



T.C.

**ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

SU ÜRÜNLERİ YETİŞTİRİCİLİK ANABİLİM DALI

**ÇANAKKALE İLİNDE DAĞILIM GÖSTEREN YEŞİL
ALGLERDEN *CODIUM FRAGILE* SUBSP. *FRAGILE*'İN ELEMENT
İÇERİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ONUR SEVER

**TEZ DANIŞMANI
PROF. DR. İLKNUR AK**

ÇANAKKALE – 2024



T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

SU ÜRÜNLERİ YETİŞTİRİCİLİK ANABİLİM DALI

**ÇANAKKALE İLİNDE DAĞILIM GÖSTEREN YEŞİL
ALGLERDEN *CODIUM FRAGILE* SUBSP. *FRAGILE*'İN ELEMENT
İÇERİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ONUR SEVER

TEZ DANIŞMANI
PROF. DR. İLKNUR AK

ÇANAKKALE – 2024



T.C.
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



Onur SEVER tarafından Prof. Dr. İlknur AK yönetiminde hazırlanan ve **20/08/2024** tarihinde aşağıdaki jüri karşısında sunulan “**Çanakkale İlinde Dağılım Gösteren Yeşil Alglerden *Codium fragile* subsp. *fragile*’in Element İçeriklerinin Araştırılması**” başlıklı çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü **Su Ürünleri Yetiştiricilik Anabilim Dalı**’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Prof. Dr. İlknur AK

(Danışman)

Prof. Dr. Özlem ÇAKAL ARSLAN

Doç. Dr. Yeliz ÖZÜDOĞRU

.....

.....

.....

Tez No : 10607844

Tez Savunma Tarihi : 20/08/2024

.....
Doç. Dr. Melis ULU DOĞRU

Enstitü Müdürü

../../2024

ETİK BEYAN

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kuralları'na uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi taahhüt ve beyan ederim.

(İmza)

Onur SEVER

20/08/2024

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının tamamlanmasında değerli katkılarını ve desteklerini esirgemeyen Prof. Dr. İlknur Ak'a en içten teşekkürlerimi sunarım. Kendisinin rehberliği ve teşviki olmasaydı bu çalışmayı gerçekleştirmek mümkün olmazdı. Ayrıca, hayatımın her evresinde bana destek olan değerli aileme, sevgili anneme, babama ve kardeşime sonsuz teşekkürlerimi sunmak isterim. Onların sabrı, anlayışı ve sevgisi bu süreçte bana güç verdi. Bu çalışma, sizlerin desteği sayesinde tamamlanmıştır. Hepinize en derin teşekkürlerimi sunarım.

Onur SEVER

Çanakkale, Ağustos 2024

ÖZET

ÇANAKKALE İLİNDE DAĞILIM GÖSTEREN YEŞİL ALGLERDEN *CODIUM FRAGILE* SUBSP. *FRAGILE*'İN ELEMENT İÇERİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Onur SEVER

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Su Ürünleri Yetiştiricilik Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. İlknur AK

20/08/2024, 28

Bu tez çalışmasında, Çanakkale Boğazı Kepez bölgesinden toplanan *Codium fragile* subsp. *fragile*'in mevsimsel mineral ve ağır metal içerikleri incelenmiştir. Çalışmada Ca, P, Cr, Fe, Cu, Mn, Zn ve Al elementlerinin mevsimsel dağılımları detaylı olarak analiz edilmiştir. Örneklerin mineral içerikleri incelendiğinde, Na, Ca, K, P, Co, Fe, Cu, Ni, Mn, Zn ve Al elementlerinin mevsimsel farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir ($p<0,05$). Bahar mevsiminde Na ($2749,20\pm490,40$ ppm), K ($291,68\pm37,97$ ppm), Ca ($361,91\pm93,44$ ppm), P ($31,57\pm2,48$ ppm), Co ($29,42\pm5,82$ ppb), Cu ($202,85\pm7,20$ ppb), Fe ($37,35\pm30,38$ ppb), Mn ($2,09\pm0,12$ ppm), Ni ($172,33\pm33,25$ ppb), Al ($23,02\pm4,78$ ppm) ve Zn ($543,93\pm44,66$ ppb) en yüksek seviyelerde tespit edilmiştir. Mg, B ve Cr elementleri mevsimsel olarak anlamlı bir farklılık göstermemiştir ($p>0,05$). Kış mevsiminde elementler $Na > K > Ca > Mg > P > Al > Mn > B > As > Zn > Cu > Ni > Cr > Fe > Co$ şeklinde sıralanmıştır. Bahar mevsiminde $Na > Ca > K > Mg > P > Al > Mn > B > As > Zn > Cu > Ni > Cr > Fe > Co$, yaz mevsiminde $Na > Ca > K > Mg > P > Al > Mn > B > Zn > As > Cr > Ni > Cu > Fe > Co$ ve sonbahar mevsiminde $Na > Mg > Ca > K > P > Al > B > Mn > Zn > As > Cu > Ni > Cr > Fe > Co$ sıralamaları gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Codium fragile*, Element İçerikleri, Mevsimsel Değişim, Yeşil Makroalgler

ABSTRACT

INVESTIGATION THE ELEMENTAL COMPOSITION OF *CODIUM FRAGILE* SUBSP. *FRAGILE*, A GREEN ALGA DISTRIBUTED IN ÇANAKKALE

Onur SEVER

Çanakkale Onsekiz Mart University

School of Graduate Studies

Master of Science Thesis in Aquaculture

Supervisor: Prof. Dr. İlknur AK

08/20/2024, 28

In this study, we investigated the seasonal mineral and heavy metal contents of *Codium fragile* subsp. *fragile* collected from the Kepez region of the Dardanelles. Our findings on the seasonal distribution of Ca, P, Cr, Fe, Cu, Mn, Zn, and Al are of examined. We discovered that Na, K, Ca, P, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Al, and Zn showed significant seasonal differences ($p < 0.05$). In the spring season, we observed the highest levels of Na (2749.20 ± 490.40 ppm), K (291.68 ± 37.97 ppm), Ca (361.91 ± 93.44 ppm), P (31.57 ± 2.48 ppm), Co (29.42 ± 5.82 ppb), Cu (202.85 ± 7.20 ppb), Fe (37.35 ± 30.38 ppb), Mn (2.09 ± 0.12 ppm), Ni (172.33 ± 33.25 ppb), Al (23.02 ± 4.78 ppm), and Zn (543.93 ± 44.66 ppb). The elements Mg, B, and Cr did not show significant seasonal differences ($p > 0.05$). In the winter season, the elements were ordered as $Na > K > Ca > Mg > P > Al > Mn > B > As > Zn > Cu > Ni > Cr > Fe > Co$. In the spring season, $Na > Ca > K > Mg > P > Al > Mn > B > As > Zn > Cu > Ni > Cr > Fe > Co$; in the summer season, $Na > Ca > K > Mg > P > Al > Mn > B > Zn > As > Cr > Ni > Cu > Fe > Co$ and in the autumn season $Na > Mg > Ca > K > P > Al > B > Mn > Zn > As > Cu > Ni > Cr > Fe > Co$.

Keywords: *Codium fragile*, Element Contents, Seasonal Variation, Green Macroalgae

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

JÜRİ ONAY SAYFASI.....	i
ETİK BEYAN.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	viii
TABLolar DİZİNİ.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

1

İKİNCİ BÖLÜM

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

3

2.1. <i>Codium</i> Cinsinin Genel Özellikleri.....	3
2.2. <i>Codium fragile</i> subsp. <i>fragile</i> (Suringar) Hariot 1889.....	4
2.3. Çalışma Alanının Genel Özellikleri.....	5
2.4. Element içeriklerinin belirlenmesi.....	6

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

MATERYAL YÖNTEM

10

3.1. Araştırma Materyali.....	10
3.2. Element Analizi.....	10
3.3. İstatistiksel Analizler.....	10

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM	12
ARAŞTIRMA BULGULARI	
4.1. Makro Elementler.....	12
4.2. Mikro Elementler.....	15
BEŞİNCİ BÖLÜM	21
SONUÇ ve ÖNERİLER	
KAYNAKÇA	23



SİMGELER VE KISALTMALAR

Al	Alüminyum
B	Bor
Ca	Kalsiyum
Co	Kobalt
Cr	Krom
Cu	Bakır
Fe	Demir
K	Potasyum
Mg	Magnezyum
Mn	Manganez
Na	Sodyum
Ni	Nikel
P	Fosfor
Zn	Çinko
ka	Kuru Ağırlık
ya	Yaş Ağırlık
ppm	Milyonda Bir
ppb	Milyarda Bir
WHO	Dünya Sağlık Örgütü

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo No	Tablo Adı	Sayfa No
Tablo 1	<i>Codium</i> Türlerinin Makro Element İçerikleri (ppm veya ppb)	14
Tablo 2	<i>Codium</i> Türlerinin Mikro Element İçerikleri (ppm veya ppb)	19



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Şekil Adı	Sayfa No
Şekil 1	<i>Codium fragile</i> subsp. <i>fragile</i> 'in genel görünüşü	5
Şekil 2	Çalışma alanı	6
Şekil 3	<i>C. fragile</i> subsp. <i>fragile</i> 'in Na, Mg, K, Ca ve P elementlerinin mevsimsel değişimleri. Küçük harfler mevsimler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıkları göstermektedir ($p<0,05$).	13
Şekil 4	<i>C. fragile</i> subsp. <i>fragile</i> 'in B, Zn, Co, Cr, Mn, Al, Cu, Ni ve Fe elementlerinin mevsimsel değişimleri. Küçük harfler mevsimler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıkları göstermektedir ($p<0,05$).	16

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

Makro algler, denizlerin ekolojik ve ekonomik açıdan önemli canlı kaynakları arasında yer almaktadır. Bu çok hücreli ökaryotik organizmalar, içeriklerindeki pigment maddelerine göre kırmızı (Rhodophyta), yeşil (Chlorophyta) ve esmer (Phaeophyta) algler olarak sınıflandırılmaktadır (Ak vd., 2016). Bu canlılar, fotosentez yoluyla deniz ortamındaki oksijen seviyesini yükseltir ve birçok deniz canlısı için besin kaynağı sağlar (Türker vd., 2024). Ayrıca, alglerden elde edilen ürünlerin gıda, ziraat, eczacılık, tıp ve enerji gibi çeşitli endüstrilerde kullanılmaktadır (Noseda, vd., 2023; Zhou vd., 2022).

Deniz makro algleri, sucul ortamındaki kirleticileri biriktirme yetenekleri ve bunları besin zinciri yoluyla daha yüksek tropik seviyelere aktarma kapasiteleri nedeniyle ekolojik olarak önemli olmalarının yanı sıra ağır metal kontaminasyonunun biyoindikatörleri olarak da kabul edilmektedir (Praveen vd., 2017). Makro algler, deniz suyundan binlerce kat daha yüksek konsantrasyonda metal biriktirebilmeleri nedeniyle deniz suyunda çözünmüş metal kontaminasyonlarının izlenmesi amacıyla kantitatif biyoindikatörler olarak dünya çapında kullanılmaktadır (IAEA, 2004). Benkdad vd., (2011) farklı alg türlerinin deniz suyundaki metal kontaminasyonu için önemli biyolojik izleme türleri olarak kullanılabileceği bildirmiştir.

Element içerikleri, makro alglerin kimyasal yapısını ve potansiyel kullanım alanlarını anlamada kritik bir rol oynamaktadır. Sucul ekosistemlerde metaller, volkanik patlamalar, toprak ve kayaların aşınması gibi doğal süreçlerle ve madencilik, işleme, metalleri içeren endüstriyel atık sular ve metal kirleticiler içeren maddeler dahil olmak üzere çeşitli antropojenik faaliyetlerden gelmektedir (Halder ve Ghosh, 2020). Bu elementler, hem alglerin büyümesi ve gelişmesi için gereklidir hem de bu alglerin insanlar tarafından tüketilmesi durumunda sağlık açısından çeşitli faydalar sunmaktadır (Jianbo vd., 2021; Prieto vd., 2021). Makro algler civa, kurşun ve arsenik gibi organizmalar için toksik olan bazı elementleri içerse de kalsiyum, magnezyum, potasyum, sodyum ve demir gibi birçok önemli elementi bünyelerinde barındırmaktadır (Bonanno ve Orlando-Bonaca, 2018).

Yeşil algler (Chlorophyta), makro alglerin bir alt sınıfını oluşturmaktadır ve içeriklerindeki klorofil pigmentleri sayesinde yeşil renkte görünmektedirler (Hincke vd., 2020). Bu grupta yer alan algler, sucul ekosistemlerde önemli bir rol oynamaktadır, çünkü fotosentez yaparak karbondioksiti organik bileşiklere dönüştürürler ve bu sayede denizel ortamın oksijen oranını artırırlar (Ak vd., 2016). Ayrıca, aminoasitler, vitaminler, proteinler, mineraller, yağ asitleri, steroller, polisakkaritler ve fenolik maddeler gibi birçok biyoaktif bileşen içermektedirler. Bu nedenle, yeşil algler gıda, tarım, eczacılık ve enerji gibi pekçok endüstriyel alanda da kullanılmaktadır (Türker vd., 2024).

Yeşil alglerin Codiacea familyası içerisinde yer alan *Codium* türlerinin kimyasal içerikleri ortamdaki besin tuzlarına, ışık şiddetine ve diğer çevresel koşullara göre değişim göstermektedir (Silva vd., 2013; Cox vd., 2010). Çanakkale ilinde dağılım gösteren *Codium fragile* subsp. *fragile* türü yeşil alglerin önemli bir temsilcisidir. *C. fragile* subsp. *fragile*, dünya genelinde farklı amaçlar için toplanmakta veya yetiştirilmektedir (Xiao vd., 2021). Genellikle gıda veya gıda katkı maddesi olarak kullanılan bu türler, birçok araştırmanın da konusunu oluşturmaktadır (Chi vd., 2024; Fomenko vd., 2024; Meinita vd., 2022).

Bu tezin amacı, Çanakkale ilinde dağılım gösteren *Codium fragile* subsp. *fragile*'in element kompozisyonunda mevsimsel meydana gelen değişimleri belirleyerek yeşil alglerin kullanım alanlarının arttırılmasına olanak sağlamaktır. Çalışmada, sodyum (Na), magnezyum (Mg), potasyum (K), kalsiyum (Ca), fosfor (P), bor (B), kobalt (Co), krom (Cr), bakır (Cu), demir (Fe), mangan (Mn), nikel (Ni), alüminyum (Al), çinko (Zn), kadmiyum (Cd) ve kurşun (Pb) içeriklerinin ortalaması alınarak mevsimsel değişimleri incelenmiştir.

İKİNCİ BÖLÜM

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. *Codium* Cinsinin Genel Özellikleri

Codium, Codiaceae familyasına ait çeşitli deniz yeşil makroalg türlerini içerir ve dünya genelinde yüksek biyolojik çeşitliliği, ekolojik özellikleri ve biyoaktif bileşik üretim potansiyeli nedeniyle dikkat çekmektedir. Yaklaşık 166 türü içeren bu cins, bazı ülkelerde yetiştirilmektedir (Meinita vd., 2022). *Codium* türlerinin ekosistemlerde önemli roller oynadığı, bazı türlerin istilacı olup deniz ekosistemlerini bozabileceği, ancak diğer *Codium* türleriyle birlikte denge sağlayabileceği belirtilmiştir (Meinita vd., 2022). *Codium* türleri karbonhidratlar, proteinler, lipidler, vitaminler ve mineraller içermesiyle nedeniyle Japonya, Çin ve Kore gibi bazı Asya ülkelerinde yaygın olarak tüketilmektedir (Meinita vd., 2022; Tabarsa vd., 2013). Ayrıca, *Codium* türleri biyoaktif bileşikler ile anti-inflamatuar, antikanser, antioksidan ve antiviral özellikler gösteren sülfatlanmış polisakkaritleri içermektedir (Chi vd., 2024).

Codium türleri, intertidal bölgelerdeki kayalık substratlarda dağılım gösterirler ve korunaklı kayalık habitatlar, bu alglerin büyümesi ve üremesi için kritik öneme sahiptir (Bulleri vd., 2006). *Codium*'un dağılımını ve özelliklerini etkileyen çeşitli ekolojik faktörler arasında mevsimsel değişiklikler, morfoloji, büyüme, üreme özellikleri ve besin içerikleri yer alır. Bu etkiler, farklı çalışmalarda detaylı bir şekilde bildirilmiştir (Chi vd., 2024; Warnasooriya vd., 2024). Ayrıca, su hareketi ve substrat türü, vejetatif yenilenme yeteneklerini, tallusların oluşumunu ve büyümelerini de etkileyebilmektedir (Scheibling ve Gagnon, 2006; Türker vd., 2024).

Kuzey yarımkürede *Codium* türlerinin hem bolluğu hem de gel-git bölgesi içindeki mekansal dağılımı, yüksek enlemlerden orta enlemlere doğru arttığı Armitage vd. (2016) tarafından bildirilmiştir. Gel-git zonu içerisinde (intertidal) dağılım gösteren *Codium* türleri genellikle çakıllı ve kumlu korunaklı alandlarda dağılım gösterirler (Rojo vd., 2014). Bu genusa ait türlerinin optimal büyüme koşullarına yönelik çalışmalar sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Yang vd. (1997), altı farklı çeşitli *Codium* türünün (*Codium fragile* spp. *tomentosoides*, *C. fragile* spp. *atlanticum*, *C. adhaerens*, *C. bursa*, *C. tomentosum* ve *C.*

vermilaria) yetiştiricilikleri üzerine gerçekleştirdikleri çalışmada *C. fragile* ssp. *tomentosoides*'in 18 ila 24°C arasındaki sıcaklıklarda daha hızlı büyüdüklərini tespit etmişlerdir. Türlerin büyümesi üzerinde aydınlatma zamanlarının da etki ettiği ve en iyi 16 saat ışık alan uzun gün fotoperiyodun algin büyümesini hızlandırdığı Hanisak (1979) tarafından bildirilmiştir.

2.2. *Codium fragile* subsp. *fragile* (Suringar) Hariot 1889

Tip lokalite: Japonya (Guiry ve Guiry, 2021).

Sinonim: *Codium fragile* subsp. *tomentosoides* (Van Goor) P.C.Silva 1955, *Acanthocodium fragile* Suringar

Codium fragile, kadifemsi bir yüzeye sahip olup renk skalası açık yeşilden koyu yeşile kadar uzanır. Tallusu dikey olarak büyür ve taban kısmı disk biçiminde sonlanır, 25 cm uzunluğa kadar ulaşabilir (Şekil 1). Dikotomik yapıda, düzenli veya düzensiz şekilde dallanma gösterir. Utriküller, üst kısma doğru daralan silindirik, basık üst yüzeyli veya armut şekline sahiptir. Utriküllerin çapları 30-380 µm arasında ve uzunlukları 750-1050 µm arasında değişim gösterir. Utriküller, 1-2 tüy barındırır ve bu tüylerin uç kısma olan uzaklıkları 160-210 µm arasında değişir. Merkezi filamentlerin çapı 10-60 µm, fuziform veya oval şekilli gametangiaların çapı ise 70-100 µm, uzunlukları ise 230-320 µm arasındadır (Aydoğan, 2015). Tallusları süngerimsi yapıda ve silindirik dallanmış formdadırlar (Ak vd., 2016). Talluslar 3,5 kg'a kadar ağırlığa ulaşabilirler (Bridgwood, 2010). Ilıman bölgelerde geniş bir dağılıma sahip olan *C. fragile* Kuzeybatı Pasifik (Japonya) kökenli en istilacı türlerden biridir (Meinita vd., 2022). İnsan gıdası olarak tüketilen bu yeşil alg aynı zamanda deniz canlıları içinde beslenme alanları oluşturur (Türker et al., 2022).



Şube: Chlorophyta
Alt Şube: Chlorophytina
Sınıf: Ulvophyceae
Takım: Bryopsidales
Aile: Codiaceae
Cins: Codium
Codium fragile subsp. *fragile*

Şekil 1. *Codium fragile* subsp. *fragile*'in genel görünüşü

2.3. Çalışma Alanının Genel Özellikleri

Türk Boğazlar sisteminin bir parçası olan Çanakkale Boğazı yaklaşık 70 km uzunluğunda ve 55 m derinliğindedir (Aslan-Cihangir ve Pancucci-Papadopoulou 2011b). Boğazda iki büyük akıntı mevcuttur. İlki Karadeniz'den Ege Denizi'ne doğru akan yüzey akıntısı, ikincisi ise Ege Denizi'nden Karadeniz'e doğru akan dip akıntısıdır. İki katmanlı ters bir akıntı sistemi olan Çanakkale Boğazında üst katman suları Karadeniz'den, alt katman suları ise Akdeniz'den gelmektedir (Tekeli ve Aslan, 2023). Boğaz aynı zamanda önemli bir su yolu olup ticaret, yük taşımacılığı ile balıkçılık nedeniyle yoğun bir tarfiğe sahiptir (Başar, 2010).

Çalışmanın gerçekleştirildiği Çanakkale Boğazı'nın anadolu yakasında yer alan Kepez Bölgesi 40° 6'54.66"K - 26°24'24.60"D ile 40° 5'41.59"K - 26°21'45.10"D koordinatları arasında yer almaktadır. Bölgede ağır sanayi tesisi bulunmamasına karşın uluslararası Kepez Limanı bulunmaktadır. Limanda dökme, genel kargo, sıvı, kimyasal, konteyner, Ro-Ro gibi hemen her türlü yükün elleçlenmesine yönelik liman operasyonlarının yanı sıra kruvaziyer operasyonlarıyla, birlikte atık alım, atık işleme, yakıt ikmali, gemi işletme, acentelik ve tank temizliği alanlarında da faaliyet göstermektedir (Anonim, 2024). Bölge genelde çakıllı ve kumlu bir zemin yapısına sahip olup, oldukça zengin bir biyoçeşitliliğe sahiptir (Tekeli ve Aslan, 2023).



Şekil 2. Çalışma alanı

2.4. Element İçeriklerinin Belirlenmesi

Echave vd. (2021) çalışmasında, *Codium fragile* subsp. *fragile*'un besin içeriği detaylı bir şekilde incelenmiştir. *C. fragile* subsp. *fragile*'in en yüksek mineral konsantrasyonları Na ve K olarak belirlenmiştir. Na miktarı yaklaşık 204,52 mg/g ka, K içeriği ise yaklaşık 100 g/kg ka olarak tespit edilmiştir. Diğer önemli mineraller arasında Ca yaklaşık 6 g/kg ka, P yaklaşık 2,5 g/kg ka, Fe yaklaşık 0,4 g/kg ka seviyelerinde bulunmuştur. Ayrıca, I ve F iz miktarlarda tespit edilmiştir. Elementler, miktarlarına göre büyükten küçüğe doğru Na > K > Ca > P > Fe > I > F olarak sıralanmıştır.

C. fragile'nin mevsimlere göre element içeriği oldukça çeşitlidir ve belirgin değişimler göstermektedir. Üstünada vd. (2011) yaptığı çalışmada, *C. fragile*'in ağır metal birikim seviyeleri mevsimsel olarak incelenmiştir. İstatistiksel analizlere göre, Cd, Cu, Pb ve Zn elementlerinin içerikleri ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimlerinde farklılık göstermiştir. İlkbaharda Cd 0,07 µg/g, Cu 1,813 µg/g, Pb 0,203 µg/g ve Zn 1,516 µg/g olarak belirlenmiştir. Yaz mevsiminde Cd 0,01 µg/g, Cu 0,165 µg/g, Pb 0,213 µg/g ve Zn 0,231 µg/g bulunmuştur. Sonbaharda ise Cd 0,01 µg/g, Cu 0,016 µg/g, Pb 0,215 µg/g ve Zn 0,591 µg/g olarak saptanmıştır. Kış mevsiminde Cd 0,118 µg/g, Cu 0,107 µg/g, Pb 0,426 µg/g ve Zn 1,116 µg/g seviyelerinde tespit edilmiştir. Elementler miktarlarına göre büyükten küçüğe

doğru ilkbaharda $Zn > Cu > Pb > Cd$, yaz mevsiminde $Zn > Pb > Cu > Cd$, sonbaharda $Zn > Pb > Cu > Cd$ ve kış mevsiminde $Zn > Pb > Cu > Cd$ olarak sıralanmıştır.

Najah vd. (2015) çalışmasında, *Codium tomentosum*'un Fe, Zn, Cu, Pb, Cd, Hg ve Mn içerikleri incelenmiştir. Fe içeriği 33,85 ppm, Zn 131,3 ppm, Cu 5,725 ppm, Mn 39,43 ppm, Pb 1,750 ppm, Cd 0,05 ppm ve Hg 0,0413 ppm olarak tespit edilmiştir. Elementlerin, miktarlarına göre birikimin $Zn > Fe > Mn > Cu > Pb > Cd > Hg$ olarak sıralandığını belirlemişlerdir.

Laib ve Leghouchi'nin (2012) çalışmasında, Rabta Körfezi'nden toplanan *Codium fragile*'nin ağır metal konsantrasyonları incelenmiştir. Çalışmada, *C. fragile*'in Cd içeriği $0,076 \pm 0,003$ µg/g ka, Cr içeriği $0,990 \pm 0,002$ µg/g ka, Cu içeriği $2,399 \pm 0,001$ µg/g ka, Pb içeriği $0,971 \pm 0,002$ µg/g ka ve Zn içeriği $4,203 \pm 0,006$ µg/g ka olarak belirlenmiştir. Elementler, miktarlarına göre büyükten küçüğe doğru $Zn > Cu > Pb > Cr > Cd$ olarak sıralanmıştır.

Rodrigues vd. (2015) çalışmasında, Portekiz'in Buarcos Körfezi'nden toplanan *C. tomentosum*'un kimyasal bileşimi incelemişlerdir. En yüksek Na miktarı 209,11 mg/g ka olarak tespit edilmiştir. K içeriği 70 mg/g ka seviyesinde saptanmıştır. Fe miktarı ise 0,35 mg/g ka olup, bu element *C. tomentosum*'un mikro elementler arasında en yüksek değere sahip olduğu belirlenmiştir. Zn miktarı 0,05 mg/g ka, Cu 0,03 mg/g ka, ve Mn 0,10 mg/g ka olarak tespit edilmiştir. Ca miktarı 10 mg/g ka olarak ölçülmüştür. B, Ni, Co, Al, Mo, Cd ve Pb gibi diğer elementlerin miktarları ise oldukça düşük seviyelerde bulunmuştur. Elementler, miktarlarına göre büyükten küçüğe doğru $Na > K > Ca > Mn > Fe > Zn > Cu > B > Ni > Co > Al > Mo > Cd > Pb$ olarak sıralanmıştır.

Premarathna vd. (2022) çalışmasında, yeşil alg türlerinin (Chlorophyta) kimyasal bileşimleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Çalışmada analiz edilen yeşil alg türleri arasında *Ulva lactuca*, *Caulerpa racemosa*, *Caulerpa sertularioides*, *Halimeda opuntia*, *Chaetomorpha antennina* ve *Chaetomorpha crassa* bulunmaktadır. *U. lactuca* türünde K miktarı 133,67 mg/100 g, Zn 97,25 mg/100 g, Fe 119,77 mg/100 g ve Na 294,61 mg/100 g olarak belirlenmiştir. Diğer elementler arasında Mn 3,54 mg/100 g, Ca 184,00 mg/100 g, Pd 0,26 mg/100 g, Cu 5,37 mg/100 g ve Cd 0,13 mg/100 g tespit edilmiştir. Elementler,

miktarlarına göre büyükten küçüğe doğru Na > K > Ca > Zn > Fe > Mn > Pd > Cu > Cd olarak sıralanmıştır. *C. racemosa* türünde K miktarı 123,83 mg/100 g, Zn 14,23 mg/100 g, Fe 172,47 mg/100 g ve Na 55,98 mg/100 g olarak tespit edilmiştir. Elementler, miktarlarına göre büyükten küçüğe doğru Na > K > Ca > Zn > Fe > Mn > Pd > Cu > Cd olarak sıralanmıştır. *C. sertularioides* türünde en yüksek mineral değerleri K 119,97 mg/100 g, Zn 3,82 mg/100 g, Fe 0,48 mg/100 g ve Na 8,80 mg/100 g olarak belirlenmiştir. Elementler, miktarlarına göre büyükten küçüğe doğru Na > K > Ca > Zn > Fe > Mn > Pd > Cu > Cd olarak sıralanmıştır. *Halimeda opuntia* türünde ise en yüksek mineral değerleri K miktarı 119,66 mg/100 g, Zn 7,20 mg/100 g, Fe 133,42 mg/100 g ve Na 26,92 mg/100 g olarak tespit edilmiştir. Elementler, miktarlarına göre büyükten küçüğe doğru Na > K > Ca > Fe > Zn > Mn > Pd > Cu > Cd olarak sıralanmıştır. *C. antennina* türünde en yüksek mineral değerleri K miktarı 122,91 mg/100 g, Zn 8,65 mg/100 g, Fe 127,57 mg/100 g ve Na 73,00 mg/100 g olarak kaydedilmiştir. Elementler, miktarlarına göre büyükten küçüğe doğru Na > K > Ca > Fe > Zn > Mn > Pd > Cu > Cd olarak sıralanmıştır. *C. crassa*'da en yüksek mineral değerleri K 127,94 mg/100 g, Zn 14,92 mg/100 g, Fe 60,69 mg/100 g ve Na 183,82 mg/100 g olarak bulunmuştur. Elementler, miktarlarına göre büyükten küçüğe doğru Na > K > Ca > Zn > Fe > Mn > Pd > Cu > Cd olarak sıralanmıştır.

Squadrone vd. (2018) çalışmasında, Akdeniz deniz yosunlarındaki iz metallerin dağılımı detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu çalışmada analiz edilen yeşil alg türleri arasında *Ulva lactuca*, *Caulerpa racemosa* ve *Codium tomentosum* bulunmaktadır. Çalışmada, farklı bölgelerde toplanan bu alg türlerinin metal konsantrasyonları değerlendirilmiştir. *U. lactuca* türünde belirlenen en yüksek metal konsantrasyonları şunlardır: Zn 73,41 mg/kg ka, Fe 277,11 mg/kg ka, ve Mn 89,25 mg/kg ka. Diğer metaller arasında Cr, Co, Cd, Pb ve Ni de tespit edilmiştir. *C. racemosa*'da Zn 84,21 mg/kg ka, Fe 300,45 mg/kg ka, ve Mn 102,56 mg/kg ka en yüksek seviyelerde bulunmuştur. Ayrıca, Cr, Co, Cd, Pb ve Ni gibi metaller de belirlenmiştir. *C. tomentosum* türünde Zn 65,33 mg/kg ka, Fe 250,19 mg/kg ka, Mn 95,40 mg/kg ka, Cr 1,92 mg/kg ka, Co 0,55 mg/kg ka, Cd 0,12 mg/kg ka, Pb 3,13 mg/kg ka ve Ni 1,74 mg/kg ka olarak belirlenmiştir. Elementler, miktarlarına göre büyükten küçüğe doğru Fe > Mn > Zn > Pb > Cr > Ni > Co > Cd olarak sıralanmıştır.

Benkdad vd. (2011) çalışmasında, Fas kıyı sularından toplanan yeşil alg türlerinin metal konsantrasyonları incelenmiştir. *Ulva lactuca*'da belirlenen en yüksek metal konsantrasyonları; As 15,290 µg/g ka, Cr 2,535 µg/g ka, Mn 60,460 µg/g ka ve Cd 0,466 µg/g ka olarak tespit edilmiştir. Elementler, miktarlarına göre büyükten küçüğe doğru Mn > As > Cr > Cd olarak sıralanmıştır. *Codium decorticatum*'da ise en yüksek metal konsantrasyonları; As 6,628 µg/g ka, Cr 1,474 µg/g ka, Mn 25,500 µg/g ka ve Cd 0,362 µg/g ka olarak belirlenmiştir. Bu türde elementler, miktarlarına göre büyükten küçüğe doğru Mn > As > Cr > Cd olarak sıralanmıştır.

Storelli vd. (2001) yaptığı çalışmada, makroalg türlerinden *Ulva lactuca*, *Enteromorpha prolifera* ve *Codium vermilara* üzerinde metal birikim seviyeleri sıralaması Fe > Zn > Cu olarak belirlenmiştir. Fe seviyesinin 337,10–553,01 µg/g, Zn seviyesinin 58,79-127,27 µg/g ve Cu seviyesinin 10,33-12,07 µg/g aralığında olduğu tespit edilmiştir. Sediment örneklerinde ise ortalama Cu 16,98 µg/g, Zn 95,8 µg/g, Cd 0,20 µg/g, Pb 4,43 µg/g ve Fe 8838 µg/g kuru ağırlık seviyeleri belirlenmiştir.

Warnasooriya vd. (2024) yaptığı çalışmada, Sri Lanka'da dağılım gösteren *Ulva lactuca* ve *Codium tomentosum* türlerinin besin özellikleri, antioksidan aktivitesi ve ağır metal birikimi incelenmiştir. *U. lactuca*'da belirlenen en yüksek metal konsantrasyonları; Cu 1,75±0,05 mg/kg ya, Co 0,20±0,01 mg/kg ya, Ni 2,76±0,08 mg/kg ya, Mn 74,14±0,17 mg/kg ya, Cr 2,23±0,19 mg/kg ya, Al 180,88±2,28 mg/kg ya, Pb 0,374±0,025 mg/kg ya, As 2,35±0,07 mg/kg ya ve Cd 0,99±0,006 mg/kg ya olarak tespit edilmiştir. *C. tomentosum*'da ise en yüksek metal konsantrasyonları; Cu 0,50±0,08 mg/kg ya, Co 0,16±0,00 mg/kg ya, Ni 1,43±0,02 mg/kg ya, Mn 9,74±0,09 mg/kg ya, Cr 1,93±0,09 mg/kg ya, Al 214,59±7,06 mg/kg ya, Pb 0,35±0,02 mg/kg ya, As 18,50±0,34 mg/kg ya ve Cd 0,59±0,01 mg/kg ya olarak belirlenmiştir.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Araştırma Materyali

Bu çalışmada Çanakkale Kepez bölgesinde dağılım gösteren *Codium fragile* yeşil algi araştırma materyali olarak kullanılmıştır. Araştırma materyali olarak Kepez/Çanakkale mevkiinden aylık olarak toplanan *Codium fragile* kullanılmıştır. Talluslar epifitik organizmalardan fırça, pens ve el yardımıyla ayıklanmıştır. Tallusların sistematik tayini Armitage ve Sjøtun (2016) tayin anahtarı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Talluslar element içeriklerinin belirlenmesi amacıyla ayrılarak 35°C'lik etüvde 48 saat boyunca kurutulmuştur.

3.2. Element Analizi

Örnekler HNO₃:HClO₄ (5:1) (Merck) ilave edilerek geri soğutucu altında 24 saat 60 °C'de renkleme tamamlanıncaya kadar bekletilmiştir. Demineralizasyon işleminden sonra Whatman GF/C filtre kullanılarak süzülen örnekler, 50 ml'ye distile su ile tamamlanarak analiz için hazır hale getirilmiştir (Türker vd., 2024).

Toplanan alglerin element içerikleri ICP-AES (Varian Liberty AX Sıralı ICP-AES) kullanılarak İskandinav Gıda Analizi Komitesi'nin yöntemine (No: 186) (NMKL, 2007) göre saptanmıştır. Tek istasyondan aylık olarak toplanan talluslardaki Sodyum (Na), Magnezyum (Mg), Potasyum (K), Kalsiyum (Ca), Fosfor (P), Bor (B), Kobalt (Co), Krom (Cr), Bakır (Cu), Demir (Fe), Mangan (Mn), Nikel (Ni), Alüminyum (Al), Çinko (Zn), Arsenik (As), Kadmiyum (Cd) ve Kurşun (Pb) içeriklerinin ortalaması alınarak mevsimsel olarak bakılmıştır.

3.3. İstatistik Analizler

Veriler tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ile değerlendirilmiş ve $p \leq 0,05$ olduğunda farklılıklar anlamlı olarak kabul edilmiştir. Varyans analizlerinden önce, tüm

veriler varyans homojenliği (Levene testi) ve normal dağılım (Anderson-Darling testi) açısından incelenmiştir (Türker vd., 2024).



DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

ARAŞTIRMA BULGULARI

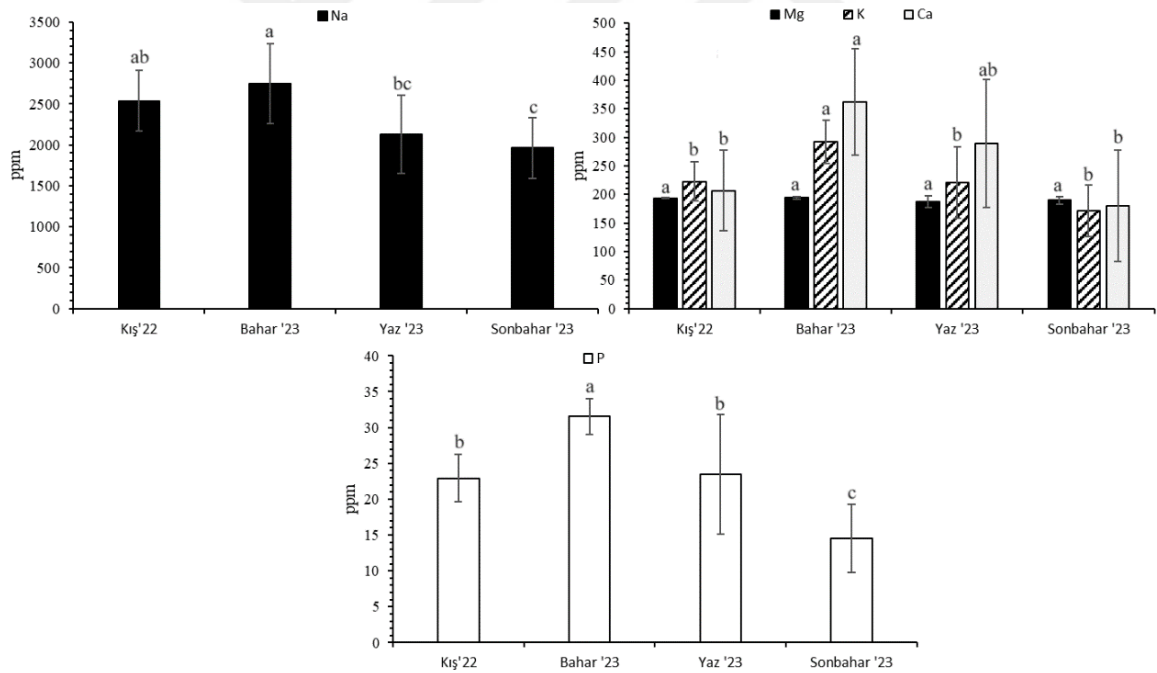
Makroalgler genellikle deniz suyuna benzer mineral seviyelerine sahiptir ve bu değerler deniz suyunun mineral içeriğine bağlı olarak değişebilir. Makroalglerin mineral içerikleri mevsimlere, coğrafik konum ve taksonomik özellikler nedeniyle farklılıklar göstermektedir (Türker vd., 2024). Tez kapsamında Çanakkale Boğazı Kepez bölgesinden toplanan yeşil alglerden *Codium fragile* subsp. *fragile*'in element kompozisyonunda meydana gelen değişimler mevsimsel olarak ortaya belirlenmiştir. Çalışma sonunda algin mevsimsel olarak element içeriklerinde belirgin farklılıklar gösterdiğini belirlenmiştir. Kış mevsiminde elementler $Na > K > Ca > Mg > P > Al > Mn > B > As > Zn > Cu > Ni > Cr > Fe > Co$ şeklinde sıralanmıştır. Bahar mevsiminde $Na > Ca > K > Mg > P > Al > Mn > B > As > Zn > Cu > Ni > Cr > Fe > Co$, yaz mevsiminde $Na > Ca > K > Mg > P > Al > Mn > B > Zn > As > Cr > Ni > Cu > Fe > Co$ ve sonbahar mevsiminde $Na > Mg > Ca > K > P > Al > B > Mn > Zn > As > Cu > Ni > Cr > Fe > Co$ sıralamaları gözlemlenmiştir. Genel olarak tüm mevsimlerde $Na > Ca > K > Mg > P > Al > Mn > B > As > Zn > Cu > Ni > Cr > Fe > Co$ şeklinde sıralanmıştır.

4.1. Makro Elementler

Her mevsimde toplanan örneklerin mineral içerikleri incelendiğinde, bazı elementlerin belirgin mevsimsel farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir. Na içeriği bahar mevsiminde en yüksek seviyede ($2749,20 \pm 490,40$ ppm) bulunurken, yaz mevsiminde ($2132,00 \pm 478,40$ ppm) ve sonbahar mevsiminde ($1963,50 \pm 368,80$ ppm) daha düşük seviyelerde tespit edilmiştir. K içeriği de bahar mevsiminde en yüksek ($291,68 \pm 37,97$ ppm) bulunmuş, kış mevsiminde ise daha düşük seviyede ($222,86 \pm 34,51$ ppm) tespit edilmiştir. Ca içeriği bahar mevsiminde ($361,91 \pm 93,44$ ppm) en yüksek, sonbahar mevsiminde ($179,57 \pm 97,39$ ppm) ise en düşük seviyede bulunmuştur. P elementi bahar mevsiminde ($31,57 \pm 2,48$ ppm) en yüksek seviyede, sonbahar mevsiminde ($14,54 \pm 4,77$ ppm) en düşük seviyede tespit edilmiştir. Mg elementinin konsantrasyonları ise mevsimler arasında anlamlı bir farklılık göstermemiştir, kış mevsiminde $193,61 \pm 0,80$ ppm, bahar mevsiminde $194,09 \pm 1,91$ ppm, yaz mevsiminde $187,65 \pm 10,22$ ppm ve sonbahar mevsiminde $189,81 \pm 6,84$ ppm olarak benzer seviyelerde bulunmuştur. Na, K, Ca ve P elementleri

mevsimler arası istatistiksel olarak farklılık saptanırken ($p<0,05$) Mg ise mevsimler arasında anlamlı bir farklılık bulunmamıştır ($p>0,05$). Özellikle Bahar 2023 döneminde mineral içeriklerinin genel olarak daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum, bahar aylarındaki çevresel koşulların mineral birikimini artırabileceğini düşündürmektedir (Şekil 3).

Farklı *Codium* türlerinin makro element içerikleri Tablo 1'de gösterilmektedir. *C. fragile* subsp. *fragile*'in mineral içerikleri, önceki çalışmalarla karşılaştırıldığında bazı farklılıklar göstermektedir. Na ve K içerikleri, Echave vd. (2021) ve Rodrigues vd. (2015) çalışmalarıyla uyumlu bulunmuştur.. Farklı coğrafi konumlar makroalgleri çeşitli çevresel koşullara maruz bırakabilir ve bu da mineral içeriklerini etkilediği çeşitli çalışmalarda bildirilmiştir (Bonanno, ve Orlando-Bonaca, 2018). Ayrıca, kurutma ve depolama gibi hasat ve işleme yöntemleri de makroalglerdeki mineral seviyelerini etkilediği Chauton vd., (2021) tarafından saptanmıştır.



Şekil 3. *C. fragile* subsp. *fragile*'in Na, Mg, K, Ca ve P elementlerinin mevsimsel değişimleri. Küçük harfler mevsimler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıkları göstermektedir ($p<0,05$).

Tablo 1

Codium türlerinin makro element içerikleri

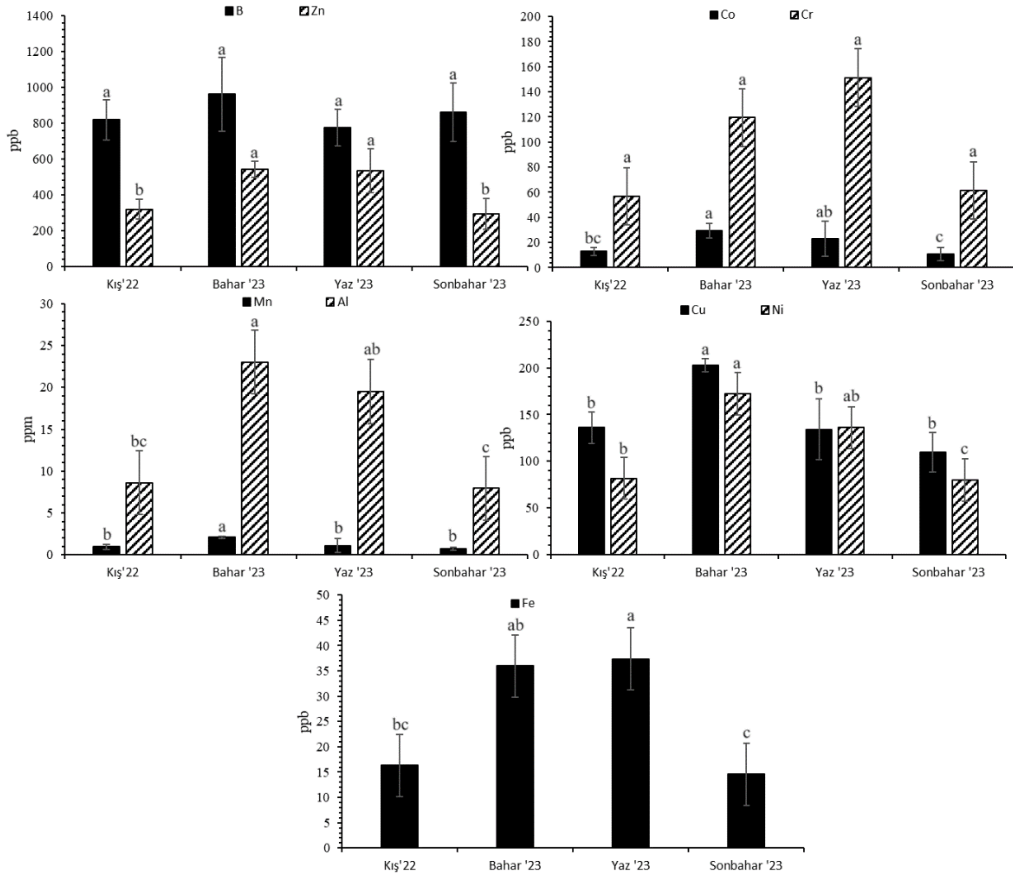
Tür	Birim	Na	Mg	K	Ca	P	Referanslar
<i>C. tomentosum</i>	mg/g ka	209,11	-	70	-	-	Rodrigues vd. (2015)
<i>C. fragile</i> subsp. <i>fragile</i>	mg/g ka	204,52	-	100	6	2,5	Echave vd. (2021)
		2539,0±368,4	193,61±0,80	222,86±34,51	206,47±70,80	22,927±3,329	Kış'22 (Bu çalışma)
		2749,2±490,4	194,09±1,91	291,68±37,97	361,91±93,44	31,57±2,48	Bahar'23 (Bu çalışma)
<i>C. fragile</i> subsp. <i>fragile</i>	ppm	2132,0±478,4	187,65±10,22	220,61±62,70	289,06±111,77	23,46±8,34	Yaz'23 (Bu çalışma)
		1963,5±368,8	189,81±6,84	171,20±45,17	179,57±97,39	14,54±4,77	Sonbahar'23 (Bu çalışma)

4.2. Mikro Elementler

Bu çalışmada, B, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Al ve Zn elementlerinin mevsimsel dağılımları incelenmiştir. B elementi istatistiksel olarak mevsimler arasında önemli bir farklılık göstermemiştir ve tüm mevsimlerde benzer seviyelerde bulunmuştur ($p>0,05$). İstatistiksel analizlere göre, Co elementi mevsimler arasında belirgin farklılık göstermiş ($p<0,05$) ve bahar mevsiminde $29,42\pm5,82$ ppb ile en yüksek değere en yüksek değere ulaşmıştır. Cr elementi de mevsimler arasında farklılık göstermemiş olup, en yüksek değeri yaz mevsiminde $151,31\pm143,68$ ppb ile tespit edilmiştir ($p>0,05$). Cu elementi mevsimler arasında belirgin farklılık göstermiştir ($p<0,05$) ve bahar mevsiminde $202,85\pm7,20$ ppb ile en yüksek seviyede olduğu görülmüştür. Fe elementi ise yaz mevsiminde $37,35\pm30,38$ ppb ile en yüksek seviyeye ulaşmıştır ($p<0,05$). Mn elementi de mevsimler arasında farklılık göstermiş olup, bahar mevsiminde $2,09\pm0,12$ ppm ile en yüksek değerde tespit edilmiştir ($p<0,05$). Ni elementi bahar mevsiminde $172,33\pm33,25$ ppb ile en yüksek seviyede bulunmuştur ($p<0,05$). Al elementi de bahar mevsiminde $23,02\pm4,78$ ppm ile en yüksek değere sahiptir ($p<0,05$). Zn elementi ise bahar mevsiminde $543,93\pm44,66$ ppb ile en yüksek seviyeye ulaşmıştır ($p<0,05$) (Şekil 4).

Farklı *Codium* türlerinin mikro element içerikleri Tablo 2'de özetlenmiştir. Bu çalışmanın bulguları, diğer çalışmalarla karşılaştırıldığında bazı farklılıklar göstermektedir. Bor kemik büyümesi, sinir sistemi korunması ve hormon salgılanması için gereklidir ve ayrıca kalp hastalıkları ile bazı kanser türlerini azaltır (Türker vd., 2024). B elementinin mevsimsel değişim göstermediği ve her mevsimde benzer seviyelerde bulunduğu gözlemlenmiştir. Diğer çalışmalarda B elementine dair spesifik verilere rastlanmamış, dolayısıyla karşılaştırma yapmak mümkün olmamıştır.

Co, deniz redoks süreci nedeniyle Akdeniz'de çok düşük konsantrasyonlarda bulunur, dolayısıyla alglerde de çok düşük bulunmaktadır (Türker vd., 2024). Bu çalışmada Co seviyeleri bahar mevsiminde en yüksek seviyeye ulaşmış olup Squadrone vd. (2018) çalışmasında *C. tomentosum* türüne göre daha düşük seviyelerde bulunmuştur.



Şekil 4. *C. fragile subsp. fragile*'in B, Zn, Co, Cr, Mn, Al, Cu, Ni ve Fe elementlerinin mevsimsel değişimleri. Küçük harfler mevsimler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıkları göstermektedir ($p < 0,05$).

Krom, insülin fonksiyonunda, lipid metabolizmasında ve kan şekerinden enerji üretiminde aktif rol oynar (Yan vd. 2018). Bununla birlikte, aşırı krom alımı böbrek yetmezliği, dermatit ve astıma yol açabilir (Türker vd., 2024). Ayrıca, Avustralya ve Yeni Zelanda Gıda Otoritesi taze deniz yosunlarında krom için günlük 35 $\mu\text{g/g}$ alın miktarı önermektedir (Türker vd., 2024). Sonuçlarımıza göre, *C. fragile subsp. fragile* 'nın krom içeriği tüm istasyonlarda toksisite seviyelerini aşmamıştır ve en yüksek değer 20,44 $\mu\text{g/g}$ dw olup günlük alım aralığına girmektedir. Cr elementinin seviyeleri bu çalışmada en yüksek değer yaz mevsiminde bulunmuş, ancak mevsimler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p > 0,05$). Squadrone vd. (2018) çalışmasında Cr içeriği 1,92 mg/kg ka olarak belirlenmiştir ve Laib ve Leghouchi (2012) 'nin çalışmasında Cr içeriği $0,990 \pm 0,002$

$\mu\text{g/g}$ ka olarak tespit edilmiştir. Bu çalışmadaki Cr değerleri, diğer çalışmalarda belirlenen seviyelerden daha düşük bulunmuştur.

Bakır, C vitamininin oksitlenmesi ve hemoglobin sentezi için gereklidir. Bununla birlikte, aşırı bakır seviyeleri toksik olabilir ve karaciğer hasarına neden olabilir (Türker vd. 2024). Cu seviyeleri bahar mevsiminde en yüksek seviyeye ulaşmış ve mevsimler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık göstermiştir ($p<0,05$). Najah vd. (2015) çalışmasında Cu içeriği 5,725 ppm olarak belirlenmiştir. Bu çalışmadaki Cu değerleri diğer çalışmalara kıyasla daha düşük seviyelerde bulunmuştur. Tüm istasyonlarda tespit edilen bakır seviyeleri WHO tarafından belirlenen 10 $\mu\text{g/g}$ ka sınırı dahilindedir (Türker vd., 2024).

Demir, temel hücre fonksiyonlarına katıldığı için insanlar için gereklidir (Mišurcová vd. 2011). Eksikliği anemiye neden olur ve küçük çocukların ve menopoz öncesi kadınların yaşamlarını etkiler (Wachsmuth vd., 2024). Echave vd. (2021) çalışmasında Fe yaklaşık 0,4 g/kg ka olarak bulunmuştur. Squadrone vd. (2018) çalışmasında Fe içeriği 250,19 mg/kg ka olarak belirlenmiştir. Bu çalışmadaki Fe değerleri Fe seviyeleri bu çalışmada diğer çalışmalarda belirlenen seviyelerden düşük bulunmuştur. En yüksek değer yaz mevsiminde bulunmuş ve mevsimler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmuştur ($p<0,05$).

Manganez protein, lipid ve karbonhidrat metabolizmasında yer alan ve çeşitli enzim kofaktörleri olarak görev yapan temel bir eser elementtir (Mišurcová vd., 2011). Bununla birlikte, Avustralya ve Yeni Zelanda Gıda Otoritesi, hem erkekler hem de kadınlar için taze deniz yosunlarında Mn için 5,5 $\mu\text{g/gün}$ günlük yeterli alım seviyelerini önermektedir (Türker vd., 2024). Bunun nedeni, manganezin merkezi sinir sistemini etkileyebilen nörotoksik bir element olması ve aşırı çinko alımının ciddi nörolojik bozukluklara neden olabilecek bir başka önemli element olan bakırın emilimini bozabilmesidir (Türker vd., 2024). Mn seviyeleri en yüksek değer bahar mevsiminde bulunmuş ve mevsimler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmuştur ($p<0,05$). Najah vd. (2015) çalışmasında Mn 39,43 ppm olarak belirlenmiştir. Squadrone vd. (2018) çalışmasında Mn içeriği 95,40 mg/kg ka olarak tespit edilmiştir. Bu çalışmadaki Mn değerleri genel olarak diğer çalışmalarda belirlenen seviyelerden düşük bulunmuştur. Zn seviyeleri bu çalışmada En yüksek değer bahar mevsiminde bulunmuş ve mevsimler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmuştur ($p<0,05$). Najah vd. (2015) çalışmasında Zn 131,3 ppm olarak belirlenmiştir.

Squadrone vd. (2018) alışmasında Zn içeriği 65,33 mg/kg ka olarak belirlenmiştir. Bu alışmadaki Zn değerleri genel olarak diğer çalışmalarda belirlenen seviyelerden daha dūřuk bulunmuştur.



Tablo 2

Codium türlerinin mikro element içerikleri

Tür	Birim	B	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Al	Zn	Referanslar
<i>C. tomentosum</i>	mg/g ka	-	-	-	0,03	-	0,10	-	-	0,05	Rodrigues vd. (2015)
<i>C.tomentosum</i>	mg/kg ka	-	-	-	-	250,19	95,40	-	-	65,33	Squadrone vd. (2018)
<i>C. tomentosum</i>	mg/kg ya	-	0,16 ± 0,00	1,93 ± 0,09	0,50 ± 0,08	-	9,74 ± 0,09	1,43 ± 0,02	214,59 ± 7,06	-	Warnasooriya vd. (2024)
<i>C.tomentosum</i>	ppm	-	-	-	5,725	33,85	39,43	-	-	131,3	Najah vd. (2015)
<i>C. fragile</i> subsp. <i>fragile</i>	g/kg ka	-	-	-	-	0,4	-	-	-	-	Echave vd. (2021)
<i>C.fragile</i>	µg/g ka	-	-	0,990 ± 0,002	1,813	-	-	-	-	1,516	Üstünada vd. (2011)
<i>C. fragile</i>	mg/kg ka	-	0,55	1,92	2,399	-	-	1,74	-	4,203	Laib ve Leghouchi (2012)
<i>C. fragile</i> subsp. <i>fragile</i>	ppb	818,20 ± 112,40	12,84 ± 3,245	56,78 ± 11,63	135,95 ± 16,80	16,30 ± 3,54	970 ± 300	81,70 ± 12,49	8630 ± 1949	319,82 ± 55,11	Bu Çalışma (Kış'22)
		962,60 ± 206,30	29,42 ± 5,82	119,39 ± 34,82	202,85 ± 7,20	35,95 ± 8,51	2090 ± 120	172,33 ± 33,25	23020 ± 4780	543,93 ± 44,66	Bu Çalışma (Bahar'23)
		775,20 ± 100,30	22,99 ± 14,21	151,31 ± 143,68	134,08 ± 32,54	37,35 ± 30,38	1120 ± 790	136,06 ± 78,98	19510 ± 15920	535,02 ± 122,75	Bu Çalışma (Yaz'23)
		861,10 ± 161,80	10,62 ± 5,12	61,38 ± 39,69	109,75 ± 21,34	14,58 ± 7,29	700 ± 180	79,79 ± 41,88	7960 ± 3990	293,35 ± 87,07	Bu Çalışma (Sonbahar'23)

Çeşitli çalışmalar, *Codium* türlerinin deniz suyundan yüksek miktarda krom ve nikel emebileceğini belirtmiştir (Türker vd., 2024). Ni seviyeleri bu çalışmada Bahar mevsiminde en yüksek seviyeye ulaşmış ve mevsimler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık göstermiştir ($p<0,05$). Squadrone vd. (2018) çalışmasında Ni içeriği 1,74 mg/kg ka olarak belirlenmiştir. Warnasooriya vd. (2024) çalışmasında Ni 1,43 mg/kg ya olarak tespit edilmiştir. Bu çalışmadaki Ni değerleri diğer çalışmalara kıyasla daha düşük seviyelerde bulunmuştur.

Alüminyumun insanlar için oldukça toksik olduğu ve Parkinson ve Alzheimer gibi ciddi beyin hastalıklarına neden olduğu bildirilmektedir (Xue vd., 2024). Yönetmelikler gıdalardaki Al varlığı için maksimum seviyeler belirlememektedir. Bununla birlikte, WHO haftalık 7 mg/kg Al'dan daha az bir alım önermektedir (Xue vd., 2024). ABD Çevre Koruma Ajansı (USEPA) tarafından 2007 yılında alüminyum (Al) için önerilen günlük oral referans doz 1 µg/g'dır (Bat vd., 2022). Al seviyeleri bu çalışmada En yüksek değer bahar mevsiminde bulunmuş ve mevsimler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmuştur ($p<0,05$). Diğer çalışmalarda Al içeriği spesifik olarak belirtilmemiştir, bu nedenle bu çalışmadaki Al değerleri karşılaştırılamamıştır.

Çinko bağışıklık tepkisini düzenler ve büyüme ve gelişme için gereklidir. Eksikliği epidermal, gastrointestinal, iskelet ve üreme sistemlerini etkiler (Stiles vd., 2024). Avustralya ve Yeni Zelanda Gıda Otoritesi, hem erkekler hem de kadınlar için taze deniz yosunlarında Zn için 14 mg/gün günlük yeterli alım seviyelerini önermektedir (Türker vd., 2024). Zn seviyeleri En yüksek değer bahar mevsiminde bulunmuş ve mevsimler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmuştur ($p<0,05$). Najah vd. (2015) çalışmasında Zn 131,3 ppm olarak belirlenmiştir. Squadrone vd. (2018) çalışmasında Zn içeriği 65,33 mg/kg ka olarak belirlenmiştir. Bu çalışmadaki Zn değerleri genel olarak diğer çalışmalarda belirlenen seviyelerden daha düşük bulunmuştur.

Cd ve Pb kontaminasyonları organizmalarda birikerek uzun vadeli toksik etkilere neden olmaktadır (Türker vd., 2024). Cd ve Pb değerleri ise saptanmamıştır. Zengin element bileşiminin bu faydalarına rağmen makroalgler, insanlar için sağlık riski oluşturabilecek Cd ve Pb gibi bazı toksik elementleri de biriktirebilir (Warnasooriya vd., 2024).

BEŞİNCİ BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, Çanakkale Boğazı Kepez bölgesinden toplanan *Codium fragile* subsp. *fragile*'in mevsimsel olarak değişen mineral ve ağır metal içeriklerini incelemiştir. Bulgular, makroalglerin mineral içeriklerinin mevsimlere, coğrafik konuma ve çevresel faktörlere bağlı olarak belirgin farklılıklar gösterdiğini ortaya koymuştur.

Na, K, Ca, ve P gibi makro elementler mevsimler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar göstermiştir. Özellikle bahar mevsiminde mineral içeriklerinin genel olarak daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu, bahar aylarındaki çevresel koşulların mineral birikimini artırabileceğini düşündürmektedir. Mg elementi ise mevsimler arasında anlamlı bir farklılık göstermemiştir.

Mikro elementler arasında B elementi mevsimler arasında anlamlı bir farklılık göstermemiştir. Ancak, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Al ve Zn elementleri mevsimler arasında belirgin farklılıklar göstermiştir. Özellikle bahar mevsiminde bu elementlerin içerikleri genellikle daha yüksek bulunmuştur. Cd ve Pb gibi toksik ağır metaller bu çalışmada tespit edilmemiştir. Bu durum, *Codium fragile* subsp. *fragile*'nin bu elementleri biriktirmediğini veya algin yetiştiği çevresel koşulların bu elementler açısından kirli olmadığını göstermektedir.

Tez çalışması sonucunda öneriler aşağıda sıralanmıştır:

- Mevsimsel farklılıkların nedenlerini anlamak için tuzluluk, sıcaklık ve besin maddeleri gibi çevresel koşulların detaylı incelenmesi gerekmektedir.
- Mineral ve ağır metal içeriklerinin uzun dönemli izlenmesi, zaman içindeki değişikliklerin ve çevresel etkilerin anlaşılmasına katkı sağlayacaktır.
- Çalışmanın farklı coğrafi bölgelerde tekrarlanması, mineral ve ağır metal içeriklerinin coğrafi farklılıklarını ortaya koyabilir.

- Ağır metal içeriklerinin düzenli olarak izlenmesi ve belirlenen sınırlar içinde kalmasının sağlanması önemlidir.
- Yetiştiricilikte besin maddeleri ve çevresel koşulların optimize edilmesi, mineral içeriklerinin artırılması ve kaliteli ürünlerin elde edilmesine katkıda bulunacaktır.

Tez çalışması kapsamında elde edilen bulgular, gelecekte yapılacak çalışmalar için önemli bir temel teşkil ederek, alglerin sürdürülebilir kullanımı ve çevresel yönetimi için değerli bilgiler sunmaktadır. Gelecekteki araştırmalar, alglerin mineral ve ağır metal içeriklerini daha detaylı inceleyerek, bu organizmaların çevresel ve sağlık risklerini daha iyi anlamaya katkıda sağlayacağı düşünülmektedir. Ayrıca, çevresel koşulların ve coğrafi farklılıkların alglerin kimyasal bileşimleri üzerindeki etkilerini daha iyi anlamak, alg yetiştiriciliğinin optimize edilmesine ve alglerin güvenli gıda kaynağı olarak kullanımına yönelik stratejilerin geliştirilmesine olanak sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- Ak, İ., Çankırlılıgil, E.C., Türker, G., and Sever, O. (2021). “Assessment of light intensity and salinity regimes on the element levels of brown macroalgae, *Treptacantha barbata*: Application of response surface methodology (RSM)”. *Food Science and Technology* (Brazil), 41(4), 944–952.
- Ak, İ., Gözcelioğlu, B., Akçalı, B., Cririk, S., Ceylan, T., ve Cirik, Ş., (2016). “Denizel biyota ve ekolojik bölümleri”. Cirik, Ş., Ceylan, T., Akçalı, B. (ed.) içinde *Yaşayan Deniz*. Naviga Yayınları. Deniz Kitapları: İstanbul.
- Anonim, 2024. Prot of Çanakkale. Erişim tarihi: 23.04.2024, <https://www.portofcanakkale.com/tr/about-us/>.
- Armitage, C. S., and Sjøtun, K. (2016). “*Codium fragile* in Norway: subspecies identity and morphology”. *Botanica Marina*, 59, 439-450.
- Aslan, C. H, Pancucci, P. M.A. (2011). “Aspects of decapod crustacean assemblages from soft bottoms submitted to strong hydrodynamic: an example from Çanakkale Strait (Turkish Strait System)”. *Fresenius Environ Bull* 20:2400–2411
- Aydoğan, Ö. (2015). Türkiye Denizlerinde Yayılış Gösteren Bryopsidophyceae (Chlorophyta=Yeşil Algler) Türleri. Doktora Tezi. Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.
- Başar, E. (2010). “Investigation into marine traffic and a risky area in the Turkish Straits System: Çanakkale Strait”. *Transport* 25:5–10
- Bat, L., Şahin F., Bhuyan, M.S., Arici, E., and Öztekin, A. (2022). “Metals in wild and cultured *Dicentrarchus labrax* (Linnaeus, 1758) from fish markets in Sinop: Consumer’s health risk assessment”. *Biol Trace Elem Res* 200(11):4846–4854.
- Benkdad, A., Laissaoui, A., Tornero, M. V., Benmansour, M., Chakir, E., Moreno Garrido, I., and Blasco Moreno, J. (2011). “Trace metals and radionuclides in macroalgae from Moroccan coastal waters”. *Environmental Monitoring and Assessment*, 182(1-4), 317-324.

- Bridgwood, S. (2010). *Codium fragile* ssp. *fragile* (Suringar) Hariot summary document. *Fisheries Research Report No. 202*. Department of Fisheries, Western Australia.
- Bulleri, F., Benedetti-Cecchi, L., and Cinelli, F. (2006). “Mechanisms of recovery and reversibility of rocky shore assemblages following human trampling”. *Environmental Conservation*, 29, 326-333.
- Bonanno, G., and Orlando-Bonaca, M. (2018). “Perspectives on the involvement of macrophyte species in the assessment of ecological status of transitional water systems”. *Marine Pollution Bulletin*, 137, 209-218.
- Chauton, M. S., Forbord, S., Mäkinen, S., Sarno, A., Slizyte, R., Mozuraityte, R., Standal, I.B. and Skjermo, J. (2021). “Sustainable resource production for manufacturing bioactives from micro- and macroalgae: Examples from harvesting and cultivation in the Nordic region”. *Physiologia Plantarum*, 173(2), 495-506.
- Chi, Y., Li, Y., Ding, C., Liu, X., Luo, M., Wang, Z., Bi, Y., and Luo, S. (2024). “Structural and biofunctional diversity of sulfated polysaccharides from the genus *Codium* (Bryopsidales, Chlorophyta): A review”. *International Journal of Biological Macromolecules*, 263, 130364.
- Cox, S., AbuGhannam, N., and Gupta, S. (2010). “An assessment of the antioxidant and antimicrobial activity of six species of edible Irish seaweeds”. *International Food Research Journal*, 17(1), 205-220.
- Echave, J., Lourenço-Lopes, C., Carreira-Casais, A., Chamorro, F., Fraga-Corral, M., Otero, P., Garcia-Perez, P., Baamonde, S., Fernández-Saa, F., Cao, H., Xiao, J., Prieto, M. A., and Simal-Gandara, J. (2021). “Nutritional composition of the Atlantic seaweeds *Ulva rigida*, *Codium tomentosum*, *Palmaria palmata*, and *Porphyra purpurea*”. *Chemistry Proceedings*, 5(1), 67.
- Guiry, M. D., and Guiry, G. M. (2021). *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. searched on 18 July 2024. <https://www.algaebase.org>;
- Haldar, S., and Ghosh, T. (2020). “Metal contamination in water and their impact on fish physiology and human health.” *Aquatic Toxicology*, 221, 105399.

- Hanisak, M.D. (1979). Growth patterns of *Codium fragile* ssp. *tomentosoides* in response to temperature, irradiance, salinity, and nitrogen source. *Mar. Biol.* 50:319–332. <https://doi.org/10.1007/BF00387009>
- Hincke, M. T., Prithiviraj, B., and Critchley, A. (2020). “A review of the varied uses of macroalgae as dietary supplements in selected poultry with special reference to laying hen and broiler chickens”. *JMSE*, 8(7), 536.
- IAEA. (2004). *Sediment distribution coefficients and concentration factors for biota in the marine environment*. Technical Reports Series No. 422. International Atomic Energy Agency, Vienna.
- Jianbo, X., Prieto, M. A., and Simal-Gandara, J. (2021). “Nutritional composition of the Atlantic seaweeds *Ulva rigida*, *Codium tomentosum*, *Palmaria palmata*, and *Porphyra purpurea*”. *Chemistry Proceedings*, 5(1), 67.
- Laib, E., and Leghouchi, E. (2012). “Cd, Cr, Cu, Pb, and Zn concentrations in *Ulva lactuca*, *Codium fragile*, *Jania rubens*, and *Dictyota dichotoma* from Rabta Bay, Jijel (Algeria)”. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184(3), 1711-1718.
- Meinita, M. D. N., Harwanto, D., and Choi, J. S. (2022). “A” concise review of the bioactivity and pharmacological properties of the genus *Codium* (Bryopsidales, Chlorophyta)”. *Journal of Applied Phycology*, 34, 2827-2845.
- Mišurcová, L., Machu, L., and Orsavová, J. (2011). “Chapter 29 - Seaweed Minerals as Nutraceuticals”. Se-Kwon Kim (ed.), in *Advances in Food and Nutrition Research* (Vol. 64, pp. 371-390): Academic Press
- Najah, Z., Elsherif, K. M., Alshtewi, M., and Attorshi, H. (2015). “Phytochemical profile and heavy metals contents of *Codium tomentosum* and *Sargassum hornschurchi*.” *Journal of Applicable Chemistry*, 4(6), 1821-1827.
- NMKL. (2007). *Nordic Committee on Food Analysis*, Method No: 186.
- Noseda, M. D., Ramos, D., and Pereira, C. M. P. (2023). “Macroalgae and microalgae biomass as feedstock for products applied to bioenergy and food industry: A brief review”. *Energies*, 16(4), 1820.

- Praveen, M. A., Parvathy, K. K., Balasubramanian, P., and Kumar, V. S. (2017). "Biochemical composition and antioxidant properties of two important *Codium* species from the South East Coast of India". *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 26(4), 472-485.
- Premarathna, A. D., Tuvikene, R., Fernando, P. H. P., Adhikari, R., Perera, M. C. N., Ranahewa, T. H., Howlader, Md. M., Wangchuk, P., Jayasooriya, A. P., and Rajapakse, R. P. V. J. (2022). "Comparative analysis of proximate compositions, mineral and functional chemical groups of 15 different seaweed species". *Scientific Reports*, 12, 19610.
- Rodrigues, D., Freitas, A. C., Pereira, L., Rocha-Santos, T. A. P., Vasconcelos, M. W., Roriz, M., Rodríguez-Alcalá, L. M., Gomes, A. M. P., and Duarte, A. C. (2015). "Chemical composition of red, brown and green macroalgae from Buarcos bay in Central West Coast of Portugal". *Seaweeds and Their Importance*, 4(6), 1821-1827.
- Rojo, I., Olabarria, C., Santamaria, M., Provan, J., Gallardo, T., and Viejo, R.M. (2014). "Coexistence of congeneric native and invasive species: The case of the green algae *Codium* spp. in northwestern Spain". *Marine Environmental Research*, 101, 135-144. doi: <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2014.09.006>
- Scheibling, R. E., and Gagnon, P. (2006). "Competitive interactions between the invasive green alga *Codium fragile* ssp. *tomentosoides* and native canopy-forming seaweeds in Nova Scotia (Canada)". *Marine Ecology Progress Series*, 325, 1-14.
- Silva, T., Gomes, D., Costa, R., and Garrido, S. S. (2013). "Chemical composition and bioactivity of *Codium tomentosum*". *Marine Drugs*, 11(3), 735-752.
- Stiles, L.I., Ferrao, K., and Mehta, K.J. (2024). *Role Of Zinc in Health And Disease*. Clin Exp Med 24, 38.
- Storelli, M. M., Storelli, A., Marcotrigiano, G. O., and Marcotrigiano, G. O. (2001). "Heavy metals in the aquatic environment of the Southern Adriatic Sea, Italy". *Environmental Monitoring and Assessment*, 71(1), 129-142.

- Squadrone, S., Brizio, P., Battuello, M., Nurra, N., Mussat Sartor, R., Riva, A., Staiti, M., Benedetto, A., Pessani, D., and Abete, M. C. (2018). "Trace metal occurrence in Mediterranean seaweeds". *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 9708–9721.
- Tabarsa, M., Karnjanapratum, S., Cho, M., Kim, J. K., and You, S. (2013). "Molecular characteristics and biological activities of anionic macromolecules from *Codium fragile*". *International Journal of Biological Macromolecules*, 59, 1-12.
- Tekeli, Z., Aslan, H. (2023). "Zonation in littoral macrobenthic assemblages in the Çanakkale Strait (Dardanelles)". *Mar. Biodivers.* 53, 86. <https://doi.org/10.1007/s12526-023-01391-8>
- Türker, G., Ak, İ., and Taş, E.Ç. (2024). "Health risk assessment and mineral contents in brown seaweed *Colpomenia sinuosa* for human consumption". *An International Journal of Marine Sciences*, 1-11
- Üstünada, M., Erduğan, H., Aysel, V., and Akgül, R. (2011). "*Codium fragile* subsp. *fragile* (Suringar) Hariot ve *Cystoseira barbata* (Stackhouse) C. Agardh (Çanakkale Boğazı, Türkiye) taksonlarında bazı ağır metallerin mevsimsel değişimi". *Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 7(1), 5-17.
- Wachsmuth, N. B., Haupt, S., Bauer, P., Schierbauer, J. R., Treff, G., Steinacker, J. M., Rilstone, S., and Schmidt, W. F. J. (2024). "Impact of a single blood donation on hemoglobin mass, iron stores, and maximum oxygen uptake in pre-menopausal women — A pilot study". *Transfusion*, n/a(n/a), 1-11.
- Warnasooriya, V., Gunawardena, S., Weththasinghe, P., Jayawardana, B., Qader, M., and Liyanage, R. (2024). "Nutritional properties, antioxidant activity, and heavy metal accumulation in selected marine macro-algae species of Sri Lanka". *Nutraceuticals*, 4(1), 50-64.
- Xue, Y., Tran, M., Diep, Y.N., Shin, S., Lee, J., Cho, H., and Kang, Y.J. (2024). "Environmental aluminum oxide inducing neurodegeneration in human neurovascular unit with immunity". *Scientific Reports*, 14(1), 744.

- Yan, X., Zhang, W., Cheng, J., Wang, R., O Kleemann, D., Zhu, X., and Jia, Z. (2018). “Effects of chromium yeast on performance, insulin activity, and lipid metabolism in lambs fed different dietary protein levels”. *Anim Biosci.* 2008;21(6):853-860.
- Yang, M. H., Blunden, G., Huang, F. L., and Fletcher, R. L. (1997). “Growth of a dissociated, filamentous stage of *Codium* species in laboratory culture”. *Journal of Applied Phycology*, 9(1):1-3. doi: 10.1023/a:1007996207924
- Zhou, X., Zhao, Y., Zhang, Y., Zhao, L., and Xie, S. (2022). “Advances in the bioactive compounds of marine macroalgae and their biological activities”. *Marine Drugs*, 20(3), 176.

