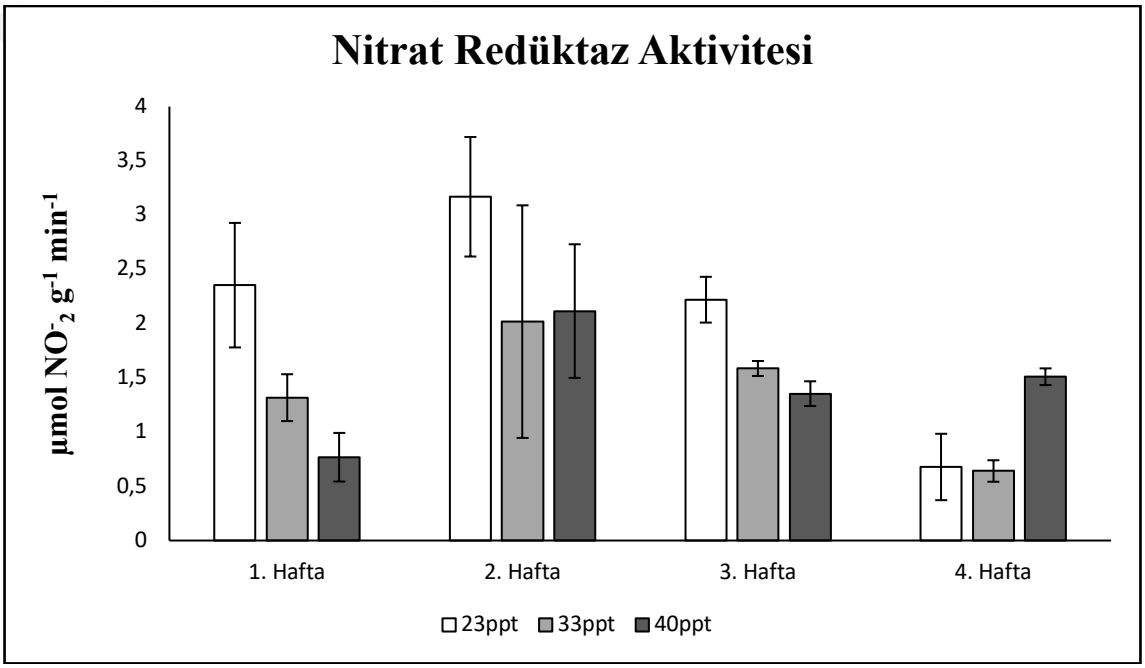
Tukey HSD sonucuna bakıldığında, 23 ppt, 33 ppt ve 40 ppt tuz derişimindeki örneklerin fukoksantin değerleri arasında anlamlı bir farklılık bulunamamıştır ($p>0,05$). Çift yönlü varyans analizi sonuçları, tuzluluk faktörünün *H. filicina* türünün fukoksantin içeriğini etkilemediğini göstermiştir ($F=0,447$; $p=0,642$). Zaman faktörünün ise *H. filicina* türünün fukoksantin içeriğini etkilediği görülmüştür ($F=3,714$; $p=0,018$). Farklı tuz derişimlerine maruz kalan *H. filicina* örneklerinin fukoksantin değerleri için çift yönlü varyans analizi sonuçları Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Farklı tuz derişimlerine maruz kalan H. *filicina* türünün fukoksantin değerleri için çift yönlü varyans analizi sonuçları

	Tuzluluk	Zaman	Tuzluluk*Zaman
Serbestlik derecesi	2	3	6
Kareler ortalaması	0,028	0,237	0,130
F	0,447	3,714	2,045
p	0,642	0,018	0,078

4.4. Nitrat Redüktaz Aktivitesi

Farklı tuz derişimlerine maruz kalan *H. filicina* türü örneklerinin nitrat redüktaz aktiviteleri Şekil 4.4'te gösterilmiştir. 1. haftada 23 ppt tuz derişimindeki örneklerin nitrat redüktaz aktivitesi 2,35±0,57 µmol NO^{-}_{2} g^{-1} min^{-1} olarak kaydedilerek en yüksek değere sahip olduğu görülmüştür. 23 ppt tuz derişimindeki örneklerin nitrat redüktaz aktivitesi 1., 2. ve 3. haftalarda da diğer tuz derişimindeki örneklere göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. 1. haftada 40 ppt tuz derişimindeki örnekler en düşük nitrat redüktaz aktivitesine (0,77±0,22 µmol NO^{-}_{2} g^{-1} min^{-1}) sahipken 4. haftada en yüksek nitrat redüktaz aktivitesine (1,51±0,08 µmol NO^{-}_{2} g^{-1} min^{-1}) sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 4.4. Farklı tuz derişimlerine maruz kalan H. *filicina* türünün nitrat redüktaz aktivitesi

23 ppt tuz derişimindeki örneklerin nitrat redüktaz aktivitesi 1. haftada 2,35 ± 0,57 µmol NO^{-}_{2} g^{-1} min^{-1}, 2. haftada1,3 katlık bir artış ile 3,17±0,55 µmol NO^{-}_{2} g^{-1} min^{-1} olarak kaydedilmiş, 3. ve 4. haftalarda ise nitrat redüktaz aktivitesinde gözle görülür bir azalma meydana gelmiştir.

40 ppt tuz derişimindeki örneklerin nitrat redüktaz aktivitesi ise 1. haftada en düşük değere (0,77±0,22 μmol NO_2 g min^{-1}) sahipken 4. haftada en yüksek değere (1,51±0,08 μmol NO_2 g min^{-1}) ulaşmıştır. 2. hafta diğer haftalardan farklılık göstermektedir ve Tukey HSD testine göre de bu farklılık anlamlı bulunmuştur ($p<0,05$).

Çift yönlü varyans analizi sonuçlarına göre zaman ($F=16,999$; $p=0,001$) ve tuzluluk ($F=9,476$; $p=0,001$), *H. filicina* türünün nitrat redüktaz aktivitesini etkilemiştir. Çizelge 4.4'te farklı tuz derişimlerine maruz kalan *H. filicina* türü örneklerinin nitrat redüktaz aktivitesi verilmiştir. Tukey HSD testine göre 23 ppt tuz derişimindeki örneklerin nitrat redüktaz aktivitesi ile 33 ppt ve 40 ppt tuz derişimindeki örneklerin nitrat redüktaz aktivitesi arasındaki farklılık istatiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0,05$). Çizelge 4.3'de farklı tuzluluk derişimlerine maruz kalan örneklerde, tuzluluk ve zaman arasında bir etkileşim olduğu gösterilmektedir ($F=4,237$; $p=0,005$).

Çizelge 4.3. Farklı tuz derişimlerine maruz kalan H. *filicina* türünün nitrat redüktaz aktivitesi için çift yönlü varyans analizi sonuçları

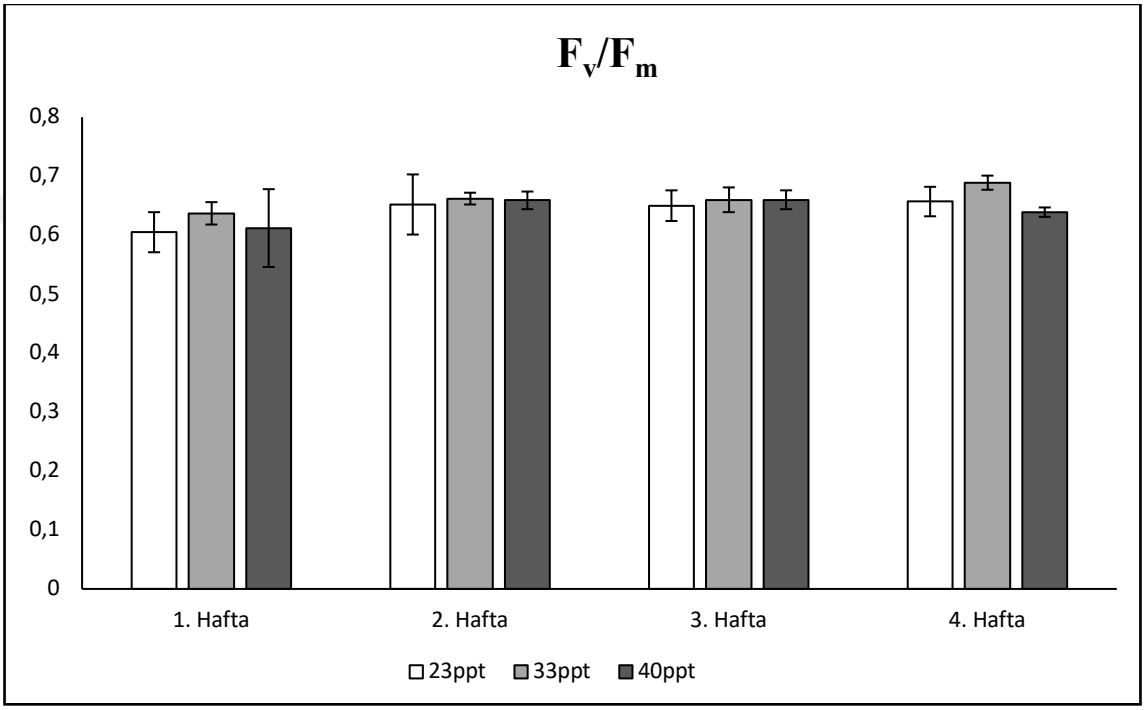
	Tuzluluk	Zaman	Tuzluluk*Zaman
Serbestlik derecesi	2	3	6
Kareler ortalaması	1,921	3,444	0,858
F	9,479	16,999	4,237
p	0,001	0,001	0,005

4.5. PAM Klorofil Floresan Ölçümleri

H. filicina türünün fotosentetik performansları, PAM Klorofil Floresan Tekniği ile ölçülmüştür. Klorofil floresansının indüksiyon kinetiğinden elde edilen verilerle F_v/F_m oranları hesaplanmıştır. Farklı tuz derişimlerine maruz kalan *H. filicina* örneklerinin F_v/F_m değerleri Şekil 4.5'te gösterilmiştir.

4 haftalık uygulama periyodunda, 3. hafta hariç diğer haftalarda en yüksek F_v/F_m değeri 33 ppt tuz derişimine maruz bırakılan örneklerde belirlenmiştir (1. hafta 0,64±0,02, 2. hafta 0,66±0,01, 3. hafta 0,66±0,02, 4. hafta 0,69±0,01). 1. haftada kaydedilen en düşük F_v/F_m değeri 23 ppt tuz derişimine maruz bırakılan örneklerde 0,60±0,03 olarak belirlenmiştir ancak 4. haftada bu değer 1,1 katlık artış göstererek 0,66±0,02 olarak kaydedilmiştir.

2. hafta (23 ppt tuz derişiminde F_v/F_m değeri 0,65±0,05, 33 ppt tuz derişiminde 0,66±0,01, 40 ppt tuz derişiminde ise 0,66±0,01) ve 3. haftada kaydedilen değerlerin (23 ppt tuz derişiminde F_v/F_m değeri 0,65±0,03, 33 ppt tuz derişiminde 0,66±0,02, 40 ppt tuz derişiminde ise 0,66±0,01) ise birbirine yakın olduğu görülmüştür. 3. haftada en yüksek F_v/F_m değeri (0,66±0,01) 40 ppt tuz derişiminde kültüre alınan örneklerde görülürken, 4. haftada 0,63±0,08 ölçülerek en düşük F_v/F_m değerine sahip olmuştur.



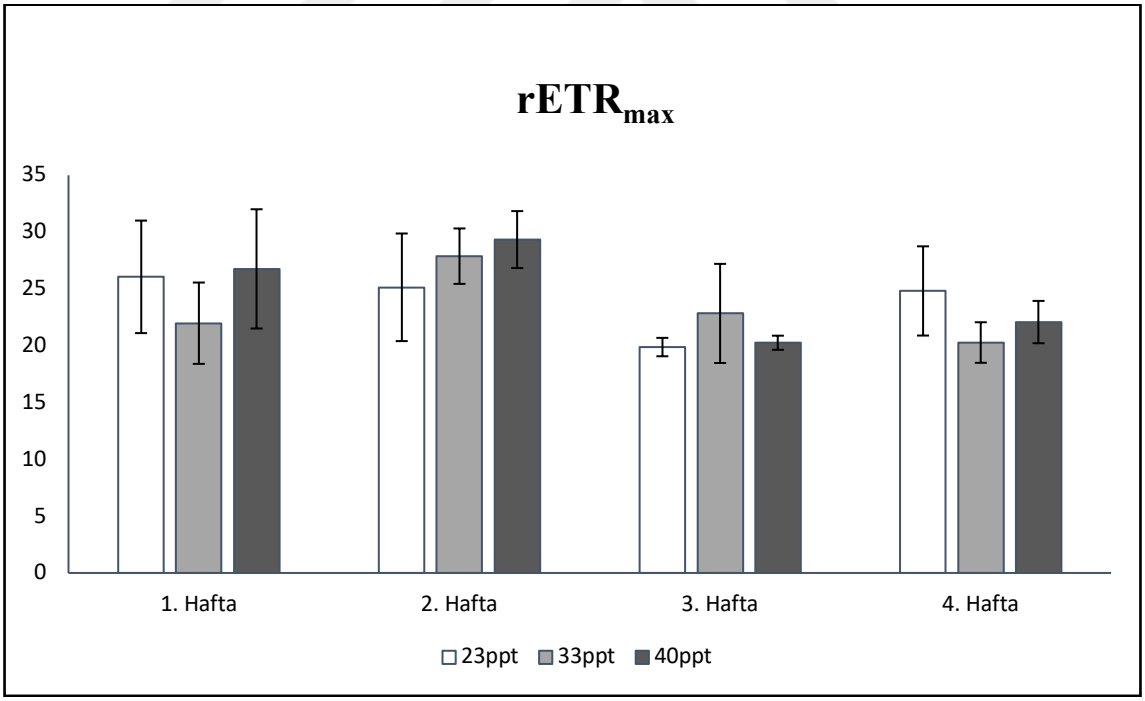
Şekil 4.5. Farklı tuz derişimlerine maruz kalan *H. filicina* türünün F_v/F_m değerleri

Çizelge 4.4'de verilen istatiksel analiz sonuçları tuzluluk değişkeninin, örneklerin F_v/F_m değeri üzerinde etkili olmadığını göstermiştir. Tukey HSD testleri 23 ppt, 33ppt ve 40 ppt derişimindeki tuzluluğa maruz bırakılan örneklerin F_v/ F_m değeri istatiksel olarak farklılık göstermemiştir ($p>0,05$). Analiz sonuçları, örneklerin F_v/F_m oranı üzerine zamanın etkili olduğunu göstermiştir ($F=6,732$; $p=0,001$). Fakat tuzluluk ve zamanın birlikte anlamlı bir farklılık oluşturmadığı görülmüştür ($F=0,813$; $p=0,565$). Tukey HSD testine göre, 1. haftanın diğer haftalardan farklı olduğu bulunmuştur ($p<0,05$).

Çizelge 4.4. Farklı tuz derişimlerine maruz kalan H. *filicina* türünün F_v/F_m değerleri için çift yönlü varyans analizi sonuçları

	Tuzluluk	Zaman	Tuzluluk*Zaman
Serbestlik derecesi	2	3	6
Kareler ortalaması	0,003	0,006	0,001
F	2,968	6,732	0,813
p	0,061	0,001	0,565

4 haftalık periyotta en yüksek $rETR_{max}$ değeri (29,3±2,5) 2. haftada 40 ppt tuz derişimine maruz kalan örneklerde kaydedilmiştir. 2. haftadan sonra 40 ppt tuz derişimdeki örneklerin $rETR_{max}$ değerinde düşüş meydana gelmiştir. 1. haftada en düşük değere (22±3,6) 33 ppt tuz derişimindeki örnekler sahipken 3. haftada en yüksek değere (22,8±4,4) ulaşmışlardır. 1. hafta ile 3. hafta $rETR_{max}$ değerlerinin birbirinden çok farklı olduğu görülmüştür ve Tukey HSD testine göre de bu farklılık anlamlı bulunmuştur ($p<0,05$). 23 ppt tuz derişimine maruz kalan örneklerin 1., 2. ve 4. haftadaki $rETR_{max}$ değerlerinin 3. haftada ölçülen değerden daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.



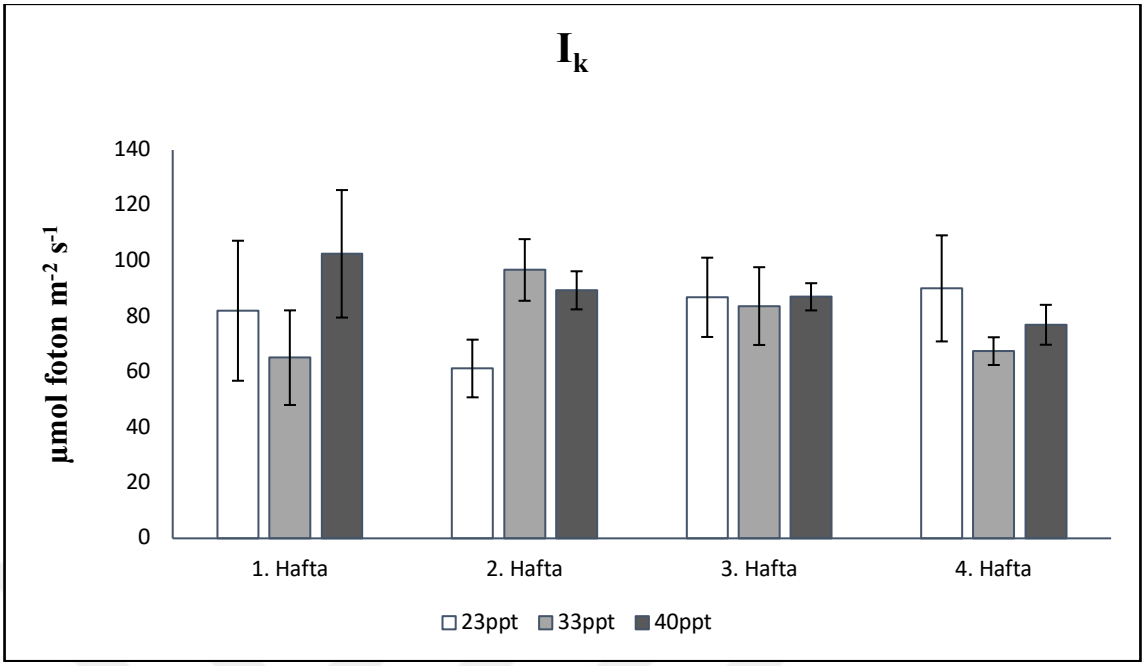
Şekil 4.6. Farklı tuz derişimlerine maruz kalan H. *filicina* türünün $rETR_{max}$ değerleri

Tukey HSD testine göre 23ppt, 33 ppt ve 40 ppt tuz derişimine maruz bırakılan örneklerin $rETR_{max}$ değerleri anlamlı bir farklılık göstermemiştir ($p>0,05$). Çizelge 4.5'de farklı tuz derişimlerine maruz kalan örneklerde tuzluluk ve zamanın birlikte etkileşim içinde olduğu görülmüştür ($F=2,423$; $p=0,040$).

Çizelge 4.5. Farklı tuz derişimlerine maruz kalan *H. filicina* türünün $rETR_{max}$ değerleri için çift yönlü varyans analizi sonuçları

	Tuzluluk	Zaman	Tuzluluk*Zaman
Serbestlik derecesi	2	3	6
Kareler ortalaması	9,331	122,026	28,608
F	0,790	10,337	2,423
p	0,459	0,001	0,040

Şekil 4.7'de farklı tuz derişimlerine maruz kalan örneklerin I_k değerleri gösterilmiştir. Çalışmanın 1. haftasında 40 ppt tuz derişimindeki örneklerin I_k değeri 102,6±23 µmol foton m^{-2} s^{-1} olarak kaydedilip en yüksek I_k değerine sahipken diğer haftalarda bu değer giderek azalmıştır. 23 ppt tuz derişimindeki örneklerin I_k değeri 1. haftada 82,06±25,2 µmol foton m^{-2} s^{-1} iken bu değer 4. haftada 1,09 katlık bir artış göstererek en yüksek I_k değerine (90,12 ±19,1 µmol foton m^{-2} s^{-1}) ulaşılmıştır. 1. haftada en düşük I_k değerine (65,14±17 µmol foton m^{-2} s^{-1}) sahip olan 33ppt tuz derişimindeki örneklerin 2. haftada en yüksek I_k değerine (96,76±11,1 µmol foton m^{-2} s^{-1}) sahip olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.7. Farklı tuz derişimlerine maruz kalan H. *filicina* türünün I_k değerleri

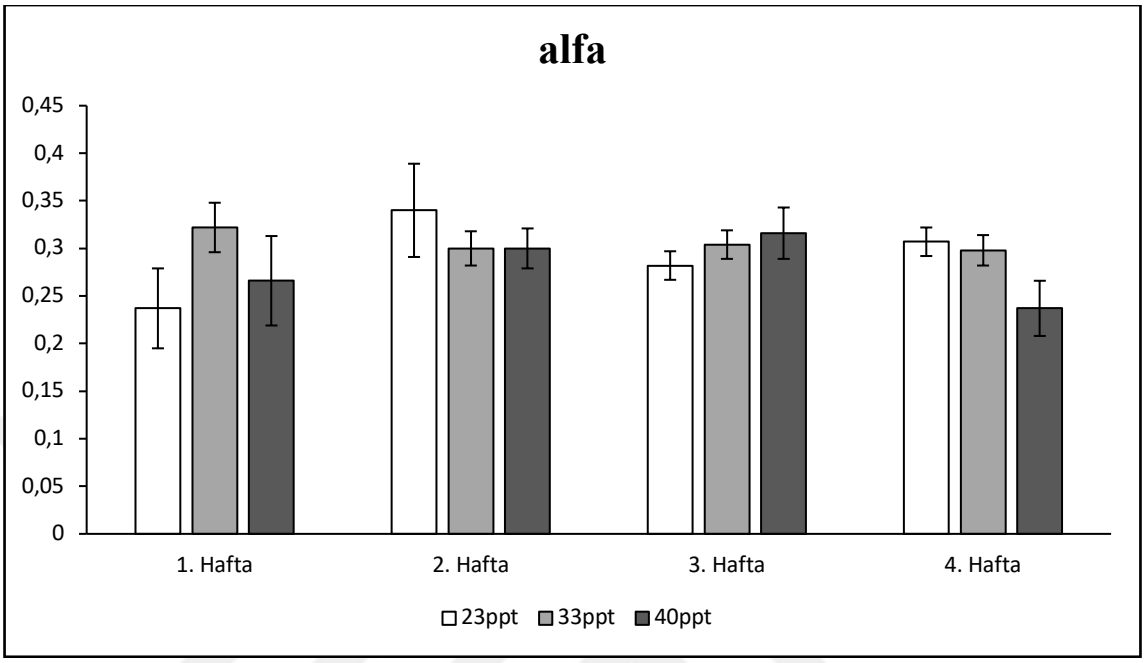
Çift yönlü varyans analizi sonuçlarına göre örneklerin I_k değerleri üzerine tuzluluk değişkeninin (F=3,049; p=0,057) anlamlı bir etkisi olmazken, zaman faktörü ile anlamlı bir farklılık oluşturduğu görülmüştür (F=5,406; p=0,001).

Çizelge 4.6. Farklı tuz derişimlerine maruz kalan *H. filicina* türünün I_k değerleri için çift yönlü varyans analizi sonuçları

	Tuzluluk	Zaman	Tuzluluk*Zaman
Serbestlik derecesi	2	3	6
Kareler ortalaması	661,286	153,053	1172,347
F	3,049	0,706	5,406
p	0,057	0,553	0,001

Şekil 4.8'de farklı tuz derişimlerine maruz kalan *H. filicina* örneklerinin alfa değeri gösterilmektedir. Alfa değeri örneklerin düşük ışık yoğunluklarındaki fotosentez etkinlikleri hakkında bilgi vermektedir. Çalışmanın 1. haftasında 23 ppt tuz derişimindeki örneklerin alfa değeri en düşük değer (0,24±0,04) olarak kaydedilmiş olup 2. haftada ise en yüksek değer (0,34±0,05) sahip olduğu görülmüştür. 40 ppt tuz derişimine maruz kalan örneklerin alfa değeri 3. haftada en yüksek değere (0,31±0,3) sahipken 4. haftada bu değer azalarak 0,24±0,03 olarak kaydedilmiştir.

1. haftada en yüksek alfa değerine (0,32±0,03) sahip olan 33ppt tuz derişimindeki örneklerin diğer haftalarda az da olsa alfa değerlerinde düşüş olmuştur.



Şekil 4.8. Farklı tuz derişimlerine maruz kalan *H. filicina* türünün alfa değerleri

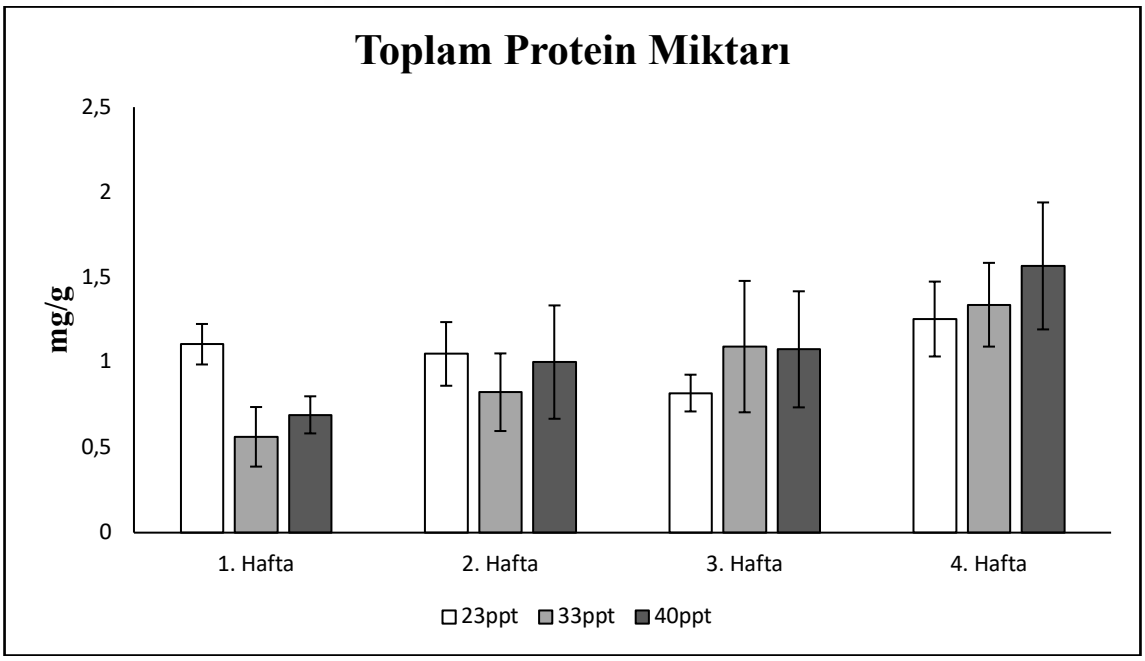
Çift yönlü varyans analizi sonuçlarına göre (Çizelge 4.7), tuzluluk değişkeninin *H. filicina* türünün alfa değerini etkilediği görülmüştür (F=4,297; p=0,019). 33 ppt ve 40 ppt tuz derişimine maruz bırakılan örneklerin alfa değerleri arasında farklılık anlamlı bulunmuştur (p<0,05). Zaman faktörü, *H. filicina* türünün alfa değerlerini etkilemiştir (F=5,115; p=0,004). Tukey HSD testi sonuçlarına göre örneklerin 2. haftadaki alfa değerlerinin, 1. ve 4. haftadaki alfa değerlerinden farklı olduğu saptanmıştır (p<0,05). Tuzluluk değişkeninin zaman değişkeni ile örneklerin alfa değerlerini etkilediği görülmüştür (F=6,688; p=0,001).

Çizelge 4.7. Farklı tuz derişimlerine maruz kalan *H. filicina* türünün alfa değerleri için çift yönlü varyans analizi sonuçları

	Tuzluluk	Zaman	Tuzluluk*Zaman
Serbestlik derecesi	2	3	6
Kareler ortalaması	0,004	0,004	0,006
F	4,297	5,115	6,688
p	0,019	0,004	0,001

4.6. Toplam Protein Miktarı

Şekil 4.9'da farklı tuz derişimlerine maruz kalan *H. filicina* türünün mg/g cinsinden toplam protein miktarları verilmiştir. 1. haftada en yüksek protein değeri, 23 ppt tuz derişimine maruz bırakılan örneklerde (1,11±0,12 mg/g) gözlenmiştir. 1. haftada, 33ppt ve 40 ppt tuz derişimindeki örneklerin toplam protein miktarı (0,56±0,17 mg/g, 0,69±0,11 mg/g) birbirine yakın olarak kaydedilmiştir. 1. ve 2. haftada en düşük protein miktarına sahip olan 33ppt tuz derişimindeki örneklerin 3. haftada en yüksek toplam protein değerine (1,09±0,38) sahip olduğu görülmüştür. 1. haftada 0,69±0,11 mg/g toplam protein değerine sahip 40 ppt tuz derişimindeki örneklerin toplam protein miktarında 4. haftada 2,2 kat artış meydana gelerek en yüksek değere (1,57±0,37 mg/g) ulaştığı görülmüştür. Bu değer dört haftalık periyotta en yüksek toplam protein değeri olarak kaydedilmiştir. Dört haftalık periyot boyunca kaydedilen protein değerlerine bakıldığında, 1. haftada belirlenen protein değerlerinin (23ppt tuz derişimindeki örnekler hariç) diğer haftalardan daha düşük değerlere sahip olduğu belirlenmiştir. 4. haftaya bakıldığında, 23ppt, 33ppt ve 40 ppt tuz derişimindeki örneklerin toplam protein değerleri, diğer haftalardan daha yüksek seviyede olduğu görülmektedir.



Şekil 4.9. Farklı tuz derişimlerine maruz kalan *H. filicina* türünün toplam protein miktarı

Farklı tuz derişimlerinde kültüre alınan *H. filicina* örneklerinde toplam protein değeri için çift yönlü varyans analizi sonuçları Çizelge 4.8'de verilmiştir. Çift yönlü varyans analizi sonuçlarına göre tuzluluk toplam protein içeriğini etkilemezken (F=1,447; p=0,245), zaman (F=14,786; p=0,001) *H. filicina* türünün toplam protein miktarını etkilemiştir. Elde edilen istatistik veriler, tuzluluk ve zaman değişkenleri bir aradayken örneklerin toplam protein miktarını etkilediğini göstermektedir (F=3,224; p=0,010). Tukey HSD testine göre 23 ppt, 33 ppt ve 40 ppt tuz derişimlerine maruz kalan örneklerin protein değerleri arasındaki farklılık anlamsız bulunmuştur (p>0,05). Tukey HSD testinde zaman değişkeni ele alındığında, 4. haftadaki örneklerin toplam protein miktarlarının diğer haftalardaki değerlerden farklılık gösterdiği belirlenmiştir (p<0,05).

Çizelge 4.8. Farklı tuz derişimlerine maruz kalan *H. filicina* türünün toplam protein değeri için çift yönlü varyans analizi sonuçları

	Tuzluluk	Zaman	Tuzluluk*Zaman
Serbestlik derecesi	2	3	6
Kareler ortalaması	0,094	0,962	0,210
F	1,447	14,786	3,224
p	0,245	0,001	0,010

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Yapılan tez çalışmasında tuzluluk stresinin *Halopteris filicina* türü üzerine fizyolojik etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Büyüme, en önemli fizyolojik parametredir ve türlerin ekolojik başarısını göstermektedir. Tuzluluğun, deniz yosunlarında büyüme üzerine etkisi birçok çalışmada araştırılmıştır. Bu çalışmalar, farklı deniz yosunu türlerinin farklı tuzluluk derişimlerinde optimum büyüme gösterdiğini belirtmektedir. Ming-Ming Sia vd. (2024), *Caulerpa lentillifera* türü ile yaptıkları çalışmada tuzluluğun, gübrenin ve bunların etkileşiminin bu türün büyümesini önemli ölçüde etkilediğini gözlemlemişlerdir. 27 ppt, 31 ppt ve 35 ppt tuz derişimlerinde kültüre alınan örneklerde optimal büyümenin 35 ppt tuz derişiminde olduğunu belirtmişlerdir. Thomsen vd. (2007), *Gracilaria vermiculophylla* türünün geniş bir tuzluluk aralığında hayatta kalabildiğini belirtirken, Nejrup ve Pedersen (2012), 15 ppt tuz derişiminin, bu deniz yosunu için optimal büyüme koşulları sağladığını belirtmişlerdir. Ayrıca, 15 ppt tuz derişimi altında büyüme oranının azaldığını gözlemlemişlerdir. Çok düşük tuz derişimlerine (0-5 ppt) maruz kalan deniz yosunlarının stres yaşadığını ve bu düşük tuz derişimine 2-4 gün maruz kalan deniz yosunlarının ortam koşulları düzeldikten sonra tamamen iyileşemediklerini saptamışlardır. Araştırmacılar *G. vermiculophylla* türünün fotosentezi ve büyümesinin düşük tuz derişiminden önemli ölçüde etkilendiğini belirtmişlerdir (Nejrup ve Pedersen 2012). Bews vd. (2021), tuzluluk ve besin maddelerinin *Ulva lactuca* türünün metabolizması ve büyümesi üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla yaptığı çalışmada tuzluluğun büyüme üzerinde bir etkisi olmadığını saptamışlardır. Nutrient alımının büyümeyi etkilediğini ve nutrient alımı ile tuzluluğun büyüme üzerinde anlamlı etkisi olmadığını belirtmişlerdir. Dört haftalık bu tez çalışmasında ise *H. filicina* örneklerinin büyüme oranı istatiksel olarak fark göstermemiş olsa da 40 ppt tuz derişimine maruz kalan örneklerin büyüme oranının diğer uygulamalardan daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Deniz yosunu örneklerinin büyüme oranları ile ilişkili olan bir diğer yolak ise azot metabolizmasıdır. Deniz yosunu türlerinde azot, özellikle amino asitler, enzimler ve proteinlerin yapısına katılması bakımından önemlidir.

Deniz suyunda deniz yosunları için en önemli inorganik azot kaynakları NH_4^+ ve NO_3^-'dır (Hurd vd., 2014). Nitrat redüktaz, NO_3^- asimilasyonunda ilk basamak olan NO_3^-'ın NO_2^-'e indirgenmesini katalizleyen enzimdir. Nitrat redüktaz aktivitesi, deniz yosunun NO_3^- alımı ve azot metabolizması hakkında önemli bilgiler sağlamaktadır. Çalışmalar, deniz yosunlarının büyüme oranı, NO_3^- alımı ve nitrat redüktaz aktivitesi arasında ilişki olduğunu göstermektedir (Davison ve Stewart, 1983; Davison vd., 1984). Bu tez çalışmasında, nitrat redüktaz aktivitesi, zamana bağlı olarak farklılık göstermiştir; özellikle 2. hafta diğer haftalardan belirgin şekilde ayrılmıştır. Ayrıca, 23 ppt tuz derişimindeki örneklerin nitrat redüktaz aktivitesinin 33 ppt ve 40 ppt tuz derişimlerindeki örneklerin nitrat redüktaz aktivitesinden farklı olduğu belirlenmiştir. 4. haftada ise tüm uygulamalarda nitrat redüktaz aktivitesinin genel olarak azaldığı gözlemlenmiştir (23ppt ve 33ppt). Ancak, 40 ppt tuz derişimindeki örneklerde nitrat redüktaz aktivitesi 1. haftadan 4. haftaya artış göstermiştir. Bu artış, 40 ppt tuz derişimindeki örneklerin daha çok nitrat aldığını ancak büyüme oranının bu örneklerde az olması nitratı büyüme için kullanmadığını göstermektedir. Ayrıca toplam protein miktarı, 4. haftada tüm uygulamalarda artmıştır. *Halopteris filicina* türünün aldığı azotu, tuzluluğa uyum sağlamak için bir protein yapımında kullanmış olacağı düşünülmektedir. Diğer bir hipotez ise *H. filicina* türü, ilk hafta 40 ppt tuz derişimine maruz kaldığında nitrat redüktaz aktivitesini düşürerek, yüksek tuzluluğa uyum sağlamaya çalışmış olabileceği düşünülmektedir. 1. haftada 40 ppt tuz derişimindeki örneklerin toplam protein değerinin düşük olması bu hipotezi desteklemektedir.

Alglerin protein içerikleri bulundukları ortamın tuzluluğuna ve mevsimsel değişimlere bağlı olarak değişim gösterebilmektedir (Lobban ve Harrison, 1994). Özen vd. (2023)'in, *Polysiphonia morrowii* türü üzerinde tuzluluğun etkilerini incelemek amacıyla yaptığı çalışmada, 10 ppt ve 23 ppt tuz derişimlerindeki örneklerin toplam protein miktarının tüm haftalarda 33 ppt tuz derişimindeki örneklerin protein miktarından yüksek bulunduğunu ve zamana bağlı artış gösterdiğini belirtmiştir. *P. morrowii* türünün protein miktarlarının, düşük ve yüksek tuz derişimine sahip ortamlarda artış gösterdiğini saptamıştır. Düşük tuz derişiminde kültüre alınan örneklerin protein değerlerindeki artış miktarı daha belirgin olarak ortaya çıktığını gözlemlemiştir.

Buna karşın, yapılan bu çalışmada son haftada toplam protein miktarı diğer haftalardan farklı olarak en yüksek seviyeye ulaşmıştır ve tuzluluk stresinden etkilenmemiştir. Bu bulgular, *H. filicina* türünün tuzluluk değişimlerine karşı toleranslı olduğunu ve tuz stresinin bu türdeki büyüme ve metabolik aktiviteleri üzerinde minimal etki yarattığını düşündürmektedir. Sonuç olarak *H. filicina* türü yüksek tuzluluğa hızla uyum sağlamıştır. Ancak büyümedeki azalmanın daha uzun süreli maruziyetlerde, yüksek tuz derişiminden olumsuz etkilenebileceğini düşündürmektedir.

Yapılan çalışmada, tuzluluk pigment içeriğini (klorofil-a ve fukoksantin) ve fotosentezi etkilememiştir. Işık yakalama kompleksi değişmemiş dolayısıyla antenna boyutu da değişmemiştir. Alfa ve I_k değerleri de bu bulgularla uyumlu bulunmuştur. Buna karşın Özen vd. (2023), *Polysiphonia morrowii* türü üzerinde tuzluluğun etkilerini incelemek amacıyla yaptığı çalışmada, bu türün tuzluluktan etkilendiğini ve fizyolojisinde belirgin değişiklikler gözlendiğini belirtmiştir. Özellikle tuz derişiminin azalmasının zamana bağlı olarak bu tür üzerinde daha etkili olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada, 10 ppt, 23 ppt ve 42 ppt tuz derişimindeki örneklerde, fotosentetik pigment içeriğinin (42 ppt hariç) arttığını ortaya koymuştur. Yüksek klorofil-a değerlerine 10 ppt tuz derişiminde kültüre alınan örneklerde rastlanırken, düşük klorofil-a değerlerine 42 ppt tuz derişimindeki örneklerde rastlandığını belirtmiştir. Farklı tuzluluk derişimlerine (10 ppt, 23 ppt ve 33 ppt) maruz kalma zamanı arttıkça stresin oluşturduğu olumsuz koşulların arttığı ve organizmanın bu olumsuz koşullarla başa çıkabilmek için bir tepki olarak klorofil-a değerlerini arttırdığı düşünülmektedir. Bu bulgular, *P. morrowii* türünün değişen ortam koşullarına uyum sağlamak için çeşitli savunma stratejileri geliştirdiğini ve farklı tuz derişimlerine toleranslı olduğunu vurgulamaktadır.

Tuzluluk değişimlerinin, deniz yosunlarının fotosentetik performans üzerindeki etkisi türler arasındaki belirgin farklılıkları ortaya koymaktadır. Yıldız ve Tiryaki'nin (2017), farklı tuz derişimlerine maruz kalan *Porphyra umbilicalis, Polysiphonia elongata, Dasya rigidula* ve *Ceramium rubrum* türlerinin fotosentetik performansı üzerine yaptığı çalışmada, incelenen türlerin fotosentetik aktivitelerinin tuzluluk değişimlerinden etkilendiği ve bu türlerin tuzluluk değişikliklerine karşı hassasiyetlerinin farklılık gösterdiği görülmektedir.

Yıldız ve Tiryaki (2017) tarafından yapılan çalışmada 23 ppt tuz derişiminde *P. elongata* ve *D. rigidula* türleri en iyi fotosentetik verimi gösterirken, daha yüksek tuzluluklar bu türlerde fotosentezi olumsuz etkilemektedir. Benzer şekilde, 23-33 ppt tuzluluklarda *C. rubrum* türünün fotosentez performansı yüksekken, 43 ppt'de performansında belirgin bir düşüş gözlenmiştir. Yıldız ve Tiryaki (2017) 43 ppt tuz derişiminde kültüre alınan *D. rigidula* örneklerinin, bir haftalık yüksek tuz derişiminde hayatta kalamadığını ve bu örneklerde herhangi bir ölçüm yapılamadığını belirtmişlerdir. *P. umbilicalis* ise tuzluluk değişikliklerine karşı yüksek tolerans göstermekte olup, diğer türlerden daha üst düzeyde osmoregülasyon kapasitesine sahip olduğu düşünülmüştür. Bu sonuçlar, deniz yosunları için tuzluluk adaptasyonunun karmaşıklığını ve türler arasındaki farklılıkları vurgulamaktadır, bu da ekosistemlerdeki tuzluluk değişikliklerinin deniz yosunu populasyonları üzerindeki potansiyel etkilerini anlamamıza yardımcı olmaktadır.

F_v/F_m oranı, bitkilerin veya alglerin fotosentez verimliliği hakkında önemli bilgiler sunmaktadır. Özellikle stres altındaki organizmaların fizyolojik durumunu belirlemede kullanılmaktadır. *H. filicina* türü örneklerinin F_v/F_m oranı farklı tuz derişimlerinde 0,7 civarında olduğu bu sebeple örneklerin stres altında olmadığı düşünülmektedir. Yıldız ve Tiryaki (2017) tarafından yapılan çalışma, *Scytosiphon lomentaria* ve *Ectocarpus siliculosus* türleri üzerinde yapılmış ve bu deniz yosunlarının fotosentetik pigmentler üzerindeki tepkilerini incelemiştir. Araştırmada, uygulanan farklı tuzluluk derişimleri (23 ppt, 33 ppt, 43 ppt) altında her iki türde de F_v/F_m oranının değişmediği ve dolayısıyla fizyolojik strese neden olmadığını belirtmişlerdir. Çalışmada klorofil-a içeriğinin her iki türde de düşük ve yüksek tuz derişimlerinden etkilenmediği, bu nedenle tuzluluğun türlerin fotosentetik etkinliğinde bir stres faktörü olmadığı vurgulanmıştır. Ayrıca *S. lomentaria* ve *E. siliculosus* türlerinin protein içeriğinde azalma meydana geldiğini tespit etmişlerdir.

Elde edilen veriler, *Halopteris filicina* türünün değişen tuzluluğa karşı yüksek tolerans sergilediğini böylelikle kozmopolit bir tür olduğunu göstermektedir. Bu özellikler, iklim değişikliği sonucu ortaya çıkan tuzluluk değişimlerine karşı diğer türlere göre ekolojik olarak daha başarılı olabileceğine işaret etmektedir.

KAYNAKLAR

Abbott, I.A. & J.M. Huisman. (2004). *Marine green and brown algae of the Hawaiian Islands*. Bishop Museum Press, Honolulu, HI, USA. 259 p.

Afonso-Carrillo, J. (2014). *Lista actualizada de las algas marinas de las islas Canarias*, 2014. Sociedad Española de Ficología (SEF), Las Palmas, España. 63 p.

Agostiano, A. & Catucci, L. (1996). Chlorophyll a self-organization in microheterogeneous surfactant systems. *Biophysical Chemistry*, 60, 17-27.

Airoldi, L., Balata, D. & Beck, M.W. (2008). The Gray Zone: relationships between habitat loss and marine diversity and their applications in conservation. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 366, 8-15.

Aleem, A.A. (1993). *Marine algae of Alexandria, Egypt*. Privately published, Alexandria, Egypt. 138 p.

Athanasiadis, A. (1996). *Taxonomisk litteratur och biogeo- grafi av Skandinaviska rödalger och brunalger*. Al- gologia Press, Göteborg, Sweden. 280 p.

Ballantine, D.A. & N.E. Aponte. (2003). An annotated checklist of deep-reef benthic marine algae from Lee Stocking (western Atlantic), I. Chlorophyta and Heterokontophyta. *Nova Hedwigia*, 76/1-2): 113-127. https://doi.org/10.1127/0029-5035/2003/0076-0113.

Barsanti, L. & Gualtieri, P. (2006). Algae: Anatomy, Biochemistry and Biotechnology. *CRC Press*, 43, 301. DOI:10.1111/j.1529-8817.2007.00335.x

Bews E., Booher L., Polizzi T., Long C., Kim J.H. &Edwards M.S. (2021) . Effects of salinity and nutrients on metabolism and growth of Ulva lactuca: Implications for bioremediation of coastal watersheds. *Marine Pollution Bulletin*. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112199

Bischof, K., Gomez, I., Molis, M., Hanelt, D., Karsten, U., Lüder, U., Roleda, M.Y., Zacher, K. & Wiencke, C. (2006). Ultraviolet radiation shapes seaweed communities. *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.,* 5(2–3): 141–166. DOI: 10.1007/s11157-006-0002-3.

Bottalico, A., G. Alongi & C. Perrone. (2016). Macroalgal diversity of Santa Cesarea-Castro (Salento Peninsu- la, southeastern Italy). *Anales del Jardín Botánico de Madrid*, 73(2): 1-12. https://doi.org10-3989/ajbm. 2412.

Bradford, M. (1976). A Rapid And Sensetive Method For The Quantitation Of Microgram Quantities of Protein Utilizing The Principle of Protein-Dye Binding. *Anal. Biochem*., 72, 248-254. https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3

Brown, C.J., Fulton, E.A., Hobday, A.J., Matear, R.J., Possingha, H.P., Bulman, C., Christensen, V., Forrest, R.E., Gehrke, P.C., Gribble, N.A., Griffiths, S.P., Lozano- Montes, H., Martin, J.M., Metcalf, S., Okey, T.A., Watson, R. & Richardson, A.J. (2010). Effects of climate-driven primary production change on marine food webs: implications for fisheries and conservation. *Global Change Biology*, 16: 1194-1212. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.02046.x.

Bunker, F.S.P.D., J.A. Brodie, C.A. Maggs & A.R. Bunker (2017). *Seaweeds of Britain and Ireland.* 2nd ed. Wild Nature Press, Plymouth, UK. 312 p.

Bunsom C. & Prathep A. (2012). Effects of salinity light intensity and sediment on growth, pigments, agar production and reproduction in Gracilaria tenuistipitata from Songkhla Lagoon in Thailand. Phycological Research, 60, 169-178.

Burel, T., M. Le Duff & E. Ar Gall. (2019). Updated check- list of the seaweeds of the French coasts, Channel and Atlantic Ocean. *An aodles cahiers naturalistes de l'Observatoire marin*, 7(1): 1-38.

Büchel, C. & Wilhelm, C. (1993). In vivo analysis of slow chlorophyll fluorescence induction kinetics in algae: Progress, problems and perspectives. *Photochem. Photobiol.*, 58, 137-148. https://doi.org/10.1111/j.1751-1097.1993.tb04915.x

Castro P. & Huber M.E. (1997). *Marine Biology*. McGraw-Hill, United States of America.96-100.

Cirik Ş., Şen E.& Ak İ., (2010). Esmer Alglerden Cystoseira barbata (Stackhouse) C. Agardh' nın Yetiştiriciliği ve Kimyasal Bileşiminde Meydana Gelen Değişimler. *Journal of Fisheries Sciences*, 4 (4), 354-361

Cirik, Ş. & Cirik, S. (2011). Su Bitkileri I (Deniz Bitkilerinin Biyolojisi, Ekolojisi, Yetiştirme Teknikleri). *Ege Üniversitesi Su ürünleri Fakültesi Yayınları*, 58: 135–145.

Cormaci, M., E. Lanfranco, J.A. Borg, J.A. Buttgieg, G. Furnari, S.A. Micallef, C. Mifsud, F. Pizzuto, B. Scammacca & D. Serio. (1997). Contributions to the knowledge of benthic marine algae on rocky subs- trata of the Maltese Islands (Mediterranean Sea). *Botanica Marina*, 40(1-6): 203-215. https://doi.org /10.1515/botm.1887.40.1-6.203.

Corzo, A., Niell, F.X. (1991). Determination of nitrate reductase activity in Ulva rigida C. Agardh by the in situ method. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 146, 181-191. https://doi.org/10.1016/0022-0981(91)90024-Q.

Çetin, M., (2014). *Polysiphonia morrowii Harvey Türü Üzerine Tuzluluğun Etkileri.* Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, Bursa, 81.

Davison, I.R. & Pearson, G.A., (1996). Stress tolerance in intertidal seaweeds. *Journal of Phycology*, 32,197-211.

Davison, I.R. & Stewart, W.D.P. (1983). Occurrence and significance of nitrogen transport in the brown alga Laminaria digitata. *Marine Biology,* 77, 107-112.

Davison, I.R., Andrews, M. & Stewart, W.D.P. (1984). Regulation of growth in Laminaria digitata: use of in vivo nitrate reductase activities as an indicator of nitrogen limitation in field populations of Laminaria spp. *Marine Biology*, 84, 207-217.

Dawes, C.J. & A.C. Mathieson. (2008). *The seaweeds of Florida*. University Press of Florida, Gainesville, FL, USA. 591 p.

Dawes, C.J. (1998), *Marine Botany*. 2nd edition. J. Wiley & Sons, New York, 480.

Doğan, M., Avu, A., Can, E. N. & Aktan, A. (2008). Farklı domates tohumlarının çimlenmesi üzerine tuz stresinin etkisi. *SDÜ Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi,* 3(2), 174-182. Doi: 10.29233/sdufeffd.134653

Durmaz, Y., Yiğitkurt, S., Kırtık, A. & Uğur, S. (2020). İzmir Körfezi Kıyılarından Toplanan Makroalglerin Pigment Potansiyeli. *Menba Kastamonu Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 6(2), 45-52.

Eggert A, Nitschke U, West JA, Michalik D. & Karsten U. (2007). Acclimation of the intertidal red alga Bangiopsis subsimplex (Stylonematophyceae) to salinity changes. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology,* 343: 176–186. https://doi.org/10.1016/j.jembe.2006.11.015.

Eilers, P.H.C., Peeters, J.C.H. (1988). A model for the relationship between light intensity and the rate of photosynthesis in phytoplankton. Ecological Modelling, 42: 199-215.

Einav, R. & A. Israel. (2008). Checklist of seaweeds from the Israeli Mediterranean: taxonomical and ecologi- cal approaches. *Israel Journal of Plant Sciences*, 56: 127-184. https://doi.org/10.1560/IJPS.57.1-2.127.

Fabregas, J., Herrero, C., Abalde, J., & Cabezas, B. (1985). Growth, chlorophyll a and protein of the marine microalga Isochrysis galbana in batch cultures with different salinities and high nutrient concentrations. *Aquaculture*, 50(1-2), 1-11. https://doi.org/10.1016/0044-8486(85)90147-4

Field, C.B., Behrenfeld, M.J., Randerson, J.T. & Falkowski, P. (1998). Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components, *Science*, 281,237–240.

Gammone M.A & D'Orazio N. (2015). Anti-obesity activity of the marine carotenoid fucoxanthin. Mar Drugs.13:2196-214.

Gao S., Huan L., Lu X.P., Jin W.H., Wang X.L., Wu M.J, & Wang G.C. (2016). Photosynthetic responses to saline stress by the low intertidal macroalga, Sargassum fusiforme (Sargassaceae). *Photosynthetica*, DOI: 10.1007/s11099-015-0181-7

Gao, K. & Xu, J. (2010). Ecological and physiological responses of macroalgae to solar and UV radiation In: ısrael A, Einav R, Seckbach J (eds)Seaweeds and their role in globally changing environments. *Springer,* Dordrecht, 183-198. DOI:10.1007/978-90-481-8569-6_11

Gevaert, F., Creach, A., Davoult, D., Migne, A., Levavasseur, G., Arzel, P., Holl, A. & Lemoine, Y. (2003). Laminaria saccharina photosynthesis measured in situ: photoinhiibition and xanthophyll cycle during a tidal cycle. *Marine Ecology Progress Series*, 247, 43-50.

Gökpınar, Ş., (1983). Observations on the culture of a marine diyatom Phaeodactylum tricornitum bohlinin different nutrient and salinity concentration. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences,* 6: 77-86.

Gupta, S., Abu-ghannam, N. (2011), Bioactive potential and possible health effects of edible Brown seaweeds, *Trends in Food Sciense technology*, 22(6),315-326.

Hanisak M.D., 1983. The Nitrogen Relationships of Marine Macroalgae. In E.J. Carpenter & D.G. Capone (eds), Nitrogen in the Marine Environment. *Academic Press*, New York. 699-730.

Holdt, S.L. & Kraan, S., (2011). Bioactive compounds in seaweed: functional food applications and legislation, *Journal of Applied Phycology*, 23(3), 543–597.

Hopson, J.L. & Wessels, N.K. (1990). *Essentials of Biology, Mc Graw-Hill Publishing Company*, New York.

https://www.algaebase.org/search/species/detail/?species_id=334

Hurd, C.L., Harrison, P.J., Bischof, K. & Lobban, C.S. (2014). Seaweed ecology and physiology. *Cambridge University Press,* Cambridge, UK, 562. https://doi.org/10.1017/CBO9781139192637

Imchen T. (2012). Effect of temperature, salinity and biofilm on the zoospores settlements of Enteromorpha flexuosa (Wulfen) J. Agardh. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*, 41(4), 355- 358.

Inskeep, W.P. & Bloom, P.R. (1985). Extinction Coefficients of Chlorophyll a and b in N,N-Dimethylformamide and 80% Acetone. *Plant. Physiol*., 77(2), 483-485.

Joher, S., E. Ballasteros, E. Cebrian, N. Sáchez & C. Rodriguez-Prieto. (2012). Deep-water macroal- gal-dominated coastal detritic assemblages on the continental shelf off Mallorca and Menorca (Balearic Islands, Western Mediterranean). *Bot. Mar.,* 55 (5): 485-497. https://doi.org/10.1515/ bot-2012-0113

Karakuş S. (2011). *Farklı boyar maddelerin özel hazırlanmış adsorbanlar üzerinde adsorpsiyon kinetiğinin ve termodinamiğinin incelenmesi*. [Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi].

Karsten U, Wiencke C. & Kirst GO, (1991). The effect of salinity changes upon the physiology of eulittoral green macroalgae from Antarctica and Southern Chile. I. Cell viability growth, photosynthesis and dark respiration. *Journal of Plant Physiology*, 138: 667–673. https://doi.org/10.1016/S0176-1617(11)81313-1

Karsten, U. (2012). Seaweed acclimation to salinity and desiccation stress. *In Seaweed biology: Novel insights into ecophysiology, ecology and utilizatio*n (pp. 87-107). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Karsten, U., (2012). Seaweed acclimation to salinity and desiccation stress. In: Wiencke C., Bischof K. (eds) Seaweed Biology. Ecological Studies (Analysis and Synthesis), vol 219. Springer, Berlin, Heidelberg. 87-107pp.

Kirst G.O, (1989). Salinity tolerance of eukaryotic marine algae. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology,* 41, 21–53.

Kirst, G.O., (1990). Salinity tolerance of eukaryotic marine algae. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 41, 21–53.

Krause, G.H. & Weiss, E. (1991). Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 42, 313-349. DOI:10.1146/annurev.pp.42.060191.001525.

Larkum, A.W.D. (2003). Light harvesting systems in algae: Photosynthesis in algae, Advances in Photosynthesis and Respiration Series. Ed.: Larkum, A.W.D., Douglas, S.E., Raven, J.A., Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 277-304.

Lartigue J., Neill A., Hayden B.L, Pulfer J. & Cebrian J. (2003). The impact of salinity fluctuation on net oxygen production and inorganic nitrogen uptake by *Ulva lactuca* (Chlorophyceae). Aquatic Botany, 75(4): 339-350.

Lee, R. E., (2008). Phycology. Cambridge University Press.

Liang Z., Sun X., Wang F., Wang W. & Liu F. (2013). Impact of environmental factors on the photosynthesis and respiration of young seedlings of Sargassum thunbergii (Sargassaceae. Phaeophyta). *American Journal of Plant Sciences*, 4, 27-33. DOI: 10.4236/ajps.2013.412A2004

Lobban, C.S. & Harrison, P.J. (1997). Seaweed ecology and physiology. *Cambridge University Press*, 366. https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.1997.00851-5.x

Loyda G.F., Citlalli G.G, Yuri O.& Jorge A. H.S. (2019). Halopteris filicina (Phaeophycae: Sphacelariales), a new record for Mexico. 34(2), 29-36. https://doi.org/10.37543/oceanides.v34i2.271

Luna, C., Gonzalez, C. & Trippi, V. (1994). *Oxidative damage caused by an excess of copper in oat leaves.* Plant Cell Physiology, 35(1), 11-15. DOI: 10.1093/oxfordjournals.pcp.a078561

Maxwell, K. & Johnson, G.N. (2000). *Chlorophyll fluorescence—a practical guide*. J. Exp. Bot., 51, 659-668. https://doi.org/10.1093/jexbot/51.345.659.

Menezes-Széchy, M.T. & J.C. Paula. 2010. Phaeophy- ceae. 404-408, *En*: Forzza R.C. (Eds.). *Catálogo de plantas e fungos do Brasil.* Andrea Jakobsson Estúdio, Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

Ming-Ming Sia G., Teoh C. & Junus S. (2024). Effect of salinity and fertilization on the growth and sensory attributes of sea grapes, *Caulerpa lentillifera. Aquaculture Reports.* V (36),1-8. https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2024.102165.

Moussa, H., M. Hassoun, G. Salhi, H. Zbakh, & H. Riadi. (2018). Checklist of seaweeds of Al-Ho- ceima National Park of Morocco (Mediterra- nean marine protected area). *Acta Bot. Malaci- tana,* 43: 91-109. https://doi.org/10.24310/abm.v43i0.4966.

Nainanayake, A.D. (2007). Use of chlorophyll fluorescence parameters to assess drought tolerance of coconut varieties. *COCOS*, 18, 77-105.

Nejrup LB &Pedersen MF. (2012). The effect of temporal variability in salinity on the invasive red alga Gracilaria vermivuophylla. *European Journal of Phycolology*, 47(3), 254-263. https://doi.org/10.1080/09670262.2012.702225

Ogata, E. & Schramm, W. (1971). Some observations on the influence of salinity on growth and photosynthesis in Porphyra umbilicalis. *Marine Biology*, 10(1), 70-76.

Ould-Ahmed, N., A. Gómez-Garreta, M.A. Ribera- Siguan & N. Bouguedoura. (2013). Checklist of the benthic marine macroalgae from Algeria. I. Phaeophyceae. *An. Jard. Bot. Madrid,* 70 (2): 136-143. https://doi.org/10.3989/ajbm.2349

Özen M., Yıldız G. & Dere Ş. (2023). Polysiphonia morrowii Harvey'nin Biyokimyasal ve Fizyolojik Özellikleri Üzerinde Etkili Bir Parametre: Tuzluluk Stresi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi,* 23, 1339-1355.

Parida, A.K. & Das, A.B. (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicol. Environ. Saf.,* 60, 324–349. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2004.06.010.

Peckol P., Anderson D., Rivers B. J., Valiela I., Maldonado M., Weiner, J.ve Yates, J.,(1994). Growth, Nutrient Uptake Capacities, and Tissue Constituents of the Macroalgae, *Gracilaria tikvahiae* and *Cladophora vagabunda*, Related to Site Specific Nitrogen Loading Rates. *Marine Biology*, 121: 175-185.

Perez-Aflocea, F., Estan, Mt., Caro, M.& Guerrier, G. (1996). *Osmotic adjustment in Lycopersicon esculentum and Lycopersicon pennellii under sodium chloride and polyethylene glycol 6000 iso-osmotic stress.* Physiology Plant*,* 87: 493-498.

Pinchetti, J.L.G., Fernández, E.C., Diez, P.M., Reina, G.G., (1998). Nitrogen availability influences the biochemical composition and photosynhesis of tank-cultivated Ulva rigida (Chlophyta), *Journal of Applied Phycology*, 10: 383-389.

Provasoli, L. (1968). Media and prospects for the cultivation of marine algae: Cultures and collections of algae. Proceedings of the US-Japan Conference, Hakone, September 1966, Jpn. Soc. Plant Physiol., pp: 63-75.

Ramaraj, R., Tsai, D.D.W. & Chen, P.H. (2013). Chlorophyll is not accurate measurement for algal biomass. *Chiang Mai Journal of Science*, 40, 547-555.

Ramírez, M.E. & B. Santelices. (1991). Catálogo de las algas marinas bentónicas de la costa temperada del Pacífico de Sudamérica. *Monografías Bi- ológicas,* 5: 1-437.

Ramlov, F., M.C. de Souza, J., Farias, A., Maraschin, M., Horta, P. A. & Yokoya, N. S. (2012). Effects of temperature, salinity, irradiance, and nutrients on the development of carposporelings and tetrasporophytes in Gracilaria domingensis (Kütz.) Sonder ex Dickie (Rhodophyta, Gracilariales). *Botanica Marina,* 55: 253–259. DOI:10.1515/bot-2011-0074.

Ribera, M.A., A. Gómez-Garreta, T. Gallardo, M. Cormaci, G. Furnari & G. Giaccone. (1992). Check-list of Mediterranean seaweeds. I. Fuco- phyceae (Warming 1884). *Bot. Mar.*, 35: 109- 130. https://doi.org/10.1515/botm.1992.35.2.109.

Rindi, F. & C. Battelli. (2005). Spatio-temporal vari- ability of intertidal algal assemblages of the Slovenian coast (Gulf of Trieste, northern Adri- atic Sea). *Bot. Mar.,* 48: 96-105. https://doi. org/10.1515/BOT.2005.022

Scherner, F., Ventura, R., Barufi, J.B. & Horta, P.A. (2012). Salinity critical threshold values for photosynthesis of two cosmopolitian seaweed species: Providing baselines for potential shifts on seaweed assemblages. *Marine Environmental Research*, 1-12. DOI: 10.1016/j.marenvres.2012.05.007

Seely G.R., Duncan M.J. & Vidaver W.E. (1972). *Preparative and analytical extraction of pigments from Brown algae with dimethyl sulfoxide,* Marine Biology,12(2),184-188.

Silva, P.C., P.W. Basson & R.L. Moe. 1996. Cata- logue of the benthic marine algae of the Indian Ocean. *Univ. Calif. Publ. Bot.*, 79: 1-1259.

Streitweiser & Heathcock (1981), Introduction to Organic Chemistry, MacMillan, New York

Sudhir P. & Murthy S.D.S (2004). Effects of salt stress on basic processes of photosynthesis. *Photosynthetica*, 42(4), 481-486.

Taşkın E., M. Öztürk, O. Kurt, & M. Öztürk. (2008). *The check-list of the marine algae of Turkey*. Ecem Kirtasiye, Manisa, Turkey. ii+87 p.

Taşkın E. (2019). *Suyosunları: Türkiye Bitkiler Listesi*, 479.

Thomas, D.N. (2002). *Seaweeds, London: Natural History Museum*, London.

Thomsen MS, Staehr PA, Nyberg CD, Schwaerter S, Krause-Jensen D, Silliman BR, (2007). *Gracilaria vermiculophylla* (Ohmi) Papenfuss, 1967 (Rhodophyta. Gracilariaceae) in northern Europe, with emphasis on Danish conditions, and what to expect in future. Aquatic Invasions, 2: 83-94.

Tittley, I. & A.I. Neto. (1994). "Expedition Azores 1989": Benthic marine algae (seaweeds) record- ed from Faial and Pico. *Arquipélago, Bulletin of the University of the Azores, Life and Marine Sci- ences,* 12A: 1-13.

Tsiamis, K., E. Taskin, S. Orfanidis, P. Stavrou, M. Argyrou, P. Panayotidis, T. Tsioli, B.A. Cicek, M. Marcou & F.C. Küpper. (2014). Checklist of seaweeds of Cyprus (Mediterranean Sea). *Bot. Mar.*, 57 (3): 153-166. https://doi.org/10.1515/ bot-2014-0006

Tsiamis, K., P. Panayotidis, A. Economou-Amilli & C. Katsaros. (2013). Seaweeds of the Greek coasts. I. Phaeophyceae. *Mediterr. Mar. Sci.,* 14(1): 141- 157. https://doi.org/10.12681/mms.315

Tribollet, A.D. & Vroom, P.S. (2007). Temporal and spatial comparison of the relative abundance of macroalgae across the Mariana Archipelago between 2003 and 2005. *Phycologia*, 46: 187-197.

Turpin D.H., (1991). Effects of Inorganic N Availability on Algal Photosyntesis and Carbon Metabolism. *Journal of Phycology*, 27 (1), 14-20.

Türe, C. (2009). *Genel Biyoloji*. Anadolu Üniversitesi, Açıköğretim Fakültesi Yayın No:1045, Eskişehir, 111.

Wang, Y., Wang, Y., Zhu, L., Zhou, B. & Tang, X. (2012). Comparative studies on the ecophysiological differences of two green tide macroalgae under controlled laboratory conditions. *PLoS ONE* 7(8): e38245. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0038245.

Wilson, K.A., Able, K.W. & Heck, K.L. (1990). Predation rates on Juvenile Blue Crabs in estuarine nursery habitats: evidence for the importance of macroalgae (Ulva lactuca). *Marine Ecology Progress Series*, 58: 243-251. DOI:10.3354/meps058243.

Woelkerling, W.J., Spenceri K.G., West, J.A. (1983). Studies on selected Corallinaceae (Rhodophyta) and other algae in a defined marine culture medium. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 67:61-77.

Woodrow, I.E. & Berry, J.A. (1988). Enzymatic regulation of photosynthetic CO2 fixation in C3 plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 39, 533-594.

Wynne, M.J. (2018). A checklist of the benthic marine algae of the Northern Arabian Sea coast of the Sultanate of Oman. *Bot. Mar.*, 61 (5): 481-498. https://doi.org/10.1515/bot-2018-0035

Yıldız G. & Dere Ş. (2008). Effect of salinity stress on photosynthetic pigments in Ulva rigida (Chlorophyta). *International Journal of Phycology and Phycochemistry*, 4(2), 121-124.

Yıldız, G. & Tiryaki, Ş. (2017). Kırmızı Deniz Yosunlarının Fotosentetik Performansı Üzerine Tuzluluğun Etkileri. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi,*7(1),55-61

Yıldız, G. & Tiryaki, Ş. (2018). Tuz Derişiminin Denizel Kahverengi Alglerin Fotosentetik Performansı Üzerine Etkileri. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi,* 18(3), 751-756.

Yılmaz, K.H., Dikbaş M.D. & Bilgüven M. (2016). Siyanobakterilerden Elde Edilen Pigment Maddeleri ve Kullanım Alanları. *U.Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi*. 30(1), 139-155.

Yoshida, T., M. Suzuki & K. Yoshinaga. (2015). Check- list of marine algae of Japan (revised in 2015). *Jap. J. Phycol.*, 63:129-189.

Ytreberg, E., Karlsson, J., Ndungu, K., Hassellöv, M., Breitbarth, E. & Eklund, B. (2011). Influence of salinity and organic matter on the toxicity of Cu to a brackish water and marine clone of the red macroalgae Ceramium tenuicorne. *Ecotoxicology and Environmental Safety,* 74: 636–642. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2010.09.013

Zeybek N., Zeybek U & Saygıner B. (2003). *Farmasötik Botanik*, Meta Basımevi, İzmir, 102-103.

Zou, D. (2005). Effects of elevated atmospheric CO2 on growth, photosynthesis and nitrogen metabolism in the economic brown seaweed, Hizikia fusiforme (Sargassaceae, Phaeophyta). *Aquaculture,* 250, 726-735. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.05.014