KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SU ÜRÜNLERİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇEVRESEL KİRLETİCİLERİN MAKRO ALGLER ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

ASMAUL HUSNAH ASRUM

KOCAELİ 2025

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SU ÜRÜNLERİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇEVRESEL KİRLETİCİLERİN MAKRO ALGLER ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

ASMAUL HUSNAH ASRUM

Prof. Dr. Arzu MORKOYUNLU
Danışman, Kocaeli Üniversitesi **……**

Prof. Dr. Hamdi AYDIN
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi **……**

Dr. Öğretim Üyesi Nezire Lerzan ÇİÇEK
Jüri Üyesi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi **……**

Tezin Savunulduğu Tarih: 24.06.2025

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ

Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez/proje çalışmasında,

- Bu tezin/projenin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu,
- Çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı,
- Bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi,
- Bu çalışmanın Kocaeli Üniversitesi'nin abone olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun olduğunu,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Tezin/Projenin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez/proje çalışması olarak sunmadığımı,

beyan ederim.

☑ Bu tez/proje çalışmasının herhangi bir aşaması hiçbir kurum/kuruluş tarafından maddi/alt yapı desteği ile desteklenmemiştir.

☐ Bu tez/proje çalışması kapsamında üretilen veri ve bilgiler..... tarafından ..... no'lu proje kapsamında maddi/alt yapı desteği alınarak gerçekleştirilmiştir.

Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

.....

(İmza)

Asmaul Husnah Asrum

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI

Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/projemin tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda belirtilen koşullarla kullanıma açma izninin Kocaeli Üniversitesi'ne verdiğimi beyan ederim. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin/projemin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanımı bana ait olacaktır.

Tezin/projenin kendi özgün çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin/projenin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim kurulu tarafından yayınlanan ***"Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge"*** kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricinde YÖK Ulusal Tez Merkezi/ Kocaeli Üniversitesi Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

☐ Enstitü yönetim kurulu kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.

☐ Enstitü yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 6 ay ertelenmiştir.

☑ Tezim/projem ile ilgili gizlilik kararı verilmemiştir.

……..

(İmza)

Asmaul Husnah Asrum

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu çalışma, İzmit Körfezinde yayılış gösteren *Ulva* sp. ve *Gracilaria* sp. makro algleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Türlerin çevresel kirleticilere bağlı, bünyelerindeki ağır metal değerleri tespit edilmiştir. Tez çalışmam, bireysel çabamla değil, aynı zamanda değerli kişi ve kurumların katkılarıyla tamamlanabilmiştir. Çalışmamın her aşamasında bana yol gösteren, bilgi ve deneyimiyle araştırmamın bilimsel derinliğini artıran, öneri ve geri bildirimleriyle beni yönlendiren değerli danışmanım Prof. Dr. Arzu MORKOYUNLU'ya en içten teşekkürlerimi sunarım. Kendisinin akademik desteği ve motivasyonu, bu sürecin sağlıklı ilerlemesinde büyük rol oynamıştır. Araştırmamın uygulama aşamasında laboratuvar imkanlarını kullanmamı sağlayan ve her konuda yardımcı olan, Kocaeli Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü (İSU) merkez laboratuvarı çalışanlarına da desteklerinden dolayı teşekkür ederim. Arazi çalışmalarım için izin veren T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü'ne çok teşekkür ederim. Ayrıca, bu tezi yazarken her zaman yanımda olan, manevi destekleriyle gücümü artıran sevgili aileme ve arkadaşlarıma da gönülden teşekkür ederim. Varlıkları, bu zorlu sürecin daha kolay ve anlamlı geçmesini sağlamıştır.

Tüm bu katkı ve destekler, bu çalışmayı başarıyla tamamlamamda çok önemli bir rol oynamıştır.

Haziran - 2025 Asmaul Husnah ASRUM

İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR iii
İÇİNDEKİLER iv
ŞEKİLLER DİZİNİ vi
TABLOLAR DİZİNİ vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ viii
ÖZET ix
ABSTRACT x
1. GİRİŞ 1
1.1. Ağır Metaller 2
1.2. Ağır Metal Giderimi 3
1.3. Makroalglerin Ağır Metal Kirliliği Biyoindikatör Olarak Kullanımı 4
2. GENEL BİLGİLER 6
2.1. Çalışmaya Konu Olan Ağır Metaller 6
2.1.1. Alüminyum (Al) 6
2.1.2. Çinko (Zn) 7
2.1.3. Demir (Fe) 8
2.1.4. Kadmiyum (Cd) 8
2.2. Çalışmada Kullanılan Makroalgler 9
2.2.1. *Gracilaria* sp. 9
2.2.2. *Ulva* sp. 10
2.3. Dünyadaki Makroalg Çalışmaları (Küresel Perspektif) 11
2.4. Türkiye'deki Makroalg Çalışmaları 15
3. MALZEME VE YÖNTEM 18
3.1. Araştırma Yeri 18
3.1.1. Tavşancıl Sahili 18
3.1.2. İzmit Sahili (Naile kafe önü) 19
3.2. Arazi Örnekleme Çalışması 20
3.3. Ağır Metal Analizleri 21
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 22
4.1. İstasyonlara Ait Bazı Fiziksel, Kimyasal Parametreler 22
4.2. Araştırma İstasyonlarında Belirlenen Bazı Ağır Metaller 23
4.2.1. Yaz Dönemi (Temmuz 2024) Örneklerine Ait Ağır Metal Değerleri 23
4.2.2. Kış Dönemi (Kasım 2024) Örneklerine Ait Ağır Metal Değerleri 24
4.2.3. Alüminyum Değerleri 25
4.2.4. Çinko Değerleri 26
4.2.5. Demir Değerleri 28
4.2.6. Kadmiyum Değerleri 28
5. SONUÇ VE ÖNERİLER 33
5.1. Makro Algler 33
5.2 Çevresel Etkiler 35
5.3 Ekosistem ve Toplum Üzerindeki Etkileri 36
6. ÖNERİLER 38
KAYNAKLAR 41
EKLER 52

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER..... 54
ÖZGEÇMİŞ..... 55

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. *Ulva* sp., *Gracilaria* sp. ve Deniz Suyu Örnekleri 6
Şekil 2.2. İzmit Körfezinde yayılış gösteren *Gracilaria* sp..... 10
Şekil 2.3. İzmit Körfezinde yayılış gösteren *Ulva* sp. 11
Şekil 3.1. İzmit Körfezi. 18
Şekil 3.2. Araştırma Alanı Uydu Görüntüsü (1. İstasyon) 19
Şekil 3.3. Araştırma sahası (1. İstasyon) 19
Şekil 3.4. Araştırma Alanı Uydu Görüntüsü (2. İstasyon) 20
Şekil 3.5. Araştırma Sahası (2. İstasyon)..... 20
Şekil 4.1. İstasyonların Yaz ve Kış Fızıko-Kımyasal Değerleri..... 22
Şekil 4.2. Yaz ve Kış Denız Suyu Ağır Metal Değerleri (1. İstasyon)..... 30
Şekil 4.3. Yaz ve Kış *Gracilaria* sp. Ağır Metal Değerleri (1. İstasyon)..... 30
Şekil 4.4. Yaz ve Kış *Ulva* sp. Ağır Metal Değerleri (1. İstasyon) 31
Şekil 4.5. Yaz ve Kış Deniz Suyu Ağır Metal Değerleri (2. İstasyon)..... 31
Şekil 4.6. Yaz ve Kış *Glacilaria* sp. Ağır Metal Değerleri (2. İstasyon) 32
Şekil 4.7. Yaz ve Kış *Ulva* sp. Ağır Metal Değerleri (2. İstasyon) 32

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 4.1. Araştırma İstasyonlarında Belirlenen Parametreler 22
Tablo 4.2. Yaz Dönemi Ağır Metal Değerleri (1. Istasyon)..... 23
Tablo 4.3. Yz Dönemi Ağır Metal Değerleri (2. istasyon)..... 24
Tablo 4.4. Kış Dönemi Ağır Metal Değerleri (1. istasyon)..... 24
Tablo 4.5. Kış Dönemi Ağır Metal Değerleri (2. İstasyon)..... 25

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Ag	: Gümüş
Al	: Alüminyum
As	: Arsenik
c	: Karbon
Cd	: Kadmiyum
Co	: kobalt
CO_2	: Karbondioksit
Cr	: krom
Cu	: bakır
Fe	: Demir
g	: Gram
Ha	: Hektar
Mn	: Mangan
Pb	: Kurşun
pH	: Hidrojen potansiyeli
Se	: Selenyum
V	: Vanadyum
Zn	: Çinko
μM	: Mikromolar

Kısaltmalar

ATSDR	: Agency for Toxic Substances and Disease Registry (Toksik Maddele ve Hastalık Kayıt Kurumu)
DIN	: Dissolved Inorganic Nitrogen (Çözünmüş İnorganik Azot)
DIP	: Dissolved Inorganic Phosphorus (Çözünmüş İnorganik Fosfor)
DNA	: Deoxyribonucleic Acid (Deoksiribonükleik Asit)
IAEA	: International Atomic Energy Agency (Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı)
TÜRKAK	: Turkish Accreditation Agency (Türk Akreditasyon Kurumu)
USEP	: United States Environmental Protection Agency (Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı)

ÇEVRESEL KİRLETİCİLERİN MAKRO ALGLER ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Bu çalışma, *Ulva* sp. ve *Gracilaria* sp. türü makroalglerde alüminyum (Al), çinko (Zn), demir (Fe) ve kadmiyum (Cd) gibi ağır metallerin birikim düzeylerini belirlemek ve bu türlerin İzmit Körfezi (Türkiye) su ekosistemlerinde ağır metal kirliliğinin biyogöstergesi (biyoindikatör) olarak kullanılabilirliğini değerlendirmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Araştırma, Temmuz 2024 (yaz mevsimi) ve Kasım 2024 (kış mevsimi) tarihlerinde, farklı çevresel özelliklere sahip iki lokasyondan, Tavşancıl sahili (1. İstasyon) ve Naile kafe yerleşim bölgesi (2. İstasyon) makroalg ve deniz suyu örnekleri alınarak yürütülmüştür. Saha çalışmalarında sıcaklık, pH ve çözünmüş oksijen gibi fizikokimyasal parametreler yerinde ölçülmüş; ağır metal analizleri ise TÜRKAK akreditasyonuna sahip bir laboratuvarda, ISO 11885:2007 standardına uygun olarak ICP-OES yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgulara göre, en yüksek ağır metal birikimi kış mevsiminde, 2. İstasyon'dan toplanan *Gracilaria sp.* örneklerinde gözlemlenmiş; Al ve Fe konsantrasyonları sırasıyla 210,74 mg/L ve 176,51 mg/L olarak ölçülmüştür. Deniz suyu örneklerinde ise tüm ağır metallerin konsantrasyonları eşik değer olan <0,05 mg/L'nin altında kalmıştır. Bu durum, metal birikiminin esas olarak makroalglerde biyokonsantrasyon yoluyla gerçekleştiğini ortaya koymuştur. Ayrıca Cd elementi hiçbir örnekte tespit edilmemiştir; bu bulgu, söz konusu elemente ilişkin bölgesel kirlilik seviyesinin oldukça düşük olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak, *Ulva sp.* ve *Gracilaria sp.* türlerinin ağır metal kirliliğini izleme potansiyeline sahip etkili ve güvenilir ekolojik biyoindikatörler oldukları belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ağır Metal, Birikim, Biyoindikatör, Gracilaria, Ulva.

AN INVESTIGATION INTO THE EFFECTS OF ENVIRONMENTAL POLLUTANTS ON MACROALGAE

ABSTRACT

This research was conducted to determine the accumulation levels of heavy metals aluminum (Al), zinc (Zn), iron (Fe), and cadmium (Cd) in the macroalgae species *Ulva* sp. and *Gracilaria* sp., and to evaluate their potential as bioindicators of heavy metal pollution in the marine ecosystems of İzmit Bay, Turkey. Sampling was conducted at two stations with distinct environmental characteristics: Station 1 (Tavşancıl coastal area) and Station 2 (Naile Café residential area) during two different seasons, summer (July 2024) and winter (November 2024). At each site, both macroalgae and seawater samples were collected. In situ measurements were conducted to determine physicochemical parameters, including temperature, pH, and dissolved oxygen levels. Heavy metal concentrations were analyzed using the ICP-OES method in a TÜRKAK-accredited laboratory by ISO 11885:2007 standards. According to the findings, the highest levels of heavy metal accumulation were observed in *Gracilaria* sp. samples collected from Station 2 during the winter season, with Al and Fe concentrations measured at 210.74 mg/kg and 176.51 mg/kg, respectively. In contrast, the concentrations of all heavy metals in seawater samples remained below the threshold value of <0.05 mg/L. This suggests that metal accumulation in macroalgae primarily occurred through bioconcentration. Furthermore, Cd was not detected in any of the samples, indicating that environmental contamination by this element in the study area is minimal. In conclusion, both *Ulva* sp. and *Gracilaria* sp. have been identified as reliable and effective ecological bioindicators for monitoring heavy metal pollution in coastal marine environments.

Keywords: Heavy Metals, Accumulation, Bioindicator, Gracilaria, Ulva.

1. GIRIŞ

Teknolojik gelişmeyle birlikte, değişen tüketim anlayışı hem karasal hem de sucul ekosistemler üzerinde olumsuz etkilere yol açmaktadır. Birçok su ekosistemi, endüstriyel atıklara, evsel ve tarımsal kirliliğe maruz kalmakta, bu da pestisitler ve ağır metaller gibi organik ve inorganik kirlenmeye yol açarak yüzey sularının ve yeraltı sularının yüzey akışı yoluyla yaygın bir şekilde kirlenmesine neden olmaktadır. Metaller, doğa olayları ve insani faaliyetlerinden sonucu, özellikle toprak ve kayaların ayrışması, volkanik patlamalar, metallerin ve/veya metal kirleticileri içeren maddelerin madenciliği, işlenmesi ve kullanımı gibi çeşitli insan faaliyetleri kapsamında sucul ekosistemlere girmektedir (Jain, 2004, Marcovecchio, 2007, Yetiş ve diğ., 2019). Sanayileşme süreci arttıkça ağır metal kirliliği vakaları da artma eğilimindedir. Artan endüstriyel faaliyetlerin istenmeyen sonuçlarından biri, ağır metallerle kirlenmiş büyük miktarlardaki endüstriyel atık suyun neden olduğu doğal su kaynaklarındaki metal konsantrasyonunun artmasıdır (Volesky, 1990, Ismarti, 2016). Özellikle, endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan ağır metal iyonlarının canlı türlerinde kalıcı toksik ve kanserojen etkilere sebeb olmaması için, çevreye salınmadan önce, kirlenmiş atık suyun arıtılması çok önemlidir (Manahan, 1997). Sucul ekosistemlerde üzerinde yaşanan olumsuz etkiler, başta su kalitesini, sonrasında da besin zincirini oluşturan tüm basamakları etkilemektedir. Endüstriyel atıklar, tarımsal kimyasallar ve plastik gibi çevresel kirleticilerin artışı, organizmaların büyüme, gelişim ve üreme süreçlerini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu tehlikeli kirleticiler arasında, özellikle ağır metallerin (civa, kurşun, kadmiyum, nikel, manganez, çinko, arsenic, bakır, vd.) sucul ortamda artışları, su ortamını hem biyolojik hem de ekolojik olarak etkileyebilmektedir. Ağır metal kirliliği sadece balıklar ve diğer deniz canlıları için bir tehdit değil, aynı zamanda tüketiciler için de önemli sağlık riskleri oluşturmaktadır (Alhashemi ve diğ., 2012, Yi ve diğ., 2011). Deniz suyunda artan ağır metal seviyeleri, başlangıçta metabolik süreçler için gerekli olan ağır metallerin deniz organizmaları için toksik hale gelmesine neden olacaktır. Bu durum, ayrışması zor olan ağır metallerin su ortamında kolayca birikmesi ve doğal olarak ayrışmaması sonucu olumsuz etkilere yol açmasına neden olacaktır (Ika ve Irwan, 2011). Sucul yaşamın temel bileşenlerinden biri olan makro algler, sucul ekosistemlerde besin zincirinin önemli bir parçasını oluştururken, aynı zamanda su kalitesinin belirlenmesinde de kritik bir rol oynamaktadır. Makroalgler, hemen hemen tüm deniz ekosistemlerinde bulunan sucul organizmalardır

(Maehre ve diğ., 2014). Özellikle makroalgler, yüksek üreme oranlarına sahip olup, bu durum kıyı ekosistemlerinde yoğun olarak dağılımlarının ve bolluklarının artmasına neden olmaktadır (Han ve diğ., 2014). Makroalgler ayrıca ağır metal seviyelerini ve metal kirliliği seviyelerini belirlemek için de kullanılır. Özellikle bazı makro alg türlerinin yüksek metal biriktirme kapasitesine sahip olduğu bilinmektedir; bu nedenle su ortamlarındaki ağır metalleri belirlemede önemli biyoindikatörlerdir (Sohrab ve diğ., 2011). Ağır metal araştırmalarında, yaygın olarak kullanılan *Ulva* sp. ve *Gracilaria* sp. türleri bu çalışmada kullanılmıştır. Özellikle, ağır sanayi ve yerleşim yerlerinin sahil boyunca uzandığı Kocaeli Bölgesinde ki, *Ulva* sp. ve *Gracilaria* sp. türlerinin ağır metal düzeyleri tespit edilmiştir. Bu çalışmada, çevresel kirleticilerin, ağır metallerin, makro alglerin sağlığındaki değişimleri, su ekosisteminin genel sağlığı ve biyolojik çeşitliliği üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi, çalışma verileri ışığında, çevresel kirleticilerin azaltılması ve makro alglerin korunması için önerilerin geliştirilmesi, çevresel kirleticilerin sucul ekosistemler üzerindeki etkileri hakkında toplumsal farkındalığının artırılması ve kamuoyunun bilgilendirilmesi hedeflenmiştir.

1.1. Ağır Metaller

Özkütlesi 5 gr/cm3 ’ten büyük olan metaller için, ağır metal tanımı kullanılmakta olup, çevresel olarak en yaygın metaller arasında, kurşun (Pb), bakır (Cu), kadmiyum (Cd), nikel (Ni), Çinko (Zn), krom (Cr), kobalt (Co) sayılabilmektedir (Seven ve diğ., 2018). Ağır metaller, jeolojik olaylar, jeolojik yapıya bağlı olarak doğal kaynaklı olabildiği gibi, endüstriyel faaliyetler, madencilik arama ve çıkarma işlemleri, kentsel trafik faailyetleri sonucunda da, beşeri kaynaklı olarak su, toprak, hava ortamına karışmakta ve partikül maddeler ile rüzgarın da etkisiyle farklı coğrafyalara taşınabilmektedir (Kır ve diğ., 2007, Seven ve diğ., 2018, Türkyılmaz ve diğ., 2018). Sanayi bölgelerinde özellikle ulaşım çok önemlidir. Ulaşım yolları, hava, su ve kara yolları olarak farklı şekillerde kullanılmaktdır. Özellikle, bu araçların kullanılımı ve yakıtları farklı trafik emisyonları oluşturmaktadır (Pelitli ve diğ., 2024, Kaya, 2016, Koz ve Kaya, 2022). Farklı ulaşım yollarıda direk veya indirek olarak sucul ekosistemi etkilemektedir. Çevresel ortamda maruz kalınan metaller arasında, yirmi üç tanesi ağır metal sınıfına girmektedir. Bunlar arasında, Fe, Cu, Zn, Ni, Mo, Mn, Cr gibi metaller, bitkisel ve hayvansal metabolizma için gerekli olan mikro besin elementleri olup, doğal yaşamda hayati önem taşımaktadırlar. Her besin elementinde

olduğu gibi, bunlarında bünyelerine yüksek konsantrasyonlarda alınması ve biyo birikim yapması olumsuz etkilere yol açabilmektedir. Bazı ağır metaller (Cd, Cr, Pb, As, V, Zn, Ni, v.d.) kanserojen etkiye sahip olup, düşük konsantrasyonlarda bile ekosistemdeki organizmalar için ciddi toksitite oluşturabilmektedirler (Agarwal, 2009, Seven ve diğ., 2018, Tchounwou ve diğ., 2012). Toksik Maddeler ve Hastalık Kayıt Kurumu (ATSDR) ve Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (US EPA) listesinde, en tehlikeli yirmi ağır metaller arasında arsenic, kurşun, kadmiyum ve Civa (As, Pb, Cd ve Hg, v.d.) yer almaktadır (Khalid ve diğ., 2017, Reiley, 2007). Yarılanma ömürleri oldukça uzun olan ağır metaller, su, toprak, sediman gibi yerlerde veya canlı dokularında birikebilmektedir. Canlı dokuda biriken ağır metaller, besin zincirindeki üst basamaklara geçerek, sağlıklı ekosistem yapısını bozabilmektedir (Jaishankar ve diğ., 2014, Nassouhi ve diğ., 2018). Bu çalışmada, yalnızca su ve makroalg örnekleri analiz edilmiş olup, sediman örneklemesi yapılmamıştır. Bu nedenle elde edilen bulgular, çalışılan alanın ağır metal dağılımını su ve makroalgler açısından ortaya koymakta ve bölgedeki kirlilik potansiyeline dair önemli bilgiler sağlamaktadır.

1.2. Ağır Metal Giderimi

Doğal olaylar veya endüstriyel faaliyetler sonucu toprak ve su kaynaklarında bulunan ağır metallerin, bu ortamlardan uzaklaştırılmaları da oldukça güç ve pahalı bir yöntemdir. Bu süreçler genel olarak kimyasal, fiziksel ve biyolojik yöntemler kullanılarak yapılmaktadır (Fu ve Wang, 2011, Nassouhi ve diğ., 2018, Tripathi ve Ranjan, 2015). Fitoremediasyon yöntemi, kimyasal ve fiziksel giderim yöntemleriyle karşılaştırıldığında, daha çevreci, güneş enerjisi kullanıldığı için daha verimli ve sürdürülebilirliği olan giderim yöntemi olarak daha çok tercih edilmektedir (Nassouhi ve diğ., 2018, Razzaq, 2017). Biyolojik yöntem olarak bilinen biyoremediasyon, mikroorganizmalar (bakteriler gibi), makrofitler (*Pistia stratiotes, Ceratophyllum demersum, Myriophyllum spicatum, Azolla* sp.*, Lemna gibba*), algler veya diğer organizmalar kullanılarak kirletici ve zararlı maddelerin ortamdan giderilmesi anlamına gelen bir süreçtir (Wang ve diğ., 2012, Kulshreshtha ve diğ., 2014). Özellikle sucul ekosistemlerde ağır metal giderimi için çeşitli alg ve makrofitlerin potansiyeline ait araştırmaların sayısı giderek artış göstermektedir (Ustaoğlu ve diğ, 2015, Leblebici ve Öztürk, 2018, Nassouhi ve diğ., 2018).

Biyoremediasyon sürecinde, canlılar yaşamsal faaliyetlerini gerçekleştirdiği çevredeki ağır metalleri bünyelerinde biriktirebilmektedir. Bu birikim, balıklarda özellikle karaciğer kısmında, daha küçük organizmalarda tüm yapıda, bitkisel yapılarda ise kök, gövde gibi yapılarda farklılık gösterebilmektedir. Özellikle, o bölgede yaşamını sürdüren canlı gruplarında ağır metal konsantrasyonunun belirlenmesiyle, ekosistem hakkında önemli bilgiler elde edilebilmekte ve bu organizmalar "biyolojik gösterge" olarak adlandırılmaktadır (Bat ve diğ.,2014, Sharma ve diğ., 2015, Taylan ve diğ, 2007). Biyolojik gösterge canlıların, örnekleme yapılacak alanda bol miktarda bulunmaları, ağır metallere karşı çok hassas olmamaları, o bölgede sabit olarak yaşamlarını sürdürmeleri, bünyelerindeki ağır metal konsantrasyonuyla bulunduğu çevredeki ağır metal konsantrasyonu arasında bir korelasyon açısından bilgi vermesi gerekmektedir (Ahmad ve diğ., 2016, Bat ve diğ., 1999, Türkmen ve diğ., 2018).

1.3. Makroalglerin Ağır Metal Kirliliği Biyoindikatör Olarak Kullanımı

Makroalglerin ağır metalleri etkin bir şekilde biriktirme yeteneği nedeniyle, ağır metal kirliliğinin biyogöstergesi olarak değerli organizmalar oldukları kabul edilmektedir (Bonanno, 2020, Farias, 2018). Makroalgler, sabit yaşam alanlarına sahip olmaları, çevresel değişikliklere hızlı tepki vermeleri, örnekleme yapılması ve analizinin, diğer bazı biyoindikatör organizmalara göre daha ekonomik ve pratik olması, sudaki ağır metalleri yüksek konsantrasyonlarda biriktirebilme özelliğine sahip olmalarından dolayı biyoindikatör olarak kullanılan avantajlı gruplar arasında yer almaktadır. Bununla birlikte, ağır metal kirliliğinin izlenmesi, birikim düzeyleri, kirlilik kaynaklarının yerinin ve etkisinin belirlenmesi, kirliliğinin sucul ekosistemler üzerindeki potansiyel risklerinin değerlendirilmesi ve atık su arıtma tesislerinin verimliliğinin izlenebilmesi amacıyla da kullanılmaktadır (Taylan ve Özkoç, 2007). Makroalgler, hemen hemen tüm deniz ekosistemlerinde bulunan sucul organizmalardır (Maehre ve diğ., 2014). Özellikle makroalgler, yüksek üreme oranlarına sahip olup, bu durum kıyı ekosistemlerinde yoğun olarak dağılımlarının ve bolluklarının artmasına neden olmaktadır (Han ve diğ, 2014). Algler metalleri iki aşamalı bir süreçle biriktirir; birincisi dış yüzeyde hızlı ve geri dönüşümlü bir fiziko-kimyasal alım süreci, ikincisi ise daha yavaş metabolik olarak düzenlenen hücre içi alımdır (Garnham ve diğ., 1992). Sonuç olarak, metal konsantrasyonları, metallerin hücre duvarıyla etkileşimini etkileyen dış faktörlere (pH,

tuzluluk, inorganik ve organik kompleks moleküller) ve metabolik hızları kontrol eden fiziko-kimyasal parametrelere (sıcaklık, ışık, oksijen ve besinler) büyük ölçüde bağlıdır. Dış duvara metal bağlanması alglerin yaşamı boyunca devam eden bir süreç olduğundan, daha yaşlı dokular genellikle daha fazla metal içerir (Barreiro ve diğ., 1993). Algler, çevresel konsantrasyonlardan bağımsız olarak yalnızca konsantrasyonu asılı partiküllerin doğasına ve yılın mevsimine bağlı olan serbest metal iyonlarını bağlar (Martoja ve diğ., 1984, Villares, 2002). Yeşil algerden (Chlorophyta) *Ulva* sp. gibi türler, sudaki ağır metalleri biriktirme yetenekleri nedeniyle çevresel biyoindikatör olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ho (1990), *Ulva lactuca*nın kirli gelgit sularında Mn, Fe, Cu, Zn ve Pb gibi ağır metallerin önemli birikim oranlarını gösterdiğini ve bu nedenle etkili bir biyolojik gösterge olduğunu bulmuştur. Bununla birlikte, *Jania rubens, Pterocladia capillacea, Halopteris scoparia, Ellisolandia elongata* ve *Halopithys incurva, Cystoseira corniculata* (Phaeophyta) ve *Laurencia papillosa* (Rhodophyta)'da ağır metal konsantrasyonlarının belirlenmesi ve değerlendirilmesi üzerine çalışmalar yapılmıştır (Gümüş ve diğ., 2024, Olgunoğlu ve Polat, 2007).

Bu çalışmanın amacı, iki makroalg türü olan *Ulva* sp. ve *Gracilaria* sp.'de Alüminyum (Al), Çinko (Zn), Demir (Fe) ve Kadmiyum (Cd) ağır metallerinin birikimini belirlemek ve analiz etmek ve sucul ekosistemlerde ağır metal kirliliğinin biyoindikatörleri olarak potansiyellerini değerlendirmektir.

2. GENEL BILGILER

2.1. Çalışmaya Konu Olan Ağır Metaller

Bu araştırmada, *Ulva* sp. (Chlorophyta) ve *Gracilaria* sp. (Rhodophyta) türlerine ait makroalg örnekleri incelenmiştir. Örnekleme işlemi, kıyı bölgesinde yaklaşık 4 metrekarelik bir alanın taranmasıyla gerçekleştirilmiştir. Toplanan makroalg örneklerinde, biyolojik gösterge olarak değerlendirilen bu türlerin bünyelerinde biriktirdikleri, çevresel kirliliğin göstergesi olan Alüminyum (Al), Çinko (Zn), Demir (Fe) ve Kadmiyum (Cd) gibi ağır metallerin konsantrasyonları analiz edilmiştir (Şekil 2.1.).



Şekil 2.1. *Ulva* sp., *Gracilaria* sp. ve Deniz Suyu Örnekleri

2.1.1. Alüminyum (Al)

Alüminyum en bol bulunan metaldir ve yerkabuğunda yaklaşık %8,1 ile üçüncü en bol bulunan elementtir (Wilson, 2011). Bol miktarda bulunmasına rağmen, çözünmüş alüminyum deniz ortamında genellikle çok küçük konsantrasyonlarda, tipik olarak 1 µg Al/L'den daha az miktarda bulunur. Alüminyum çevrede saf bir metal olarak bulunmaz, ancak alüminosilikat mineralleri ve kompleks oksitler olarak silikon ve oksijen ile birlikte bulunur (Namieśnik ve Rabajczyk, 2010). Karasal ortamlardaki genel bolluğuna kıyasla doğal sulardaki çözünmüş alüminyumun nispeten küçük bir kısmı, kısmen bu minerallerin çoğu doğal suyu karakterize eden pH aralığında (pH 6-8) düşük çözünürlüğü

ile açıklanabilir. Sonuç olarak, normal koşullar altında ayrışma yoluyla çok az alüminyum çözünmektedir (Gensemer ve Playle, 1999, Namieśnik ve Rabajczyk, 2010). Ancak, çevre periyodik veya sürekli olarak güçlü asitleşme girdilerine maruz kaldığında çözünmüş alüminyum salınımı önemli ölçüde artabilir (Gensemer ve Playle, 1999). Deniz ortamında alüminyum konsantrasyonu ve dağılımına aracılık eden ana faktör, dış kaynaklar, giderim süreçleri ve iç döngü arasındaki dengedir. Deniz ortamındaki alüminyumun dikey dağılımı, deniz ortamındaki baskın dış kaynaklar ve giderim mekanizmaları hakkında iyi bir gösterge sağlar. Bununla birlikte, çözünmüş alüminyumun tipik dikey dağılımı, partiküllerle güçlü etkileşimleri ve okyanusta kısa kalma sürelerini desteklemektedir (Bruland ve Lohan, 2003). Alüminyumun yüzey sularında kalma süresi 4 hafta ile 4 yıl arasında değişirken, dağılma oranlarının önemli ölçüde azaldığı derin sularda 50 ila 150 yıl arasında değişmektedir (Orians ve Bruland, 1986).

2.1.2. Çinko (Zn)

Çinko, dünya kabuğunun 24. en bol elementi olup, element sembolü Zn ve atom numarası 30 olan bir geçiş metalidir (URL-1) Çinko, algler için hayati öneme sahip bir eser elementtir ve çeşitli fizyolojik süreçlerinde kritik roller üstlenmektedir. Birçok enzimin yapısında yer alarak katalitik aktiviteleri için gereklidir. Özellikle fotosentezde elektron taşınması ve fosforilasyon süreçlerinde çinko eksikliği önemli problemlere yol açabilmektedir. Ayrıca, protein ve DNA sentezi gibi temel hücresel işlevlerde de rol oynamaktdır (Coleman, 1998). Düşük konsantrasyonlarda çinko, alglerin büyümesini ve fotosentetik pigmentler, yağ asitleri ve protein gibi temel metabolitlerinin içeriğini artırırken, yüksek konsantrasyonlarda büyüme inhibisyonuna ve hücre bölünmesinde azalmaya neden olabilmektedir (Klimmek ve diğ., 2001).

Yapılan çalışmada, polar bölgelerde yaşayan alg türlerinin, fotosentez ve birincil metabolizma süreçlerindeki düzenleyici roller nedeniyle çinkoya olan taleplerinin daha yüksek olduğu ve bu nedenle çinko eksikliğine karşı daha hassas olabileceği belirtilmektedir (Blaby-Haas, 2022). Doğal ortamdaki sucul sistemde, çinko (Zn) konsantrasyonu, herhangi bir kirletici veya çinko kaynağı yoksa oldukça düşüktür. Kirlenmemiş bölgelerde, sudaki toplam Zn konsantrasyonlarının 1 μg 1-1 veya daha az olduğu bildirilmektedir (Hogstrand ve diğ., 1991, Spry ve diğ., 1981).

Çinko, metal alaşımları, galvanizleme, pigmentler ve elektrikli ekipmanlarda geniş endüstriyel kullanım alanına sahiptir. Endüstriyel kaynaklardan, su deşarjları, yüzey aşınımları ve atmosferik faaliyetlerle, su kaynaklarına giriş yaparak, suyun asitleşmesine neden olabilmektedirler. Bu durum, su içindeki çinko oranına ve çözünme miktarına göre farlılık göstermektedir. Çinko miktarı su derinliği ile paralelik göstermektedir. Çinko taşınmasının yaklaşık %30'unun partikül olduğu, biyolojik döngüyle birlikte canlılara taşındığı bildirilmektedir (Sherrell ve Boyle, 1988).

2.1.3. Demir (Fe)

Demir (Fe) atom numarası 26 olan kimyasal bir elementtir. Kütle olarak Dünyada en yaygın elementir ve kullanım alanlarının yaygın olması nedeniyle, tüm dünyada üretilen metallerin ağırlıkça %95'ini oluşturmaktadır (URL-2). Doğal ortamda, saf demiri elementlerini elde etmek için diğer karışımların kimyasal yöntemlerle ayrıştırılması gerekmektedir. Demir (Fe), fotosentez ve solunum dahil olmak üzere temel hücresel süreçlerde yer alan proteinler için gerekli bir mikro besindir (Raven ve diğ., 1999). Yerkabuğunda en bol bulunan dördüncü element olmasına rağmen, açık okyanus yüzey sularındaki çözünmüş Fe konsantrasyonları, derinliğe, su ortamında bulunan canlı çeşitliliğine ve su derinliğine bağlı olarak faklılık göstermektedir (Liu ve Millero, 2002). Demir özellikle, deniz de yayılış gösteren makroalglerin büyümesinde ve gelişmesinde önemli bir elementtir. Demir, makro alglerin yaşamsal faaliyetlerinde özellikle fizyolojik olarak klorofil ve nükleik asit sentezi, elektron taşınması, fotosentetik oksijen metabolizması ve azot fiksasyonu gibi birçok metabolik olaylarda işlevsel olarak yardımcı faktör olarak görev yapmaktadır (Chen ve diğ., 2017).

2.1.4. Kadmiyum (Cd)

Yaşamsal faaliyetlerin yürütülmesinde, demir, çinko gibi metaller esansiyel elementler olmasına rağmen civa, kurşun ve kadmiyum esansiyel elementler olmayıp iz miktarlarda bile toksik etkiye sahiptirler (Kayhan, 2006).

Ağır metaller arasında civadan sonra, en yüksek toksisiteye sahip olan kadmiyum metali doğada kadmiyum sülfat ve sülfit, kadmiyum oksit, kadmiyum klorür şeklinde ve genelde

çinko, bakır ve kurşun madenleriyle birlikte ince partiküller (10 µmol/L'den az) halinde bulunur (Boğa, 2007).

Endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan atmosferik taşınım, toprak ve kaya erozyonu, yağmur suyu gibi çeşitli yollardan suya karışan kadmiyum, su canlılarında, toksik etki yapmakta ve enzimleri inhibe etmektedir. Sucul sistemdeki kadmiyum iyonlarının tuz miktarına ve suyun pH durumuna göre farklılık göstermektedir (Marganof, 2003). Özellikle endüstriyel faaliyetler sonucu oluşan deniz kirliliğinde, su canlılarının vücuduna alınarak biriktiği ve değişik seviyelerde zararlı toksik etkiler meydana getirdiği tespit edilmiştir (Kayhan, 2006).

2.2. Çalışmada Kullanılan Makroalgler

Sucul ekosistemlerde, çevresel kirliliğin izlenmesinde farklı organizmalar üzerinde çalışmalar yürütülmektedir. Bu canlı gruplarından biri olan makroalg türleri, dünyanın dört bir yanındaki kıyı sularında eser düzeydeki toksik mineralleri belirlemek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu süreçte alglerden, besin zincirindeki önemli rolleri ve kirleticilerle olan zamansal ilişkilerinden yararlanılmaktadır (Topcuoğlu ve diğ., 2010, Villares ve diğ., 2010).

2.2.1. *Gracilaria* sp.

Bölüm: Rhodophyta
Sınıf: Florideophyceae
Ordo: Gracilariales
Aile: Gracilariaceae
Cins: Gracilaria
Tür: *Gracilaria* sp.

Kırmızı algler bölümünde yer alan Gracilaria cinsine ait türler, farklı kahverengi-sarımsı ve kırmızı tonlarda, ipliksi yapıya sahip, tallusu gür, biraz sert ve nispeten kısa veya uzun dallı makroskopik algler olarak tanımlanabilmektedir. Bu cinse ait türler, dünya denizlerinde bir çok bölgede yayılış göstermektedir (URL-3). *Gracilaria* cinsinin tallusu silindirik, pürüzsüz, kırmızı-mor-yeşil renkli, güçlü dokulu, düzensiz dallanmış, tabanda merkezlenmiş, saçı andıran uzun yan dallara sahip, 15-30 cm. uzunluğunda olabilmekte

ve deniz ortamında gelişebilmek için kayalar, ölü mercanlar, ahşap, kabuklar gibi yüzeylere ihtiyaç duymaktadır. Ksilan, mannan, agar agar, galaktan, karragen gibi farklı miktarlarda yer alan müsilaj maddeler, türün hücre çeperinde pektik ve selüloz karışımlarıyla birlikte bulunmaktadır. Hidrokoloidlerin elde edilmesinde, türün çeperlerinin hızlı bir şekilde jel haline dönüşebilmesi ticari olarak da önem arz etmektedir. Bu cinse ait türler, kapasiteleri kadar azotu hızla assimile etme ve stokta tutabilme özelliklerinden dolayı, çevresel azot eksikliğinde bile canlılığını sürdürme yeteneklerine sahiptirler. Bununla birlikte, gracilariales ordosunda yer alan makro alg türlerinden de elde edilen agar-agar, karragen gibi endüstriyel maddeler elde edilmekte, gıda olarak tüketilebilmete ve farklı bir çok alanda kullanılarak ekonomiye katkı sağlamaktadır. Bu tür, Ülkemiz denizlerinde Akdeniz, Ege Denizi ve Marmara'da yayılış göstermektedir. (Ak ve Cirik, 2004, Cirik, 2011). *Gracilaria* sp. türüne ait görsel şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.2. İzmit Körfezinde yayılış gösteren *Gracilaria* sp.

2.2.2. *Ulva* sp.

Bölüm: Chlorophyta
Sınıf: Ulvophyceae
Ordo: Ulvales
Aile: Ulvaceae
Cins: Ulva
Türler: *Ulva* sp.

Deniz marulu *Ulva sp,* toksik mineralleri tutma ve toksik kirleticilerle deniz kirliliğinde bunları hücre sitoplazmasına dağıtma eğilimi ile biyo-göstergeler açısından potansiyel olarak önemli bir makro-algdir (Davis ve diğ., 2003). Marmara Denizi'nin kıyı

bölgelerinde yoğun endüstriyel faaliyetler, gemi atıkları, yoğun nüfus, inşaat ve belediye atıksu deşarjlarından kaynaklanan kirlilik nedeniyle toksik eser minerallerle kirlenme önemli bir sorun haline gelmiştir. Deniz marulu, kayalara tutunarak ve deniz ortamından besin alarak yaşamsal faaliyetini sürdüren bir makroalg türüdür.

Deniz yosunları genel olarak üç ana gruba ayrılır: Rhodophyceae (kırmızı algler), Phaeophyceae (kahverengi algler) ve Chlorophyceae (yeşil algler) (Pushparaj ve diğ., 2014). *Ulva lactuca*, Ege Denizi (Çandarlı Körfezi, İzmir Körfezi ve Midilli Adası), Marmara Denizi ve Karadeniz'de dağılım gösteren, yüksek biyokütleye sahip bir Chlorophyceae üyesidir (Aktar, 2012, Durmaz ve diğ., 2008). Deniz marulu olarak da adlandırılan *Ulva lactuca*, kıyı bölgelerinde kıyı ve sublittoral alanlarda kayalar ve diğer algler üzerinde kozmopolit bir dağılıma sahiptir (Pushparaj ve diğ., 2014, Yu-Qing ve diğ., 2016). İzmit Körfezinde yayılış gösteren *Ulva* sp. şekil 2.3'te verilmiştir.



Şekil 2.3. İzmit Körfezinde yayılış gösteren *Ulva* sp.

2.3. Dünyadaki Makroalg Çalışmaları (Küresel Perspektif)

İnsan faaliyetlerinden kaynaklanan aşırı besin maddeleri nedeniyle mercan baskınlığına müdahale eden makroalg büyümesinin analizleri Lapointe (1997) tarafından "Jamaika ve güneydoğu Florida'daki mercan resiflerinde makroalg büyümesinin aşağıdan yukarıya kontrolü için besin eşikleri" başlıklı bir çalışmada yapılmıştır. DIN (Çözünmüş İnorganik Azot) konsantrasyonlarının 1.0 µM'nin üzerinde ve DIP (Çözünmüş İnorganik Fosfor) konsantrasyonlarının 0.1 µM'nin üzerinde olması makroalgal büyümeye neden olmuştur. Bu çalışma, *Dictyota* spp. ve *Halimeda* spp. gibi türlerin baskın olduğu makroalgal büyümeyi tetikleyen eşik besin konsantrasyonlarını (DIN > 1.0 µM ve DIP > 0.1 µM)

ortaya çıkarmış ve mercan resifi ekosistem sağlığının korunması ve restorasyonu için kara bazlı azot kontrolünün gerekli olduğunu doğrulamıştır.

Kalsifiye makroalglerin önemli rolü denizlerin korunmasında genellikle göz ardı edilmektedir, bu nedenle Nelson (2009) tarafından "Kalsifiye makroalgler-kıyı deniz ekosistemlerinin kritik bileşenleri" başlıklı bir çalışma yürütülmüştür". *Corallina officinalis* ve *Lithothamnion* spp. gibi kalsifiye makroalgler habitat yapısı oluşumuna, kıyı korumasına ve deniz karbonat döngüsüne önemli ölçüde katkıda bulunur ve deniz organizmalarının larvaları için substrat görevi görür, bu nedenle bu türlerin varlığındaki bir azalma kıyı ekosistemi işlevlerini bozabilir ve kıyı alanı yönetim politikalarında habitatlarının korunması ihtiyacına yol açabilir.

Yabancı makro alg istilaları Hawaii'deki yerli ekosistemlere zarar vermektedir (Smith ve diğ., 2002). "Hawaii Adaları'nda yerli olmayan ve istilacı deniz alglerinin dağılımı ve üreme özellikleri" üzerine yapılan bir çalışmada, *Gracilaria salicornia, Acanthophora spicifera* ve *Kappaphycus* spp. gibi yabancı makroalgal türler vejetatif üreme stratejileri ve doğal avcıların yokluğu nedeniyle hızla yayılarak yerel çeşitliliğin azalmasına ve topluluk yapısının değişmesine yol açmıştır. İstilacı türlerin girişinin neden olduğu biyolojik tehditler, deniz ekosistemlerindeki makroalgal istilaları önlemek ve kontrol etmek için entegre bir yönetim yaklaşımına ihtiyaç olduğunu düşünülmektedir.

Somon yetiştiriciliğinden kaynaklanan, Şili kıyılarındaki deniz suyu kalitesinin etkilendiği çalışmada (Buschmann ve diğ., 2008) "Şili'de entegre deniz yosunu temelli akuakültür gelişimi için fırsatlar ve zorluklar" başlıklı bir çalışma yürütülmüştür. *Macrocystis pyrifera* ve *Gracilaria chilensis* gibi makroalglerin akuakültür atık sularından 100 µmol/g/gün'e kadar azot ve fosfat tuttuğu ve balık kafeslerinin etrafındaki büyümeyi önemli ölçüde artırdığı tespit edilmiş, böylece akuakültür faaliyetlerinden kaynaklanan organik ve inorganik atık suları ele almak için ekosistem tabanlı çözümler sunan entegre akuakültür sistemlerinde doğal biyofiltre olarak potansiyel kullanımları gösterilmiştir.

Küresel iklim krizi ve biyolojik karbon tutma yöntemleri arayışı üzerine yapılan bir çalışmada (Chung ve diğ., 2011), "Karbon sekestrasyonu için deniz makroalglerinin kullanımı: Eleştirel bir değerlendirme" yapılmıştır. *Saccharina japonica* ve *Sargassum*

spp. gibi makroalglerin yüksek oranlarda (>2 ton C/ha/yıl) karbon tutabildiğini, ancak toplu hasat, biyokütle bozulması ve sınırlı ekim alanları gibi lojistik zorluklarla karşı karşıya olduğunu ortaya koymuştur. Bu nedenle, makroalg yetiştiriciliğinin CO_2 tutma potansiyeli önemli olsa da, büyük ölçekli uygulama sektörler arası bir yaklaşım gerektirmekte ve bu çalışmayı deniz bitkilerinden elde edilen "mavi karbon" konusundaki küresel tartışmada önemli bir başlangıç noktası haline getirmektedir.

"Tuticorin plajı (Hare Adası), Mannar Körfezi, Güney Hindistan'dan toplanan makro algler, deniz çayırları, mangrovlar ve yengeçlerdeki ağır metal konsantrasyonları" başlıklı çalışmada (Arisekar ve diğ., 2021), makro alglerdeki ağır metal konsantrasyonlarının çeşitli ulusal ve uluslararası kuruluşlar tarafından belirlenen maksimum limitlerin altında olduğu tespit edilmiştir. Veriler, sağlık riski endeksinin, incelenen bölgede makroalg tüketiminin önemli bir sağlık riski oluşturmadığını gösterdiğini ve diyet takviyeleri ve biyofarmasötik ürünlerde kullanımını desteklediğini ortaya koymuştur.

Güney Çin Denizi'nin tropikal kıyılarından 11 makroalg türünde ağır metallerin biyoakümülasyon analizi ve insan tüketimiyle ilişkili sağlık risklerinin değerlendirilmesi (Peng ve diğ., 2022) "Güney Çin Denizi'nin tropikal kıyılarından deniz yosunlarında ağır metallerin türe özgü biyoakümülasyonu ve sağlık riski değerlendirmesi" başlıklı çalışmada, kırmızı makroalglerin V, Se, Mn, Ni ve Ag; kahverengi makroalglerin Cr, Co, Cu, Cd, As ve Fe; yeşil makroalglerin ise Zn ve Pb biriktirme eğiliminde olduğu ortaya konmuştur. Sağlık riski değerlendirmesi, bazı makroalg türlerinin çocuklar tarafından tüketilmesinin, özellikle As ve Cr içeriği nedeniyle orta ila yüksek risk oluşturabileceğini göstermiştir.

Ekas Körfezi, Lombok, Endonezya'daki üç bol kahverengi makroalg cinsinin mevsimsel biyokütle ve aljinat stok değerlendirmesi üzerine yapılan çalışmada (Setyawidati ve diğ., 2018), çok bantlı yüksek çözünürlüklü uydu uzaktan algılama kullanarak üç bol kahverengi makroalg cinsinin mevsimsel biyokütle ve aljinat stok değerlendirmesi yapılmıştır. Padina ve Sargassaceae gibi kahverengi makroalglerin biyokütlesi mevsimsel olarak değişiklik göstermiş ve en yüksek aljinat üretimi Mayıs/Haziran aylarında gerçekleşmiştir. Sargassaceae, 207,61 ton kuru ağırlığa ulaşan verimiyle aljinat kaynağı olarak yüksek potansiyel göstermiştir.

Finlandiya'nın Doğu Körfezi'ndeki makroalg Cladophora glomerata'daki ağır metal içeriğinin çevresel kalitenin bir göstergesi olarak değerlendirilmesi (Gubelit ve diğ., 2023) "Çevresel Kalite Değerlendirme Aracı Olarak Makroalglerdeki Ağır Metal İçeriği" başlıklı bir çalışma yapılmıştır. Araştırmada, makroalgler Cu, Zn, Cd ve Pb gibi ağır metalleri biriktirme konusunda yüksek bir kabiliyete sahiptir. Alg dokusundaki metal içeriği, su ve sedimandaki metal konsantrasyonları ile ilişkilidir ve Cladophora'nın kıyı ortamlarındaki ağır metal kirliliğinin biyo göstergesi olarak kullanılabileceğini düşündürmektedir.

Cezayir'in Djelfa bölgesindeki yeşil makroalg türlerinde ağır metal konsantrasyonlarının ölçümleri (Dehbi ve diğ., 2023) "Cezayir, Djelfa'daki Yüzey Sularında Makroalglerin Ağır Metal Kontaminasyonunun Analizi" araştırma başlığı altında gerçekleştirilmiştir. Tüm makroalg türleri, IAEA tarafından önerilen sınırları aşan Pb konsantrasyonları ile önemli ağır metal birikimi göstermiştir. Analiz sonuçları, sulardaki ağır metal kirliliğinin evsel ve endüstriyel atıklar gibi antropojenik faaliyetlerden kaynaklandığını göstermiştir. Makroalgler, insan atıklarına maruz kalan kıyı sularında ağır metal kirliliğini izlemek için etkili biyoindikatörler olarak kullanılabilirliği tespit edilmiştir.

Kahverengi makroalg *Fucus vesiculosus*'un ağır metal maruziyetine moleküler tepkisinin genetik ve epigenetik mekanizmalara odaklanarak araştırılması (García ve diğ., 2024) üzerine "Kahverengi makroalglerin ağır metal maruziyetine moleküler yanıtı üzerine bir saha çalışması: Epigenetik bir yaklaşım" gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, ağır metallerin *Fucus vesiculosus* tarafından alım kapasitesinde tür içi farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışma, ağır metal stresine verilen yanıtın genetik ve epigenetik mekanizmaları içerdiğini ortaya koyarak, kirli çevresel koşullara spesifik adaptasyonu önermekte ve biyoindikatör geliştirme ve koruma çabaları için yararlı olan makroalglerin kirliliğe tepkisini anlamada moleküler ve genetik yönlerin önemini güçlendirmiştir.

Tuzluluk dalgalanmalarının makroalglerdeki ağır metallerin mevcudiyeti ve alımı üzerindeki etkisi (Syaifudin ve diğ., 2025) "Deniz Alglerinde Ağır Metal Birikimine Tuzluluğun Etkisi başlıklı bir çalışmada ele alınmıştır". Tuzluluktaki değişiklikler, türlere, sıcaklığa ve pH'a bağlı olarak makroalglerdeki metallerin biyoyararlanımını ve birikimini önemli ölçüde etkilemiştir. Bu çalışma, özellikle iklim değişikliği ve endüstriyel faaliyetlerle ilişkili olarak kıyı ekosistemlerinde ağır metal kirliliğinin

yönetimi için sahaya özgü araştırmaların önemini vurgulanmıştır. Araştırmada, Ağır metal kirliliğinin yönetimi, tuzluluk gibi çevresel faktörlerin değişkenliğini göz önünde bulundurmalıdır; bu da iklim değişikliği ve kıyı bölgelerindeki endüstriyel faaliyetler bağlamında özellikle önemlidir.

Basra Körfezi kıyısındaki makroalgler tarafından ağır metal biriktirme kapasitesinin belirlenmesi için yeni bir yöntem önerilmesi çalışmasında (Bibak ve diğ., 2025), Basra Körfezi kıyısındaki makroalgler tarafından ağır metal sorpsiyon kapasitesinin belirlenmesi için Kullback-Leibler kümülatif bilgisine dayalı yeni bir yöntem kullanılmıştır. Geliştirilen yöntemle, ağır metallerin makroalgler tarafından biriktirilme kapasitesini etkin bir şekilde belirleyerek kıyı ortamlarındaki ağır metal kirliliğini izlemek için yeni bir yaklaşım olduğu, bu yaklaşımın, kirlilik risklerini değerlendirmek ve daha uygun ekosistem yönetim stratejileri geliştirmek için kullanılabileceği belirlenmiştir.

Ağır metal fitoremediasyonu için makroalglerin kullanımı başlıklı bir çalışmada (Akbar ve ark., 2025), sucul kirlilik kontrolüne sürdürülebilir bir yaklaşım konusu incelenmiştir. Çalışmada, *Sargassum wightii, Caulerpa racemosa* ve *Durvillaea antarctica* gibi makroalg türleri ağır metallerin giderilmesinde yüksek verimlilik göstermiştir. Çalışmada makroalg yetiştiriciliğinin ölçeği ve metal içeren biyokütlenin bertarafı gibi temel zorlukların yanı sıra standartlaştırılmış protokoller ve metal sorpsiyon mekanizmaları üzerine daha fazla araştırma yapılması ihtiyacı da tespit edilmiştir.

2.4. Türkiye'deki Makroalg Çalışmaları

Ege Denizi'nin doğu kıyısı boyunca sekiz kıyı istasyonunda makroalg türlerindeki ağır metal konsantrasyonlarını ölçen bir çalışmada (Akçalı ve Küçüksezgin, 2011), Doğu Ege Denizi'nin kıyı bölgelerindeki makroalglerde ağır metaller araştırılmıştır. *Cystoseira* sp., *Ulva* sp. ve *Enteromorpha* sp. gibi makroalgler, Ege Denizi'ndeki eser metaller için kozmopolit biyolojik göstergeler olarak yüksek potansiyel göstermiştir. Makroalglerdeki metallerin değer sıralaması Fe > Zn > Cu > Cr > Cd > Hg > Pb olarak tespit edilmiştir.

Antalya kıyı bölgesinden toplanan makroalg *Cystoseira foeniculacea* ve *Gongolaria montagnei* türlerinde makro ve eser element düzeylerinin analizi üzerine yapılan

çalışmada (Aşıkkutlu ve Okudan, 2021), en yüksek makro element potasyum (K), en düşük element ise fosfor (P) olarak belirlenmiştir. Mikro elementler için, demir (Fe) en yüksek konsantrasyona, molibden (Mo) ve kadmiyum (Cd) ağır metallerinin her türde en düşük konsantrasyona sahip olduğu belirlenmiştir. Pearson korelasyon indeksi analizinde elementler arasında pozitif ve negatif ilişkiler olduğu da tespit edilmiştir.

Makroalglerin gıda endüstrisi, ilaç, organik tarım, atık arıtma ve biyoplastik üretimi gibi çeşitli ekonomik sektörlerde kullanımı üzerine yapılan araştırmada (Peksezer ve diğ., 2021), makroalglerin, özellikle fonksiyonel gıda, ilaç ve endüstriyel hammadde üretiminde Türkiye'de önemli bir ekonomik potansiyele sahip olduğu, yerel ekonomiyi ve çevresel sürdürülebilirliği desteklemek için makroalg yetiştiriciliğinin geliştirilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Türkiye'de Çanakkale ilinde makroalg yetiştiriciliğinin yatırım potansiyeline ilişkin bir değerlendirme (Türker ve İlknur, 2021) çalışmasında, birçok akademik çalışmaya rağmen bu bölgede ticari makroalg yetiştiriciliğinin henüz başlamadığına değinilmiştir. Çalışmada, önemli ekonomik potansiyelden yararlanmak için makroalg yetiştirme teknolojilerinin geliştirilmesine destek verilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

İskenderun Körfezi'nden toplanan beş farklı makroalg ve deniz çayırı (*Halophila stipulacea*) türünün biyokimyasal kompozisyonunun (kül, lipit ve protein) analizi üzerine yapılan araştırmada (Naz vd., 2022), türler arasında kül, lipit ve protein içeriklerinde önemli farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. *Ericaria amentacea* en yüksek kül içeriğine (%21,38±1,53) ve en yüksek lipit içeriğine (%5,83±0,68) sahipken, *Sargassum vulgare* en yüksek protein içeriğine (%11,45±0,53) sahip olduğu tespit edilmiştir. *Halophila stipulacea* bazı yeşil makroalglere kıyasla daha yüksek protein içeriği gösterirken, kahverengi ve kırmızı makroalglerden daha düşük protein içeriği gösterdiği tespit edilmiştir.

Türkiye'deki Deniz Makroalglerindeki Ağır Metal Konsantrasyonlarının Karşılaştırılması çalışmasında (Koçbaş ve diğ., 2023), Kuzey Ege Denizi kıyısı boyunca 15 istasyondan deniz makroalglerindeki ağır metal konsantrasyonlarının ölçümleri yapılmıştır. Çalışmada, en yüksek ağır metal konsantrasyonu demir (Fe), en düşük ise kadmiyum (Cd) olarak tespit edilmiştir. Alsancak, İnciraltı ve Güzelbahçe istasyonları yeşil alglerde MPI

(Metal Kirlilik İndeksi) değerlerine göre en yüksek kirlilik seviyelerini göstermiştir. Bazı istasyonlarda deniz ürünleri tüketimi için izin verilen sınırı aşan kurşun (Pb) değerleri de belirlenmiştir.

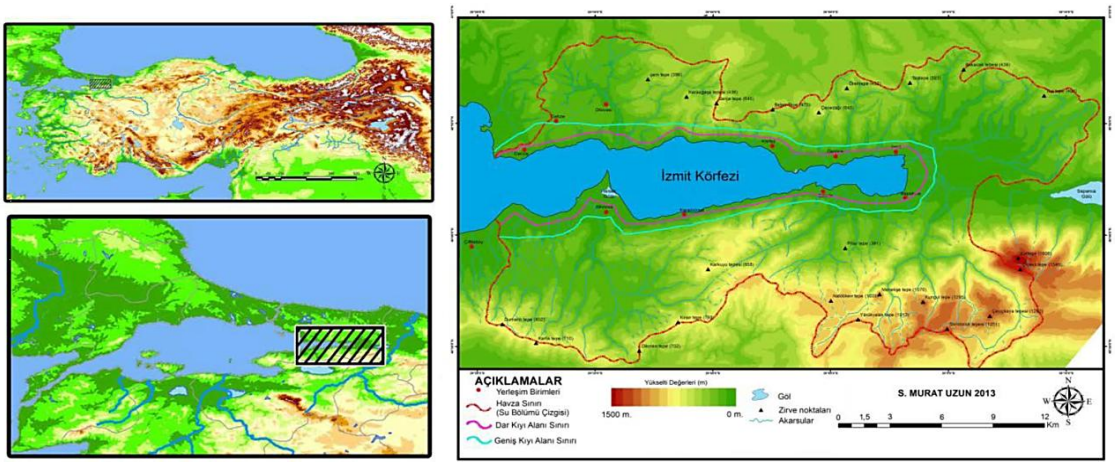
Türkiye kıyılarından toplanan dokuz kırmızı makroalg türünün kimyasal bileşimi ve besin profili analiz edilmiştir (Yücetepe vd., 2024). Çalışmada, dokuz kırmızı makroalg türünün kimyasal bileşimi ortaya çıkarılmıştır. Araştırmada, kırmızı makroalglerin önemli protein, mineral ve diyet lifi içeriklerine sahip olduğu ve gıda ve takviye endüstrisinde bir besin kaynağı olarak potansiyellerini gösterdiği ortaya konulmuştur. Çalışmada, biyoindikatör olarak işlevinin yanı sıra kırmızı makroalgler gıda ve sağlık endüstrileri için hammadde olarak da ekonomik değere sahip oldukları da vurgulanmıştır.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. Araştırma Yeri

İzmit Körfezi'nde, yerleşim alanı, deniz ulaşımı, sanayi sektörü bakımından ekonomik değere sahip olmakla birlikte, sucul sistem özelliği açısından da ekolojik ve biyolojik parametreler bakımdan oldukça önemli bir bölgedir Son yıllarda gerek endüstriyel gerekse evsel atıklarla aşırı bir kirlenme süreci içine giren İzmit körfezi, Marmara Denizinin en doğusunda yer alan, yaklaşık 50 km uzunluğunda dar ve uzun bir denizalanıdır. İzmit Körfezi, 29° 37.16' ve 29° 56.70' E ile 40° 39.73 ' ve 40° 49.46' N arasında yer almaktadır. Yüzey alanı yaklaşık 310 km^2 'lik bir alanı kaplamaktadır. İzmit Körfezi üç farklı bölgeden (doğu, orta ve batı) oluşmaktadır (Morkoç ve diğ., 2001).

Bu araştırmada, İzmit Körfezi'nde yayılış gösteren *Ulva* sp. ve *Gracilaria* sp. türleri ile deniz suyu örnekleri alınmıştır. Temmuz 2024 - Kasım 2024 tarihleri arasında 1. ve 2. İstasyon'larda alınan bu örneklerde, biyolojik örnekleme olarak makroalg türleri ve kimyasal örnekleme olarak deniz suyu örnekleri kullanılmıştır. Kimyasal analizler sonucunda, deniz suyu örneklerindeki ağır metallerin (Cd, Fe, Al, Zn) seviyeleri belirlenmiştir (şekil 3.1).

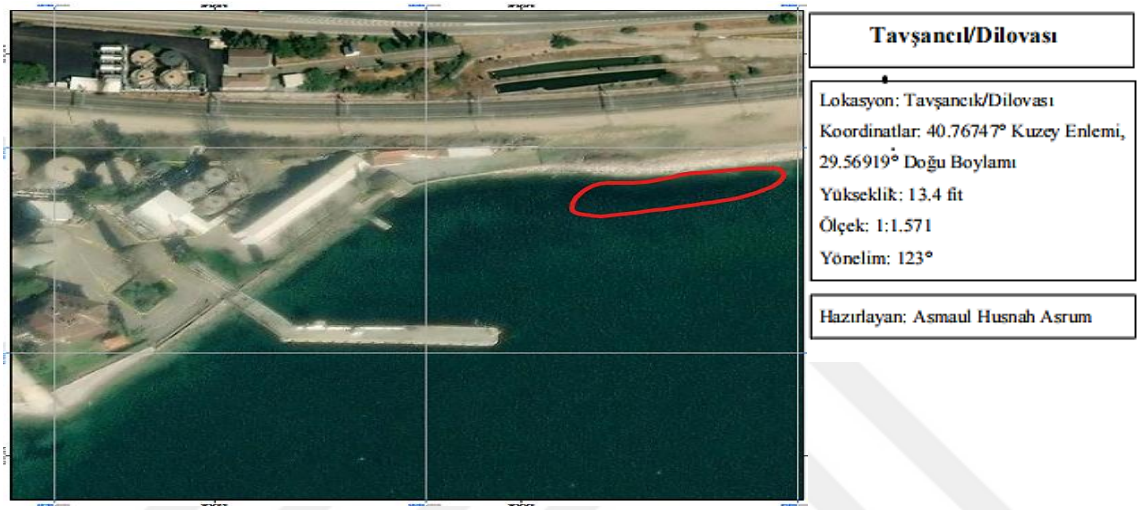


Şekil 3.1. İzmit Körfezi (Garipağaoğlu ve Uzun, 2014).

3.1.1. Tavşancıl Sahili

Araştırma istasyonu olarak seçilen 1. İstasyon (Tavşancıl sahili), Kocaeli'nin sanayi faaliyetlerinin en yoğun olduğu alana yakın olan bir bölgedir. Endüstriyel faaliyetler,

hava, kara ve su ekosistemine olumsuz etkiler oluşturmaktadır. 1. İstasyon şeridinde bulunan araştırma istasyonu rüzgerlara açık bir alan olup, genellikle dalgalıdır. Kıyı kesimlerinde irili ufaklı taşlar ve kayalar üzerinde *Mytillus galloprovincialis* Lamarck, 1819 türlerinin yaygın bulunduğu, taş yüzeylerinde makro alg türlerinin yayılışının mevcut olduğu, yerel halkın özellikle yaz aylarında plaj olarak kullandığı ve çevresinde yerleşim teri de bulunan bir alandır. Birinci istasyonun koordinatları N 40^0 40 03' kuzey ve E 029^0 34 12' doğu enlemlerinde yer almaktadır (şekil 3.2. ve şekil 3.3).



Şekil 3.2. Araştırma Alanı Uydu Görüntüsü (1. İstasyon)



Şekil 3.3. Araştırma sahası (1. İstasyon)

3.1.2. İzmit Sahili (Naile kafe önü)

Çalışma alanı, İzmit bölgesinde yer alan ve kıyı kesiminde 2. İstasyon (Naile kafe önü) olarak bilinen bir mekanın olduğu bölgedir. Bu bölgede, yerleşim yerleri, parklar ve diğer

sosyal alnlar mevcut olup, Dilovası gibi ağır sanayinin olduğu etkenler bulunmamaktadır. Örnekleme istasyonun yakınında kanal, köprü benzeri bir yapı bulunması, farklı kirleticilerin, denize ulaşabilme ihtimalini de güçlendirmektedir. Aynı zamanda, deniz ortamına sanayi kaynaklı atıklar, dalga, akıntı ve rüzgar hareketleriyle de taşınabilmektedir. Deniz içinde, yeşil ve kırmızı makro algler, deniz anaları, yengeç gibi canlılar hayati faaliyetlerini sürdürmektedir. Araştırma istasyonu, N 40^0 72 22' kuzey enlemi ve E 29^0 93 99' doğu boylamı koordinatlarında yer almaktadır (şekil 3.4. ve şekil 3.5.).



Şekil 3.4. Araştırma Alanı Uydu Görüntüsü (2. İstasyon)



Şekil 3.5. Araştırma sahası (2. İstasyon)

3.2. Arazi Örnekleme Çalışması

Araştırmada, İzmit Körfezi kıyı bölgesinde seçilen iki araştırma istasyonunda yaz (temmuz 2024) ve kış (Kasım 2024) olmak üzere örneklemeler yapılmıştır.

İstasyonlardan *Gracilaria* sp., *Ulva* sp., ve deniz suyu örnekleri kıyısal alanda yaklaşık 4 metrelik bir alan taranarak sistematik bir şekilde alınmıştır. *Gracilaria* sp., *Ulva* sp., örnekleri 250 ml.lik plastik kaplara, su örnekleri ise 1 litrelik koyu renkli şişelere alınarak laboratuvara götürülmüştür. Örnekleme sırasında, çözünmüş oksijen (O_2) miktarı, elektriksel iletkenlik değerleri, pH değerleri ve su sıcaklığı değerleri IQ 170 çoklu parametre ölçen cihaz ile arazide belirlenmiştir. Ağır metal değerlerinin belirlenmesi, oldukça hassas ve yüksek teknoloji gerektirdiği için, Kocaeli Üniversitemizin protokol yapmış olduğu, Kocaeli Büyükşehir Belediyesi İSU Genel Müdürlüğü'nün bünyesinde yer alan Uluslararası Merkez Laboratuvarı, Türk Akreditasyon Kurumu (TÜRKAK) tarafından akredite olan laboratuvarda analizler gerçekleştirilmiştir.

3.3. Ağır Metal Analizleri

İzmit Körfezinde yayılış gösteren makroalglerden, *Gracilaria* sp., *Ulva* sp., türleri ve deniz suyu örneklerinde ki, Toplam alüminyum (Al), toplam çinko (Zn), toplam demir (Fe) ve toplam kadmiyum (Cd) analizleri yapılarak, organzima ve su içindeki değerleri belirlenmiştir. Laboratuvara getirilen örneklerden makroalg örnekleri kurutulup ezilerek ince bir toz haline getirilmiş, deniz suyu ise asılı partiküllerden arındırılmak üzere filtrelenmiştir. Analizler için, ISO 11885:2007 (Su kalitesi- seçilmiş elementlerin tümevarımlı olarak bağlanmış plazma optic emisyon spektrometresiyle (ICP-OES) tayini yapılmıştır. Bu standart, yeraltı suyu, yüzey suyu, ham su, içme suyu ve atık su gibi farklı su türlerinde çözünmüş elementlerin, partiküllere bağlı elementlerin ve toplam element içeriğinin belirlenmesine yönelik bir yöntemi olarak tanımlamaktadır. Bu yöntem alüminyum, antimuan, arsenik, baryum, berilyum, bizmut, bor, kadmiyum, kalsiyum, krom, kobalt, bakır, galyum, indiyum, demir, kurşun, lityum, magnezyum, mangan, molibden, nikel, fosfor, potasyum, selenyum, silikon, gümüş, sodyum, stronsiyum, kükürt, kalay, titanyum, tungsten, vanadyum, çinko ve zirkonyum elementlerin analizlerini kapsamaktadır. Yöntem, atık sudaki partikül madde konsantrasyonlarının 2 g/L'nin altında olduğu durumlar için uygundur. Ayrıca, yöntem kapsamı diğer matrislere veya daha yüksek partikül madde miktarlarına genişletilebilir. ISO 11885:2007, çevresel su kalitesi analizlerinde geniş bir kullanım alanına sahip olup, özellikle endüstriyel kirliliğin izlenmesi ve su ekosistemlerinin korunması açısından önemli bir referans yöntemidir (URL- 4).

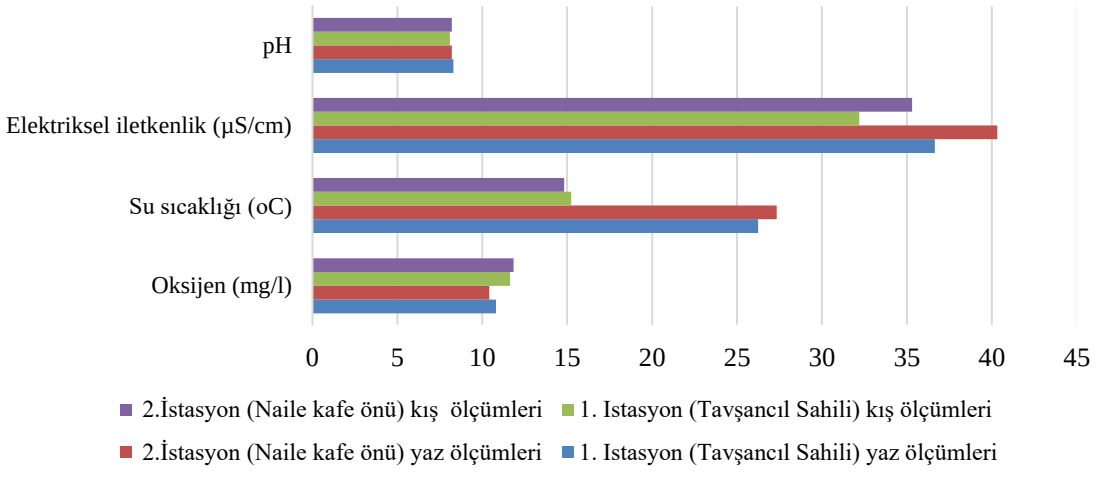
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. İstasyonlara Ait Bazı Fiziksel, Kimyasal Parametreler

Araştırma süresince, İzmit Körfezi'nde tüm istasyonlarda sıcaklık, mevsimlere göre düzenli olarak artış ve azalış göstermiştir. Su sıcaklığındaki tespit edilen farklılığın, seçilen istasyonların yerleşim yerine yakınlığı, dere akıntısı girişi, dalga durumu ve sanayi bölgesinde bulunmasına göre farklılık göstermiş olduğu düşünülmektedir. Her iki istasyonda ölçülen fiziksel ve kimyasal parametrelerinin birbirine yakın değerler sergilediği tespit edilmiştir. Yaz mevsiminde görülen yüksek sıcaklık değerlerine rağmen, oksijen seviyesinin de farklı bir düşüşün tespit edilememesi, kıyısal ortamdaki alglerin fotosentez faaliyetlerinden kaynaklanmış olabilmektedir. Istasyonlara ait fiziksel ve kimyasal parametreler, tablo 4.1. ve şekil 4.1.'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Araştırma İstasyonlarında Belirlenen Parametreler

İstasyonlar/Parametreler	**Oksijen (mg/l)**	**Su sıcaklığı (°C)**	**Elektriksel iletkenlik (µS/cm)**	**Ph**
1. İstasyon yaz ölçümleri	10,80	26,24	36,64	8,32
2.İstasyon yaz ölçümleri	10,42	27,33	40,32	8,21
1. İstasyon kış ölçümleri	11,63	15,23	32,20	8,13
2.İstasyon kış ölçümleri	11,84	14,82	35,31	8,22



Şekil 4.1. İstasyonların Yaz ve Kış Fiziko-Kimyasal Değerleri

4.2. Araştırma İstasyonlarında Belirlenen Bazı Ağır Metaller

Araştırmada, 1. İstasyon ve 2. İstasyonlarında, yaz (Temmuz 2024) ve kış (Kasım 2024) aylarındaki deniz suyu ve *Gracilaria* sp., ve *Entromorpha* sp. örneklerinde ki toplam alüminyum (Al), çinko (Zn), demir (Fe) ve kadmiyum (Cd) konsantrasyonları tespit edilmiştir. Analizler, TS EN ISO 11885 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

4.2.1. Yaz Dönemi (Temmuz 2024) Örneklerine Ait Ağır Metal Değerleri

Yüksek sanayi yoğunluğuna sahip 1. İstasyonunda, yüksek sanayi faaliyetleri, çevre üzerinde olumsuz etkiler yaratabileceği için, bu bölgedeki ağır metal birikimi ve su kirliliği düzeylerinin düzenli olarak izlenmesi gerekmektedir. *Gracilaria* sp. örneğinde, alüminyum (Al) 129,07 mg/L, çinko (Zn) 14,11 mg/L, demir (Fe) 152,64 mg/L olarak belirlenmiştir. *Ulva* sp. örneğinde daha düşük miktarda alüminyum 6,26 mg/L, çinko 2,33 mg/L ve demir 38,82 mg/L, olarak tespit edilmiştir. Deniz suyunda, alüminyum ve demir 0,75 mg/l, Zn değeri de 0,42 olarak belirlenmiştir. Kadmiyum (Cd) değeri ise, alınan tüm örneklerde, su kirliliği ve kontrolü yönetmeliği tablo 4.2'de verilen deniz suyunun genel kalite kriterlerine göre düşük olarak tespit edilmiştir (tablo 4.2).

Tablo 4.2. Yaz Dönemi Ağır Metal Değerleri (1. Istasyon)

Örnekler	**Al (**mg/L**)**	**Zn (**mg/L**)**	**Fe (**mg/L**)**	**Cd (**mg/L**)**
Deniz Suyu	0,75	0,42	0,75	0,04
Gracilaria sp.	129,07	14,11	152,64	0,04
Ulva sp.,	6,26	2,33	38,82	0,04

Sanayi faaliyetlerine ait yerleşimlerin daha az, evsel ve beşeri faaliyetlerin yüksek olduğu İzmit kıyı bölgesi 2. İstasyonunda, *Gracilaria* sp. örneğin de, alüminyum 127,60 mg/L ve çinko (Zn) 5,59 mg/L, demir (Fe) 161,43 mg/L, olarak belirlenmiştir. *Ulva* sp. örneğinde daha düşük miktarda alüminyum 90,24 mg/L, çinko 3,46 mg/L ve demir 103,62 mg/L olarak tespit edilmiştir. Deniz suyunda, alüminyum 0,70 mg/l, çinko 0,53 mg/l ve demir 0,53 mg/l, olarak belirlenmiştir. Kadmiyum (Cd) değeri ise, alınan tüm örneklerde, su kirliliği ve kontrolü yönetmeliği tablo 4.3'te verilen deniz suyunun genel kalite kriterlerine göre düşük olarak tespit edilmiştir (tablo 4.3).

Tablo 4.3. Yaz Dönemi Ağır Metal Değerleri (2. İstasyon)

Örnek	**Al (**mg/L**)**	**Zn (**mg/L**)**	**Fe (**mg/L**)**	**Cd (**mg/L**)**
Deniz Suyu	0,70	0,53	0,53	0,04
Gracilaria sp.	127,60	5,59	161,43	0,04
Ulva sp.,	90,24	3,46	103,62	0,04

4.2.2. Kış Dönemi (Kasım 2024) Örneklerine Ait Ağır Metal Değerleri

Kış döneminde yapılan örneklerin analizlerinde 1. istasyonunda, *Gracilaria* sp. örneğinde, alüminyum 59,39 mg/L, çinko 2,21 mg/L, demir 64,28 mg/L olarak belirlenmiştir. *Ulva* sp. örneğinde daha düşük miktarda alüminyum 0,62 mg/L, çinko 0,42 mg/L ve demir 1,98 mg/L, olarak tespit edilmiştir. Deniz suyunda, alüminyum ve çinko miktarları <0,05 mg/l, demir 33,19 mg/l, olarak belirlenmiştir. Kadmiyum değeri ise, alınan tüm örneklerde, su kirliliği ve kontrolü yönetmeliği tablo 4.4'te verilen deniz suyunun genel kalite kriterlerine göre düşük olarak tespit edilmiştir (tablo 4.4.).

Tablo 4.4. Kış Dönemi Ağır Metal Değerleri (1. İstasyon)

Örnekler	**Al (**mg/L**)**	**Zn (**mg/L**)**	**Fe (**mg/L**)**	**Cd (**mg/L**)**
Deniz Suyu	<0,05	<0,05	33,19	0,04
Gracilaria sp.	59,39	2,21	64,28	0,04
Ulva sp.,	0,62	0,42	1,98	0,04

Kış sezonunda, İzmit kıyı alanı 2. İstasyonunda yapılan analizlerde, her iki deniz yosunu türü ve deniz suyunun ağır metal konsantrasyonları arasında farklılıklar olduğu gösterilmiştir. Yapılan analizler, bölgedeki çevresel durumu ve su kirliliği potansiyelini değerlendirmek için önemlidir, ayrıca bölgenin ekosistem sağlığının korunması açısından kritik bilgiler sunmaktadır ve bölgedeki ağır metal kirliliği düzeylerini daha iyi anlamak açısından faydalıdır. *Gracilaria* sp. örneğinde, alüminyum 210,74 mg/L, çinko 3,42 mg/L, demir 176,51 mg/L, olarak belirlenmiştir. *Ulva* sp. örneğinde, alüminyum 134,9724 mg/L, çinko 7,74 mg/L ve demir 115,53 mg/L olarak tespit edilmiştir. Deniz suyunda, alüminyum ve çinko miktarları <0,05 mg/l, demir 0,59 mg/l, olarak belirlenmiştir. Kadmiyum değeri ise, alınan tüm örneklerde, su kirliliği ve kontrolü

yönetmeliği tablo 4.5'te verilen deniz suyunun genel kalite kriterlerine göre düşük olarak tespit edilmiştir (tablo 4.5).

Tablo 4.5. Kış Dönemi Ağır Metal Değerleri (2. İstasyon)

Örnek	**Al (**mg/L**)**	**Zn (**mg/L**)**	**Fe (**mg/L**)**	**Cd (**mg/L**)**
Deniz Suyu	<0,05	<0,05	0,59	0,04
Gracilaria sp.	210,74	3,42	176,51	0,04
Ulva sp.	134,97	7,74	115,53	0,04

4.2.3. Alüminyum Değerleri

Deniz suyunda bulunan alüminyum değerleri, çevresel etkilere göre farklılık göstermekle birlikte, oldukça yüksek olarak tespit edilmiştir (şekil 4.2 ve şekil 4.5). Alüminyum değeri, yaz mevsimi deniz suyu örneklerinde, 1. İstasyon 0,75 mg/L ve 2. İstasyonundaki deniz suyu örneğinde ise 0,70 mg/L olarak tespit edilmiştir. Her iki istasyonda da elde edilen veriler, su kirliliği ve kontrolü yönetmeliği, kitaiçi su kaynaklarinin sınıflarına göre değerlendirildiğinde, yönetmelikte belirtilen 0,3 mg/l den yüksek olduğu ve bu nedenle kalite kriterlerinin ikinci sınıftan, üçüncü kaliteye doğru bir geçiş sergilediği belirlenmiştir (URL-5).

İstayonlarda, su içindeki alüminyum miktarı ve makroalglerdeki alüminyum birikimi daha belirgin ve önemli ölçüde farklılık göstermektedir. Özellikle, 2. İstasyonundaki *Gracilaria* sp. örneğinde alüminyum konsantrasyonu 129,07 mg/L seviyelerine ulaşmışken, aynı lokasyondaki *Ulva* sp. örneğinde ise 90,243 mg/L alüminyum tespit edilmiştir. Bu bulgular, endüstriyel ve karasal kirleticilerin su ekosistemlerinde alüminyum ve diğer ağır metallerin birikimi üzerinde etkisini göstermektedir (Akgün ve diğ., 2007). Makroalglerin, özellikle de *Chara hispida*'nın sucul dokularında alüminyum birikimi, sucul ekosistemlerdeki alüminyum kirliliği seviyesini izlemek için bir biyobelirteç olarak kullanılma potansiyeline sahiptir (Rybak ve diğ., 2017). Kış dönemi su analizlerinde, 1. İstasyon deniz suyu, alüminyum konsantrasyonu 0,05 mg/L ve 2. İstasyondan alınan deniz suyunda da 0,05 mg/L olarak tespit edilmiştir. Kitaiçi su kaynaklarinin sınıflarına göre değerlendirildiği tablo değerlerinin (0.3 mg/L) oldukça altında olduğubelirlenmiştir. Makroalglerde tespit edilen alüminyum değeri, kış örneklerinde oldukça faklılık göstermiştir. 1. İstasyonunda, *Gracilaria* sp.'de alüminyum

konsantrasyonu 59,394 mg/L iken, 2. İstasyonunda, bu değer 210,747 mg/L'ye kadar yükselmiştir. Bu durum, özellikle endüstriyel faaliyetlerin etkisiyle alüminyum birikiminin daha yüksek olduğu lokasyonlarda daha belirgin hale geldiğini ve alüminyumun su ekosistemleri içindeki birikimini gösterecek bir biyomarker olarak rol oynayabileceğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, yüksek ağır metal seviyeleri, özellikle alüminyum, genellikle bölgedeki eutrofikasyon artışından kaynaklanmaktadır. Eutrofikasyon, su kütlesindeki besin maddeleri, özellikle azot ve fosfor seviyelerinin hızlı artışıyla karakterize edilen bir süreçtir ve aşırı alg büyümesine neden olur. Bu süreç, su kalitesinin düşmesine, oksijen seviyesinin azalmasına ve sucul yaşam üzerinde olumsuz etkilere neden olur. Yüksek azot ve fosfor genellikle ötrofikasyonun ana tetikleyicileridir ve bu süreç, alüminyum gibi ağır metallerin birikmesine yol açabilir.

Morkoç ve diğ., (2001) araştırmalarında, Karadeniz ve Akdeniz'den gelen su akışının İzmit Körfezi'nde iki katmanlı su tabakası oluşumuna ve bunun eutrofikasyon üzerindeki rolüne katkıda bulunduğunu açıklamıştır. Bu çalışmada, yazarlar İzmit Körfezi'ndeki su kalitesinin, azot ve fosfor gibi yüksek besin maddeleri içeren evsel ve endüstriyel atıkların birikmesinden büyük ölçüde etkilendiğini belirtmiştir. Bu maddeler alg büyümesini tetikleyerek su berraklığını azaltır, çözünmüş oksijen seviyesini düşürür ve su kalitesini bozar. Sonuç olarak, alüminyum dahil olmak üzere ağır metal konsantrasyonları daha fazla birikerek körfezin ekolojik koşullarını kötüleştirebilir. Bu araştırma ayrıca, uygun şekilde arıtılmayan endüstriyel atıkların sudaki ağır metal konsantrasyonlarını artırabileceğini göstermektedir. Bu nedenle, İstasyon 1 ve 2'de kaydedilen alüminyum konsantrasyonundaki artış, büyük olasılıkla bölgede meydana gelen eutrofikasyon fenomeniyle ilişkilidir. Bu fenomen, yüksek besin seviyeleri ve uygun şekilde arıtılmamış endüstriyel atıklardan kaynaklanmaktadır. Yapılan bir çalışmada, aşırı düzeyde Al birikiminin alglerde hücre hasarına neden olabileceği ve metabolizmayı bozabileceği, bunun da üretkenliğin azalmasına ve kirli sulardaki alglerin potansiyel kitlesel ölümüne yol açabileceği belirtilmiştir. (Macinnis-Ng ve Ralph, 2003).

4.2.4. Çinko Değerleri

Deniz suyu örneklerinde, çinko konsantrasyonlarının yaz mevsiminde 0,42 mg/L ile 0,53 mg/L arasında değişkenlik göstermektedir (şekil 4.2 ve şekil 4.5). Bu değerler, çevresel su kalite standartlarına göre orta seviyede kirlenmeyi işaret etmektedir ve su

ekosistemlerinde biyolojik süreçler üzerinde önemli bir etkiye sahip olan çinkonun toksik etkileri, yüksek konsantrasyonlarda daha belirgin hale gelmektedir (Kurniawan ve diğ., 2006). 1. istasyonunda, *Gracilaria* sp. örneğinde, 14,11 mg/L, 2. İstasyonunda aynı makroalgde çinko değeri 5,59 mg/L olarak tespit edilmiştir (şekil 4.6). Çinko değerinin sanayi tesislerine yakın olan lokasyonda yer almasından kaynaklamış olabileceği düşünülmektedir. Pekey ve diğ (2004) tarafından yapılan araştırma, endüstriyel atıkların yeterli arıtma yapılmadan su kaynaklarına deşarj edilmesinin, özellikle ağır metaller gibi tehlikeli atıklar üreten endüstriyel tesislerin yakınında, su ekosistemlerinde çinko birikimini artırabileceğini göstermektedir. Bu bulgular, bizim sonuçlarımla da tutarlıdır, çünkü endüstriyel tesislere daha yakın konumdaki İstasyon 1'de daha yüksek çinko konsantrasyonları tespit edilmiştir. Bu durum da, farklı çalışmalarda Bayar ve diğ., (2022) tespit edilmiş olup endüstriyel faaliyetlerin ve atık su deşarjlarının su ekosistemlerinde çinko birikimini arttırabileceğini ve bölgedeki endüstriyel kirliliğin su kalitesi üzerindeki etkisini net bir şekilde ortaya koymaktadır.

Kış mevsiminde yapılan analizlerde ise, her iki lokasyondaki deniz suyu örneklerinde çinko seviyelerinin <0,05 mg/L olarak belirlendiği görülmüştür. Bu değer, genel su kalitesinin iyi olduğu, ancak ekosistem seviyesindeki biyokümülasyon farklılıklarının dikkat çekici olduğu bir durumu işaret etmektedir. 2. İstasyonundaki *Ulva* sp. örneğinde 7,74 mg/L ve *Gracilaria* sp.'de 3,42 mg/L çinko birikimi tespit edilirken (şekil 4.6), 1. İstasyonunda aynı alg türlerinde bu değerler sırasıyla 0,42 mg/L ve 2,21 mg/L olarak belirlenmiştir. Kış mevsiminde her iki istasyonda çinko konsantrasyonunun azalması, İzmit Körfezi sularında çinko dağılımında mevsimsel bir döngü olduğunu gösterebilir. Bu durum, atık kaynaklarından gelen su karışımının azalması ve bu dönemde besin akışının azalmasıyla ilişkilidir. Bu bulgu, sıcaklık ve tuzluluk gibi diğer çevresel faktörlerin de makroalglerde çinko biyobirikim kapasitesini etkilediğini hatırlatmaktadır (Morkoç ve diğ, 2001). Bu bulgular da, endüstriyel faaliyetlerin yoğun olduğu bölgelerde, makroalglerin çinko biyokümülasyon kapasitesinin daha yüksek olduğunu ve çevresel faktörlerin bu süreçte önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Çinko birikimi, özellikle endüstriyel kirliliğin etkisiyle, su ekosistemlerinde kritik bir biyomarker olarak kullanılabilmektedir. Deniz ortamında Zn birikiminin uzun vadeli etkileri ekosistemin dengesini etkileyebilmekte ve alglerde biriken Zn değeri, besin zinciri yoluyla daha yüksek trofik seviyelere ulaşabilmektedir (Macinnis-Ng ve Ralph, 2003).

4.2.5. Demir Değerleri

Yaz mevsiminde yapılan örneklemelerde, *Gracilaria* sp.'deki demir değeri, 1. İstasyonunda 152,64 mg/L ve 2. İstasyonunda 161,43 mg/L olarak tespit edilmiştir. *Ulva* sp. örneğinde, 2. İstasyonunda 103,62 mg/L ve 1. istasyonunda 38,82 mg/l olarak belirlenmiştir (şekil 4.7). Bu yüksek konsantrasyonlar, makroalglerin demiri biyokonsantre etme kapasitesine ve deniz ekosistemlerinde demir gibi önemli besin maddelerini depolayabilen güçlü biyomarkerler olmalarından kaynaklanmaktadır. Demir, alglerin büyüme ve gelişimi için gerekli olan bir element olmasına rağmen, yüksek konsantrasyonlarda toksik etkiler yaratabileceğinden, bu elementin birikiminin çevresel etkilerinin dikkatle değerlendirilmesi gerekmekteği yapılan çalışmalarda da belirtilmektedir (Çelik ve Demir, 2019). Ayrıca, bu çalışmada endüstriyel kirliliğin demir birikimi üzerindeki etkisi de açıkça gözlemlenmiştir, özellikle sanayiye yakın lokasyonlarda makroalglerdeki demir birikiminin artış gösterdiği tespit edilmiştir.

Kış mevsiminde, deniz suyu örneklerinde yapılan ölçümlerde, demir seviyelerinde önemli farklılıklar tespit edilmiştir. 1. İstasyon deniz suyunda 33,19 mg/L, 2. İstasyonunda ise 0,59 mg/L olarak belirlenmiştir (şekil 4.2 ve şekil 4.5). Ancak, alglerdeki demir konsantrasyonları çok daha yüksek seviyelere ulaşmıştır. 2. İstasyonunda *Gracilaria* sp. örneğinde 176,51 mg/L ve *Ulva* sp. örneğinde 115,53 mg/L olarak belirlenirken, 1. İstasyon örneğinde, aynı türlerde bu değerler sırasıyla 64,28 mg/L ve 1,98 mg/L olarak tespit edilmiştir. Bu bulgular, endüstriyel faaliyetlerin yoğun olduğu bölgelerde, alglerin çevresel faktörlerden (özellikle endüstriyel kirleticiler) etkilenerek daha yüksek demir birikimine eğilimli olduğunu ve bunun ekosistem sağlığı üzerindeki olası etkilerini ortaya koymaktadır. Sularda yüksek Fe birikimi, deniz ekosistemlerinde, mikrolaglerin aşırı çoğalamasına yol açarak, biyoçeşitliliğe ve genel ekosistem sağlığına zarar verebilir (Kolaříková ve diğ., 2012). İzmit Körfezi'ndeki endüstriyel kirlilik, su ekosistemindeki demir konsantrasyonunu artırabilir, bu da durumu daha da kötüleştirebilir ve deniz ekosisteminin dengesini bozabilir (Aktan ve Aykulu, 2005).

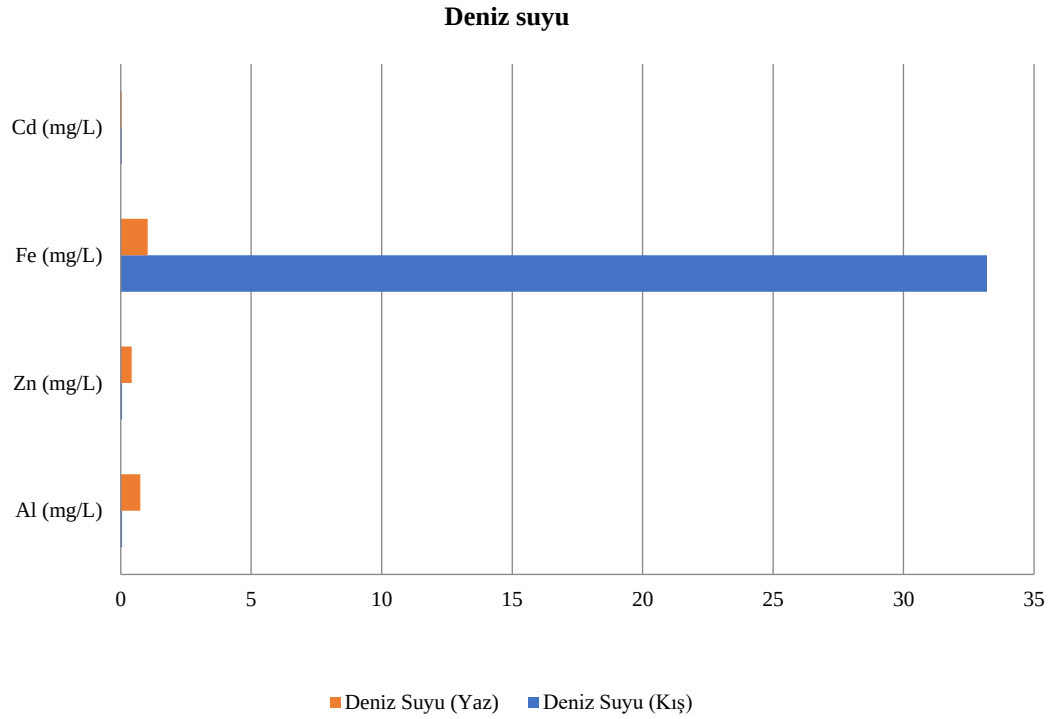
4.2.6. Kadmiyum Değerleri

Yaz ve kış mevsimlerinde yapılan analizler, tüm numunelerin, özellikle deniz suyu numunelerinin, minimum sınırın üzerinde kadmiyum ağır metali içerdiğini göstermiştir.

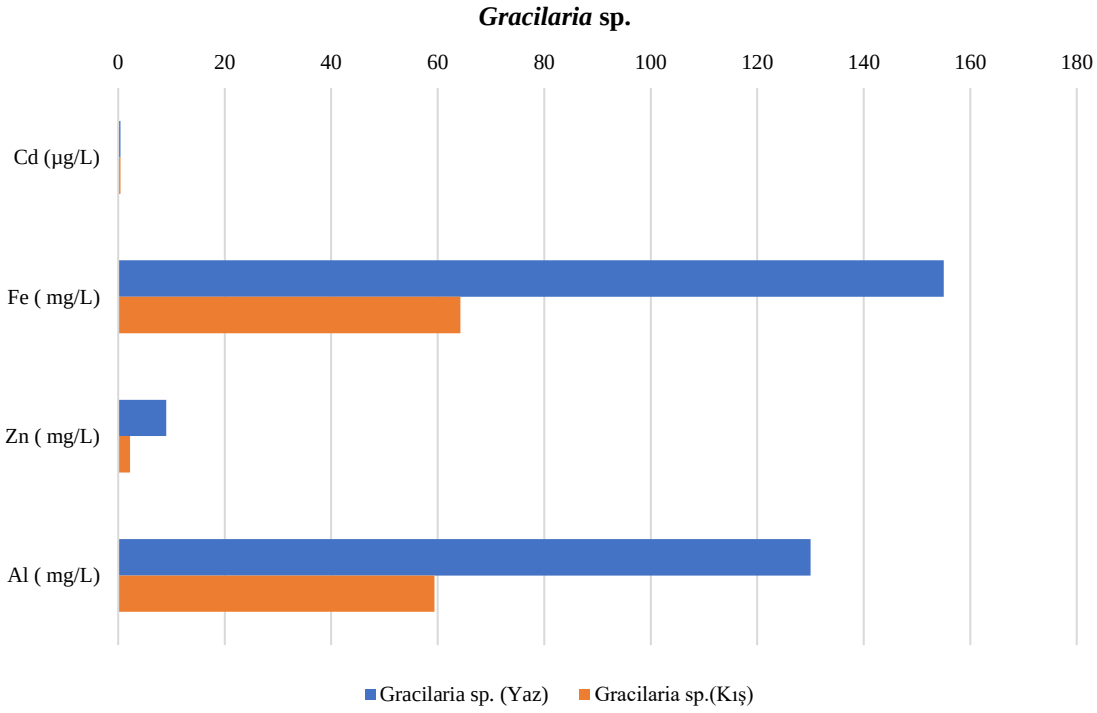
Analiz sonuçları 0,4 mg/L değerini vermektedir (şekil 4.2-4.7). Bu sonuçlar, deniz suyu numunelerinde kadmiyum birikiminin çok yüksek olduğunu göstermektedir. Kadmiyum, su ekosistemlerinde toksik etki yaratabilen bir metal olmasına rağmen, bu çalışmada yüksek kadmiyum konsantrasyonları, endüstriyel kirliliğin su ekosistemleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

Pekey ve diğ (2004) araştırmalarında, endüstriyel atıkların neden olduğu su kirliliğinin İzmit Körfezi'ndeki sularda kadmiyum dahil olmak üzere ağır metal birikimine yol açtığını belirtmişlerdir. Bu durum, yüksek kadmiyum konsantrasyonlarının gerçekten endüstriyel kirlilikten etkilendiğini ve endüstriyel kirliliğin su kalitesi üzerindeki ciddi etkilerinin bir göstergesi olabileceğini göstermektedir. Ancak, düşük konsantrasyonlarda kadmiyum diğer ağır metallerle aynı doğrudan etkiye sahip olmayabilir, ancak burada bulunan yüksek konsantrasyonlarda deniz ekosistemleri için çok zararlı etkiler yaratabilir. Kadmiyum gibi yüksek ağır metal seviyeleri, bölgedeki azot ve fosfor kirliliğiyle ilişkili eutrofikasyonun artmasından kaynaklanıyor olabilir. Bu kirlilik, endüstriyel atıkların ve tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan atıkların suya karışması sonucu meydana gelir. Eutrofikasyon, azot ve fosfor kirliliğinin neden olduğu bir süreçtir ve su kalitesini bozar, özellikle kadmiyum olmak üzere ağır metallerin su ekosistemlerinde birikmesini hızlandırır. Eutrofikasyon, aşırı alg büyümesi'ne neden olur, bu da sudaki çözünmüş oksijen seviyesini azaltır ve deniz organizmalarındaki ağır metal konsantrasyonunu artırır (Morkoç ve diğ., 2001). Bu, İzmit Körfezi'nde, özellikle yüksek miktarda azot ve fosfor içeren endüstriyel atıkların etkilediği bölgelerde kadmiyum birikiminin nasıl artabileceğini açıklamaktadır.

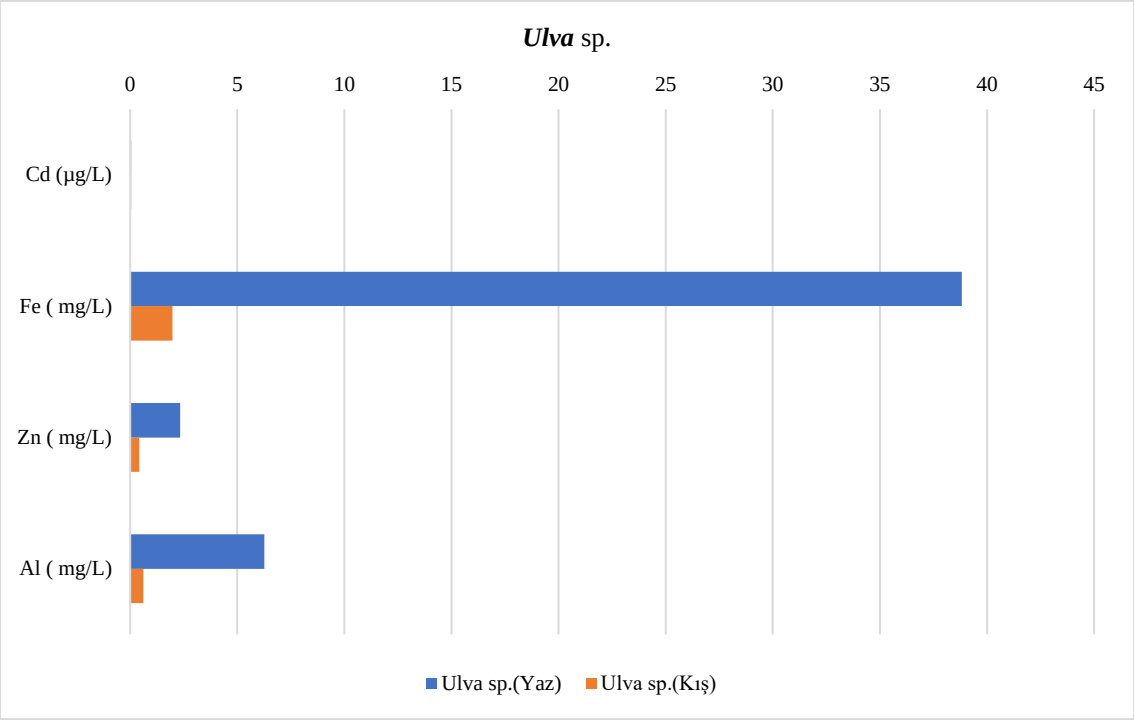
Bu birikim, yalnızca ekosistemler için değil, aynı zamanda insan sağlığı için de potansiyel tehlikeler oluşturabilir. Kadmiyum, deniz organizmalarında biriktiğinde, bu organizmaların tüketimiyle insanlara geçebilir ve bu durum gıda zinciri üzerinden sağlık riski oluşturabilir. Eutrofikasyon sürecinin hızlanması, su altı yaşamını daha da tehdit edebilir. Bu bağlamda, deniz suyu ekosistemlerinde kadmiyum birikimini azaltmak için endüstriyel atıkların daha etkili bir şekilde işlenmesi ve su kirliliği denetimlerinin güçlendirilmesi gerekmektedir. Bu tür önlemler, su kalitesinin korunmasına yardımcı olurken, ekosistem sağlığını da sürdürülebilir şekilde iyileştirebilir.



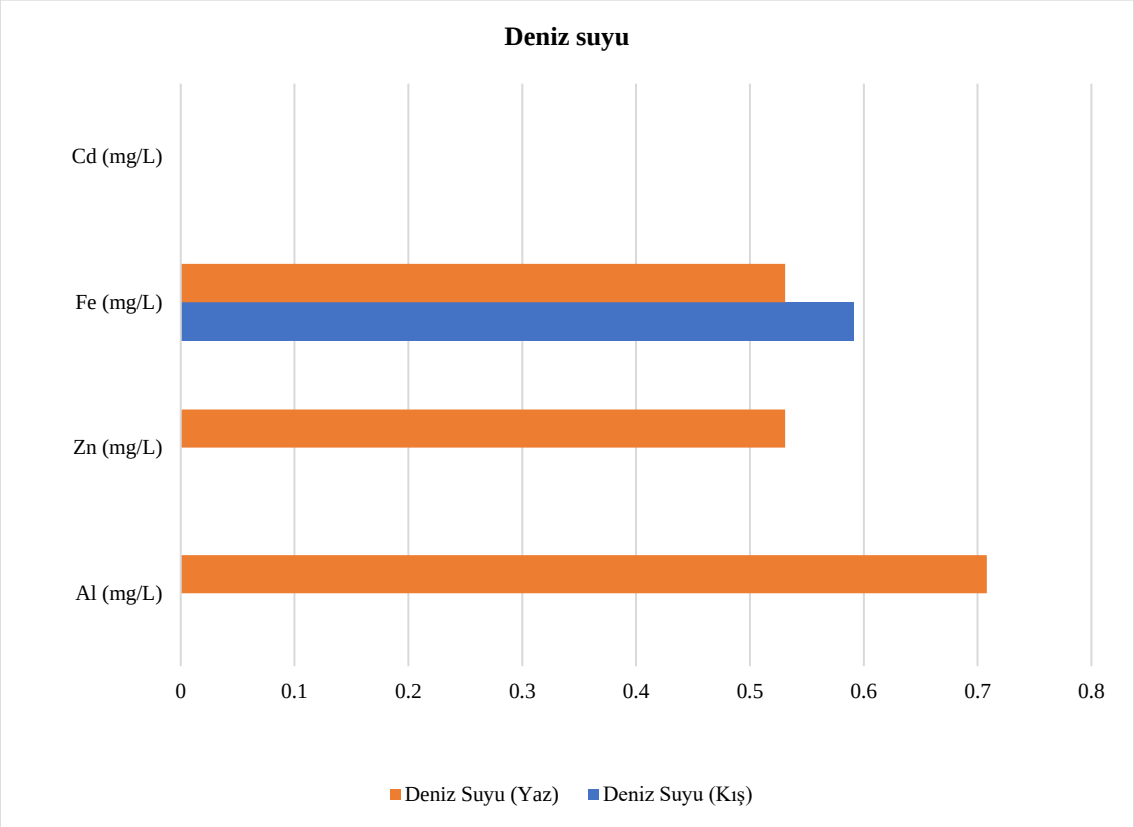
Şekil 4.2. Yaz ve Kış Deniz Suyu Ağır Metal Değerleri (1. İstasyon)



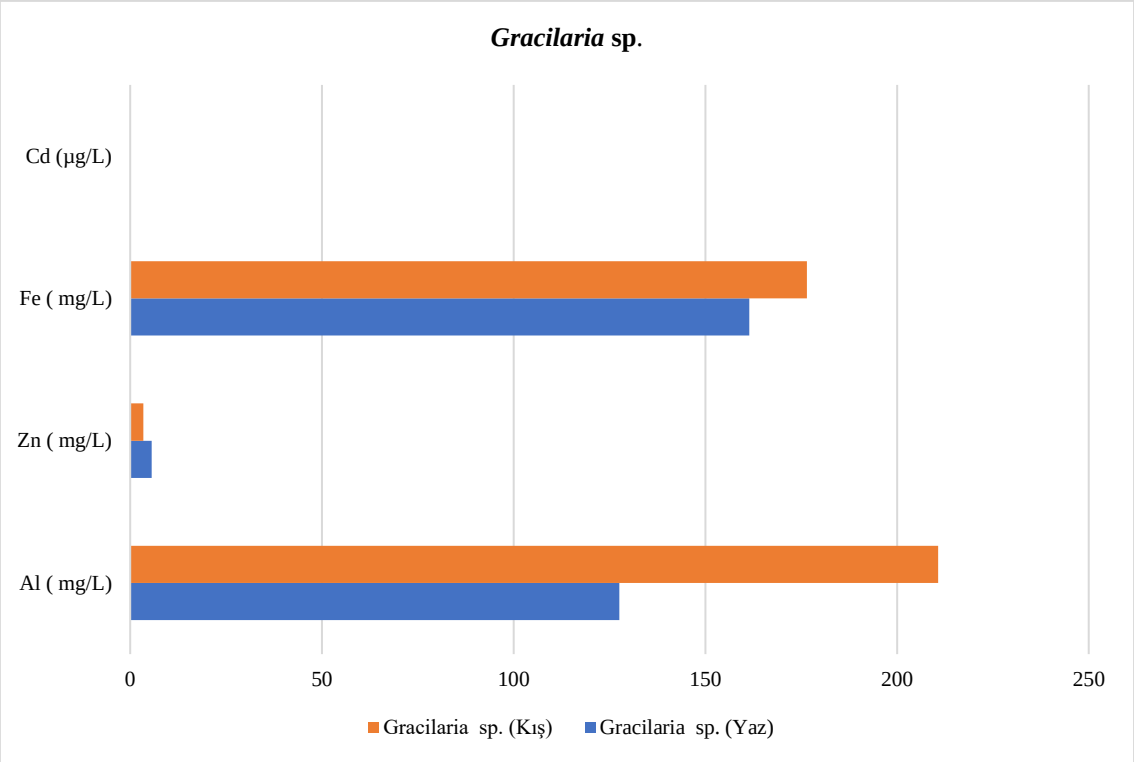
Şekil 4.3. Yaz ve Kış *Gracilaria* sp. Ağır Metal Değerleri (1. İstasyon)



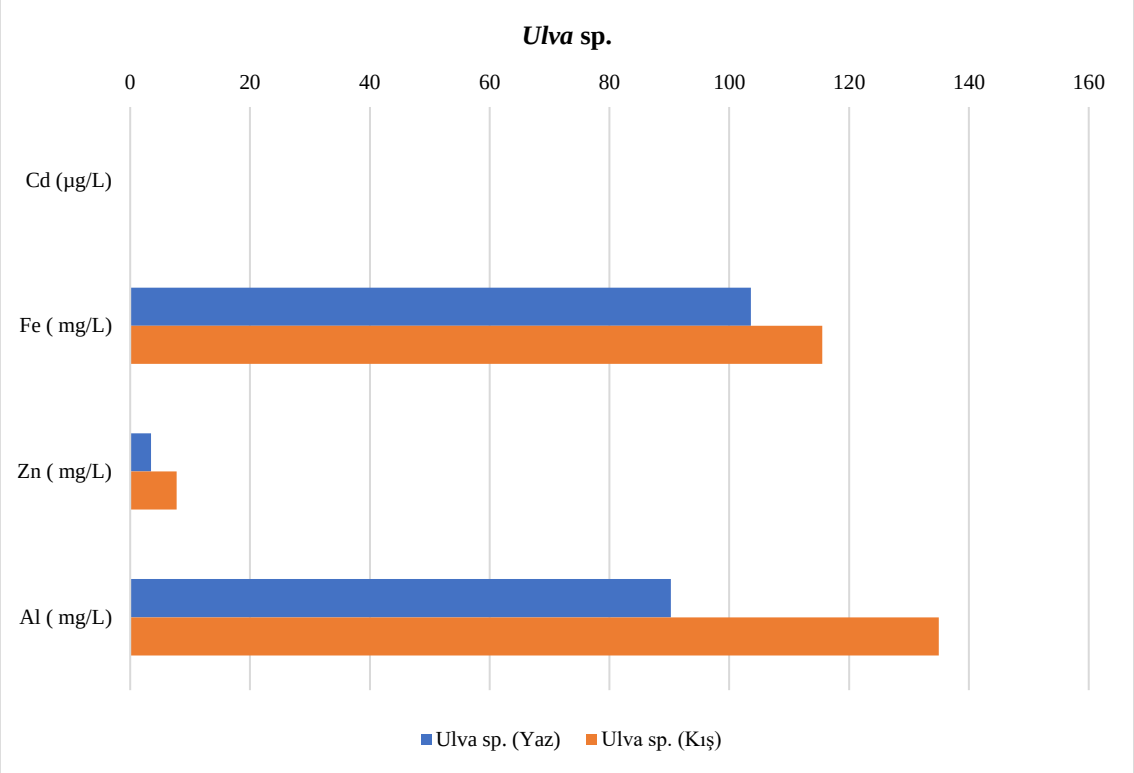
Şekil 4.4. Yaz ve Kış *Ulva* sp. Ağır Metal Değerleri (1. İstasyon)



Şekil 4.5. Yaz ve Kış Deniz Suyu Ağır Metal Değerleri (2. İstasyon)



Şekil 4.6. Yaz ve Kış *Glacilaria* sp. Ağır Metal Değerleri (2. İstasyon)



Şekil 4.7. Yaz ve Kış *Ulva* sp. Ağır Metal Değerleri (2. İstasyon)

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Makro Algler

Bu çalışmada, İzmit Körfezinde yer alan, Dilovası gibi, ağır sanayinin yakınında bulunan 1. İstasyon ve İzmit şehir alanında bulunan 2. İstasyon gibi daha çok evsel atık yükü baskısında kalan ekosistemin deniz suyu ve makroalg örneklerinde ki ağır metal yükünü belirlemek ve sistemler arası değerlendirme yapılması hedeflenmiştir.

Yaz mevsiminde elde edilen veriler, her iki lokasyondaki su kalitesinin ve ağır metal birikiminin farklı seviyelerde olduğunu açıkça ortaya koymuştur. 1. İstasyon, sanayi faaliyetlerinin yoğun olduğu bir bölge olarak, alüminyum, çinko ve demir gibi ağır metallerin birikiminin daha yüksek olduğu bir alan olarak belirlenmiştir. Buna karşın, 2. İstasyon, sanayi etkilerinden uzak bir lokasyon olup burada ağır metal seviyelerinin genel olarak daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, bölgesel sanayi faaliyetlerinin çevresel etkilerini ve ağır metal birikimindeki farklılıkları göstermektedir. Yaz mevsiminde, her iki lokasyondaki deniz suyu örneklerinde alüminyum (Al) ve kadmiyum (Cd) seviyeleri yüksek bulunmuştur. Stasyon 1'deki yüksek seviyeler, özellikle endüstriyel faaliyetlerin etkisiyle suya karışan atıklardan kaynaklanmaktadır. Yaz mevsiminde sıcaklıkların artması, suyun buharlaşmasına yol açarak ağir metallerin daha yoğun birikmesine neden olmuştur. Ayrıca, bölgede yaz mevsimlerinde bölgesel olarak yaşanan azot ve fosfor oranlarına bağlı ötrofikasyon yükünün, özellikle istasyon 1'deki ağır metal birikimini artıran ekolojik faktörleri etkilemiş olduğu düşünülmektedir. Ötrofikasyon, su ekosistemlerinde besin maddelerinin aşırı birikmesi sonucu aşırı alg çoğalmalarına yol açarak, fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlerin hızlanmasına neden olarak, olumsuzluklara neden olabilmektedir. Araştırmada, 2. istasyon olarak seçilen bölgede, yerel kirlilik kaynaklarının etkisiyle alüminyum ve kadmiyum seviyelerinin yüksek olduğu ancak, bölgede sanayi etkilerinin daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Araştırmada, her iki istasyonda da, alüminyum (Al) ve kadmiyum (Cd) seviyeleri benzer bulunmuştur. Bu durum, sadece sanayi faaliyetlerinin değil, aynı zamanda yerel çevresel faktörlerin ve biyolojik birikimin etkisiyle açıklanabilir.

Kış mevsiminde yapılan analizlerde, deniz suyu örneklerinde nispeten düşük seviyelerde ağır metal tespit edilmesine karşın, alglerin bu metallerin biyolojik birikimini önemli

ölçüde gerçekleştirdiğini ortaya koymaktadır. Çalışmada incelenen ağır metallerin (Alüminyum, çinko, demir ve kadmiyum) alglerdeki konsantrasyonu, hem alg türlerine hem de lokasyona bağlı olarak farklılıklar göstermiştir. Özellikle, kırmızı alg türü olan *Gracilaria* sp.ve yeşil alg türü *Ulva* sp. türlerinde, alüminyum, çinko ve demir gibi metaller farklı düzeylerde birikim sergilemiştir. 1. istasyonunda alüminyum ve demir değerleri, 2. istasyonuna kıyasla daha düşük oranlarda tespit edilirken, 2. İstasyonunda bu metallerin alglerdeki biyokümülasyonu daha yoğun bir şekilde belirlenmiştir. Bu durum, sanayi kirliliğinin ve yerel ekosistem şartlarının dalga hareketleriyel, farklı noktalara ulaşmasından kaynaklanabileceği gibi, alglerin bu metal türlerine karşı biyolojik tepkileriyle de ilişkilendirilebilir. Bu bulgular, sanayi kaynaklı kirliliğin çevresel etkilerini anlamada ve alglerin biyolojik izleme aracı olarak potansiyelini değerlendirmede kritik bir rol oynamaktadır. Bu çalışmanın bulgularına göre, makroalgler, özellikle *Gracilaria* sp. ve *Ulva* sp. su ekosistemlerinde ağır metal birikimini gösterebilen etkili biyolojik göstergeleri olarak işlev görmektedir. Yapılan çalışmalarda da, makroalglerin sucul ekosistemlerde ki kirleticileri biyokonsantre etme kapasitesinin yüksek olduğu ve çevresel kirleticileri izlemek için potansiyel biyolojik göstergeler olarak kullanılabileceği belitilmiştir (Bayar et al., 2022). Makroalgler, ağır metal, su kalitesi ve ekosistemin trofik durumlarını değerlendirmek için önemli bir unsur olarak kullanılmaktadır. Çelik ve Demir (2019) tarafından yapılan bir çalışmada, yaz mevsimine bağlı su sıcaklığının, yüksek metal birikimi, alglerin gelişiminde olumsuz etkilere yol açtığı ve bu nedenle, ekosistemindeki besin zincirinin de olumsuz etkilendiği bildirilmiştir. Bu durum, deniz ekosistemlerinde toksik maddelerin birikmesini hızlandırarak biyolojik çeşitliliğin azalmasına yol açabilmektedir. Bu bulgular, sanayi kaynaklı kirliliğin su ekosistemlerinde potansiyel tehditlerini ve alglerin biyoindikator olarak kullanımının önemini vurgulamaktadır. Alüminyum, demir ve çinko gibi elementler, alglerin metabolik fonksiyonlarına etki ederek fizyolojik değişikliklere neden olabilir. Demir ve çinko, alglerin gelişimi için gerekli olmasına rağmen, aşırı miktarlarda birikimi toksik etkilere yol açabilir. Bu nedenle, bu metallerin biyokümülasyonunun izlenmesi, su ekosistemlerinin sağlığını değerlendirme açısından büyük önem taşımaktadır.

Kadmiyum (Cd), doğada esansiyel olmayan ancak yüksek toksisiteye sahip ağır metallerden biridir. Bu elementin sucul ortamda bulunması, özellikle birincil üreticiler

olan algler üzerinde ciddi biyolojik etkiler oluşturabilmektedir. Algler, Cd'yi doğrudan çevresel ortamdan emilim yoluyla alır; ancak biyokümülasyon düzeyi, türün fizyolojik yapısı, çevresel pH, sıcaklık ve Cd'nin kimyasal formuna bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Wang ve Dei, 2001). Çalışmamızda *Gracilaria* sp. ve *Ulva* sp. türlerinde Cd birikimi düşük seviyelerde bulunmuştur. Bu durum, bu türlerin Cd'ye karşı spesifik tolerans geliştirmiş olabileceğini veya çevresel Cd formlarının biyoyararlanabilirliğinin sınırlı olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde, *Ulva lactuca* üzerinde yapılan bir çalışmada da düşük Cd birikiminin, metalin çevresel koşullara bağlı olarak alınabilirliğinin değişmesinden kaynaklandığı belirtilmiştir (Mamboya et al., 2003). Cd'nin alg hücrelerinde yarattığı başlıca etki, fotosentez sürecinin baskılanması ve klorofil sentezinin inhibisyonudur (Liu ve diğ., 2008). Bu durum, alglerin büyüme oranlarında azalma, yapısal bozulma ve fizyolojik fonksiyon kaybına neden olmaktadır. Ayrıca kadmiyum, reaktif oksijen türleri (ROS) üretimini artırarak hücrede oksidatif strese yol açar; bu da lipid peroksidasyonu, protein denatürasyonu ve DNA hasarına neden olabilir (Stohs ve Bagchi, 1995). Algler bu toksik etkilere karşı metallotioneinler, fitokelatinler ve antioksidan enzimler (ör. süperoksit dismutaz, peroksidaz) üretimi ile savunma mekanizmaları geliştirir (Gupta ve Rastogi, 2008; Wei ve diğ., 2021). Dolayısıyla, Cd'nin alg dokularında düşük seviyelerde tespit edilmesi, metalin ekosistem üzerindeki etkisinin önemsiz olduğu anlamına gelmemelidir. Kronik maruziyet veya çevresel stres faktörlerinin varlığında, Cd'nin algler üzerinde subletal etkiler gösterebileceği ve hücresel düzeyde uzun vadeli bozulmalara neden olabileceği dikkate alınmalıdır (Bryan, 1976). Bu bağlamda, makroalglerin Cd'ye karşı verdikleri fizyolojik yanıtlar**,** çevresel izleme programlarında biyolojik indikatör olarak kullanılma potansiyellerini ortaya koymaktadır. Ayrıca bu organizmalar, belirli metallerin uzaklaştırılmasında biyoremediasyon ajanı olarak değerlendirilebilecek niteliktedir (Rai ve diğ.,1981; Zbikowski ve diğ., 2007).

5.2. Çevresel Etkiler

Sanayi bölgesine yakın konumda bulunan 1. araştırma istasyonunda ağır metal konsantrasyonlarının yüksek bulunmasında, yalnızca bölgedeki yoğun sanayi faaliyetlerinin değil, aynı zamanda dalga hareketleri, deniz ve kara taşımacılığına bağlı ulaşım faaliyetleri gibi çoklu çevresel faktörlerin de etkili olduğu düşünülmektedir.

Özellikle yaz mevsiminde sıcaklık artışı ve pH değişimleri**,** ağır metallerin çözünürlüğünü artırarak su kolonu içerisindeki biyoyararlanabilirliğini etkilemektedir (Fritioff ve diğ., 2005). Bu durum, ağır metallerin çevreye daha aktif bir şekilde dağılmasına ve sucul organizmalar tarafından daha kolay alınmasına neden olabilmektedir. Buna karşılık, İzmit yerleşim bölgesine yakın olan ve sanayi etkilerinden görece uzak bir konumda yer alan 2. istasyonda deniz suyundaki ağır metal konsantrasyonlarının düşük seviyelerde olması, sanayi kaynaklı doğrudan girişin sınırlı olduğunu göstermektedir. Ancak aynı istasyonda, kıyısal alanda toplanan makroalglerde ağır metal düzeylerinin yüksek bulunması**,** bu bölgede su sirkülasyonunun zayıf olması ve diğer yayılı kaynaklardan gelen kirleticilerin uzun süre sistemde kalmas**ı**yla açıklanabilir. Söz konusu koşullar altında, makroalgler kirleticileri zamanla absorbe ederek bünyelerinde biriktirmiş olabilirler. Bu bulgular, ekosisteme farklı yollardan taşınan ağır metallerin, uzun vadede hem su kalitesinde bozulmaya hem de biyolojik çeşitlilikte azalmaya neden olabileceğini ortaya koymaktadır. Yapılan farklı çalışmalarda da, benzer sonuçlar rapor edilmiştir (Öztürk ve diğ.,2021; Kurniawan ve diğ.,2006). Her iki istasyonda da sadece sanayi faaliyetleri değil, aynı zamanda yerel ve yayılı kirlilik kaynaklarının da ağır metal birikimi üzerinde etkili olduğu gözlemlenmiştir. Bu bağlamda, çalışmanın bulguları sanayi kaynaklı doğrudan etkilerin yanı sıra, yerel çevresel koşulların ve insan faaliyetlerinin de ekosistem sağlığı üzerindeki etkilerinin sistematik olarak izlenmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Kıyı ekosistemlerinde ağır metal birikiminin neden-sonuç ilişkileri ile birlikte değerlendirilmesi, sürdürülebilir çevre yönetimi açısından kritik öneme sahiptir.

5.3. Ekosistem ve Toplum Üzerindeki Etkileri

Ağır metal birikimi, sucul ekosistemlerin bütünlüğünü ve işleyişini ciddi biçimde tehdit eden önemli bir çevresel sorundur. Bu kirlilik türü, ekosistem bileşenleri arasında bozucu etkilere yol açarak, ekolojik dengenin sürdürülebilirliğini riske atmaktadır. Yaz mevsimine ait bulgular, özellikle endüstriyel faaliyetlerin yoğunlukla gerçekleştiği bölgelerde ağır metal konsantrasyonlarının yüksek olduğunu ortaya koymuştur. Bu durumun, su kalitesini olumsuz etkileyerek sucul organizmaların yaşam koşullarını zorlaştırdığı ve biyolojik çeşitlilik üzerinde baskı oluşturduğu belirlenmiştir. Ağır metallerin ekosistemlerde birikimi yalnızca sucul canlıları değil, aynı zamanda bu

ekosistemden doğrudan ya da dolaylı biçimde yararlanan yerel insan topluluklarını da etkilemektedir. Kirlenen su kaynakları, bir yandan bölgedeki sucul biyoçeşitliliği tehdit ederken, diğer yandan içme suyu teminini, balıkçılık faaliyetlerini ve su ürünleri tüketimini doğrudan etkileyerek yerel ekonomiyi zayıflatmakta ve halk sağlığı açısından ciddi riskler oluşturmaktadır. Bu bağlamda, çevresel kirleticilerin etkin bir biçimde kontrol altına alınması yalnızca ekosistem sağlığının korunması açısından değil, aynı zamanda yerel toplulukların yaşam kalitesinin sürdürülebilirliği bakımından da kritik öneme sahiptir. Kış mevsiminde gerçekleştirilen analizler, ağır metal birikiminin yalnızca dönemsel değil, aynı zamanda sürekli nitelikte olduğunu göstermektedir. Bu metallerin, besin zinciri aracılığıyla alt trofik düzeydeki organizmalardan daha üst düzey trofik organizmalara taşınarak yayılım gösterdiği tespit edilmiştir. Özellikle, makroalglerin ağır metalleri bünyelerinde biriktirme kapasitesi dikkate alındığında, söz konusu kirliliğin ekosistem bileşenleri arasında yayılma riski daha da artmaktadır. Ağır metal kirliliği, yalnızca doğrudan maruz kalan sucul organizmalar üzerinde toksik etkilere yol açmakla kalmayıp, bu organizmalarla beslenen diğer türler üzerinde de biyomagnifikasyon yoluyla olumsuz etkilere neden olabilmekte; nihayetinde insan sağlığı üzerinde de ciddi tehditler oluşturabilmektedir. Bu çerçevede, ekosistem sürekliliğinin sağlanabilmesi ve halk sağlığının korunabilmesi amacıyla hem endüstriyel atıkların hem de bölgesel yayılı kirlilik kaynaklarının minimize edilmesi büyük bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır. Sonuç olarak, sucul ekosistemlerin korunması ve etkili biçimde yönetilebilmesi için; çevresel izleme ve değerlendirme stratejilerinin geliştirilmesi, makroalglerin biyoindikatör organizmalar olarak kullanılması, sanayi kaynaklı atıkların sürdürülebilir biçimde denetlenmesi, çevresel farkındalık eğitimlerinin yaygınlaştırılması ve bölge halkı ile yerel yönetimlerin bu süreçlere aktif katılımının sağlanması büyük önem taşımaktadır. Bu bütüncül yaklaşım, uzun vadede hem ekosistem sağlığının korunmasına hem de çevresel kirliliğin azaltılmasına yönelik etkili ve sürdürülebilir çözümler üretilmesini mümkün kılacaktır.

6. ÖNERİLER

Bu çalışma, İzmit Körfezi kıyısında yer alan iki araştırma istasyonunda, yaz ve kış mevsimlerinde gerçekleştirilen ağır metal birikimi analizlerine dayanmaktadır. Araştırma bulguları, kıyı deniz ortamlarının izlenmesinde özellikle ağır metal birikimine yönelik stratejik yaklaşımlar geliştirilmesine olanak sağlamaktadır. Elde edilen veriler, hem deniz suyunda hem de biyoindikatör organizma olarak değerlendirilen makroalglerde mevsimsel (yaz/kış) ve mekânsal (istasyonlar arası) düzeyde anlamlı farklılıklar olduğunu ortaya koymuştur. Bu bulgular, daha bütüncül, ekosistem temelli ve entegre bir deniz suyu izleme yaklaşımının gerekliliğini vurgulayan önemli bir temel teşkil etmektedir. Çalışmanın temel sonuçlarından biri, makroalg dokularındaki ağır metal konsantrasyonlarının (özellikle Alüminyum, Demir, Çinko ve Kadmiyum), çevredeki deniz suyunda ölçülen konsantrasyonlara kıyasla oldukça yüksek seviyelerde olmasıdır. Bu durum, *Gracilaria* sp. ve *Ulva* sp. gibi makroalg türlerinin yüksek biyobirikim kapasitesine sahip olduğunu göstermektedir. Özellikle yaz mevsiminde, *Gracilaria* sp. türünde Al ve Fe konsantrasyonları 100 mg/L'nin üzerine çıkmıştır. Buna karşın, aynı istasyondan elde edilen deniz suyu örneklerinde bu elementlerin çok daha düşük seviyelerde olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, geleneksel su kalite izleme yaklaşımlarının yetersizliğine işaret etmekte; yalnızca su sütununda yapılan analizlerle tespit edilemeyen kirlilik potansiyelinin makroalg dokularında açıkça ortaya çıktığını göstermektedir. Benzer şekilde, kış mevsiminde 2. istasyondan toplanan *Gracilaria* sp. örneklerinde Al konsantrasyonu 210,74 mg/L'ye kadar ulaşmış; buna karşın aynı dönemde deniz suyundaki Al düzeyi cihazın tespit sınırının (<0,05 mg/L) altında kalmıştır. Bu belirgin fark, ağır metallerin biyotik dokularda kronik olarak birikebileceğini ve su parametrelerine dayalı izleme yöntemleriyle bu birikimin doğrudan tespit edilemeyeceğini göstermektedir. Dolayısıyla, makroalglerin biyoindikatör olarak kullanılması, ağır metal kirliliğinin izlenmesinde vazgeçilmez bir izleme bileşeni olarak değerlendirilmelidir. Araştırma kapsamında değerlendirilen iki istasyon özelinde, ağır metal konsantrasyonlarındaki farklılıklar, her bir lokasyonun çevresel karakteristikleri ile doğrudan ilişkilidir. Yerleşim ve evsel atık baskısının yoğun olduğu 2. istasyonda, 1. istasyona kıyasla bazı metallerin daha yüksek seviyelerde biriktiği gözlemlenmiştir. Ayrıca, mevsimsel farklılıkların da makroalglerde ağır metal birikimini etkilediği belirlenmiştir. Özellikle yaz aylarında, artan sıcaklık, pH değişimleri ve ötrofikasyon gibi

faktörlerin etkisiyle Al ve Fe gibi metallerin biyolojik dokularda birikimi artış göstermektedir. Bu durum, su kalitesinin mevsimsel dinamiklerle birlikte değerlendirilmesi gerektiğini ve izleme çalışmalarında zamansal varyasyonların dikkate alınmasının önemini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, çalışmanın temel önerisi; fizikokimyasal su parametrelerinin yanı sıra, biyolojik göstergelerin entegre edildiği çok bileşenli izleme stratejilerinin geliştirilmesidir. Makroalglerin biyolojik izleme aracı olarak kullanılması, hem daha uzun süreli metal maruziyetlerini yansıtması hem de sucul ortamdaki kirlilik seviyeleri hakkında daha temsili bilgi sağlaması açısından büyük avantaj sunmaktadır. Biyotik dokularda biriken metallerin analiz edilmesi, potansiyel kirletici kaynakların dolaylı olarak belirlenmesine de olanak tanımaktadır. Bu yaklaşım, ağır metal kirliliğinin yalnızca anlık durumu değil, aynı zamanda uzun vadeli etkilerini de değerlendirebilme açısından geleneksel yöntemlere kıyasla daha kapsamlı bir bakış açısı sunmaktadır. Araştırma bulguları, mevcut su kalite sınıflandırma sistemlerinin yeniden gözden geçirilmesi gerektiğini açıkça ortaya koymaktadır. Her ne kadar deniz suyu örneklerinde ölçülen metal konsantrasyonları mevcut yasal standartların altında olsa da, biyotik organizmaların dokularında biriken metaller, özellikle trofik transfer yoluyla sucul besin ağı üzerindeki etkileri açısından ciddi ekolojik riskler doğurmaktadır. Bu nedenle, su kalitesi değerlendirmelerinde yalnızca su parametrelerine değil, aynı zamanda biyolojik birikim göstergelerine dayalı bütünsel yaklaşımlar benimsenmelidir. İki istasyon arasında gözlemlenen ağır metal farklılıkları dikkate alındığında, yerel çevre yönetimi politikalarının, endüstriyel faaliyetler, evsel atık yükü ve nüfus yoğunluğu gibi yerel faktörleri göz önünde bulundurarak kirlilik azaltım stratejileri geliştirmesi gerekmektedir. Makroalglerde yüksek ağır metal birikimi tespit edilen bölgeler, öncelikli izleme ve müdahale alanları olarak ele alınmalıdır. Bu tür bölgelerde, biyolojik göstergelere dayalı erken uyarı sistemleri, çevresel kirleticilere karşı daha etkin önlemler geliştirilmesini mümkün kılacaktır.

Sonuç olarak, bu çalışma ekosistem temelli deniz suyu izleme stratejilerinin geliştirilmesine yönelik önemli katkılar sunmaktadır. Makroalgler, yalnızca kirliliğin belirlenmesinde değil, aynı zamanda potansiyel olarak biyolojik iyileştirme (biyoremediasyon) stratejilerinde restoratif ajanlar olarak da değerlendirilebilir. Ancak, her türün farklı metaller karşısındaki emilim ve depolama kapasitelerinin belirlenmesi, bu metallerin organizmalar üzerindeki fizyolojik ve ekolojik etkilerinin detaylı şekilde

incelenmesi gerekmektedir. Gelecekte, *Gracilaria* sp. ve *Ulva* sp. gibi türlerin, entegre kıyısal çevre izleme sistemlerinde daha geniş kapsamlı olarak kullanılması mümkündür.

Bu bağlamda, İzmit Körfezi gibi endüstriyel ve yerleşim baskısı altındaki kıyı bölgelerinde, yerel yönetimlerin, çevre kurumlarının ve ilgili tüm paydaşların makroalgleri biyoindikatör olarak benimseyen bir izleme sistemini hayata geçirmesi önerilmektedir. Bu yaklaşım, uzun vadeli kirleticilere maruz kalmanın etkilerini dikkate alarak daha sürdürülebilir ve bilimsel temelli bir çevre yönetimi modeli geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

Agarwal, S.K. (2009). *Heavy Metal Pollution* (Vol. 4). New Delhi: APH Publishing.

Ahmad, S.S., Reshi, Z.A., Shah M.A., Rashid, I., Ara, R., Andarabi, S.M.A. (2016). Heavy Metal Accumulation in the Leaves of Potamogeton Natans and Ceratophyllum Demersum in a Himalayan RAMSAR Site: Management Implications. *Wetlands Ecology and Management*, *24*, 469-475.

Ak Đ., Cirik S. (2004). Distribution of *Gracilaria verrucosa* (Hudson) Papenfuss (Rhodophyta) in Izmir Bay (Eastern Aegean Sea). *Pakistan Journal of Biological Sciences, 7*(11), 2022-2023.

Akbar, S.A., Lestari, A.N., Fazli, R.R., Gunawan, G. (2025). Harnessing Macroalgae for Heavy Metal Phytoremediation: A Sustainable Approach to Aquatic Pollution Control. *The 6th International Conference on Fisheries, Aquatic, and Environmental Sciences (ICFAES 2024),* Banda Aceh, Indonesia, 24 Ekim, 2024.

Akçalı, İ., Küçüksezgin, F. (2011). A Biomonitoring Study: Heavy Metals in Macroalgae from Eastern Aegean Coastal Areas. *Marine Pollution Bulletin*, *62*(3), 637–645.

Akgün, M., Ali, G.Ü.L., Yilmaz, M. (2007). Sakarya Nehri Çeltikçe Çayında Yaşayan Leuciscus cephalus L., 1758 Dokularında Ağır Metal Birikimi. *Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, 27*(2), 179- 189.

Aktan, Y., Aykulu, G. (2005). Colonisation of epipelic diatoms on the littoral sediments of İzmit Bay, *Turkish Journal of Botany*, *29*(2), 83-94.

Aktar, S. (2012). *Ulva Lactuca* Bitkisi'nin Morfolojisi ve Fenolik Bileşiklerinin Stabilitesi Üzerine Araştırmalar. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Farmasötik Botanik Anabilim Dalı, İzmir, 326354.

Alhashemi, A.H., Sekhavatjou, M.S., Kiabi, B.H., Karbassi, A.R. (2012). Bioaccumulation of Trace Elements in Water, Sediment, and Six Fish Species from a Freshwater Wetland Iran, *Microchemical Journal, 104*(1), 1-6.

Arisekar, U., Shakila, R.J., Shalini, R., Jeyasekaran, G., Sivaraman, B., Surya, T. (2021). Heavy Metal Concentrations in the Macroalgae, Seagrasses, Mangroves, and Crabs Collected from the Tuticorin Coast (Hare Island), Gulf of Mannar, South India. *Marine Pollution Bulletin, 163*, 111971.

Aşıkkutlu, B., Okudan, E.Ş. (2021). Macro and Trace Element Levels of Macroalgae Cystoseira foeniculacea and Gongolaria montagnei Species from Mediterranean Region (Antalya/Turkey). *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences, 6*(4), 757–764.

Barreiro, R., Real, C., Carballeira, A. (1993). Heavy Metal Accumulation by *Fucus Ceramoides* In A Small Estuary in North-West Spain. *Marine Environmental Research, 36*(1), 39-61.

Bat, L., Gündoğdu, A., Öztürk, M., Öztürk, M. (1999). Copper, Zinc, Lead and Cadmium Concentrations in the Mediterranean Mussel Mytilus Galloprovincialis Lamarck,1819 from the Sinop Coast of the Black Sea. *Turkish Journal of Zoology, 23*(4), 321-326.

Bat, L., Kaya, Y., Oztekin, H.C. (2014). Heavy Metal Levels in the Black Sea Anchovy (Engraulis Encrasicolus) As Biomonitor and Potential Risk of Human Health. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 14*(4), 845-851.

Bayar, E., Yılmaz, B., Korkmaz, S. (2022). Ağır Metal Kirliliği ve Ekosistem Üzerindeki Etkileri. *Çevre Bilimleri Dergisi, 34*(2), 112-120.

Bibak, M., Tahmasebi, S., Safavi, E., Hassan, N.E. (2025). Introducing a New Method to Determining the Capacity of Heavy Metal Absorption by Macro Algae on the Coast of Persian Gulf Based on Kullback-Leibler Cumulative Information. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 221,* 105466.

Blaby-Haas, C.E. (2022). Polar Algae Flaunt Their Zinc Assets. *Nature Ecology & Evolution, 6*(7), 851-852.

Boğa, A. (2007). Ağır Metallerin Özellikleri ve Etki Yolları. *Arşiv Kaynak Tarama Dergisi, 16*(3), 218-234.

Bonanno, G., Veneziano, V., Raccuia, S.A., Orlando-Bonaca, M. (2020). Seagrass Cymodocea Nodosa and Seaweed *Ulva Lactuca* as Tools for Trace Element Biomonitoring. A Comparative Study. *Marine Pollution Bulletin, 161*(A), 111743.

Bruland, K.W., Lohan, M.C. (2003). Control of Trace Metals in Seawater. *The Oceans and Marine Geochemistry, 6*(02), 23-47.

Bryan, G. W. (1976). Some aspects of heavy metal tolerance in aquatic organisms. *In Effects of pollutants on aquatic organisms* (7-34). Cambridge University Press.

Buschmann, A.H., Varela, D.A., Hernández-González, M.C., Huovinen, P. (2008). Opportunities and Challenges for the Development of an Integrated Seaweed-Based Aquaculture Activity in Chile: Determining the Physiological Capabilities of Macrocystis and *Gracilaria* as Biofilters. *Journal of Applied Phycology, 20*(5), 571-577.

Çelik, S., Demir, S. (2019). *Su Kirliliği ve Endüstriyel Kirliliğin Su Ekosistemlerine Etkisi*. İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları.

Chen, B., Zou, D., Yang, Y. (2017). Increased Iron Availability Resulting from Increased CO2 Enhances Carbon and Nitrogen Metabolism in the Economical Marine Red Macroalga Pyropia Haitanensis (Rhodophyta). *Chemosphere*, *173*, 444-451.

Chung, I. K., Beardall, J., Mehta, S., Sahoo, D., Stojkovic, S. (2011). Using Marine Macroalgae for Carbon Sequestration: A Critical Appraisal. *Journal of Applied Phycology, 23*(5), 877-886.

Cirik, Y. (2011). Bazı Ağır Metallerin Cystoseıra Barbata (Phaeophyceae), Caulerpa Racemosa (Chlorophyceae), *Gracilaria* Verrucosa (Florideophyceae) ve Spirulina Platensis (Cyanophyceae) Türlerinde Biyosorbsiyonu. Doktora Tezi, Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale, 292670.

Coleman, J.E. (1998). Zinc Enzymes. *Current Opinion in Chemical Biology, 2*(2), 222-234.

Davis, T.A., Volesky, B., Mucci, A. (2003). A Review of the Biochemistry of Heavy Metal Biosorption by Brown Algae. *Water Research, 37*(18), 4311-4330.

Dehbi, M., Dehbi, F., Kanjal, M. I., Tahraoui, H., Zamouche, M., Amrane, A., Assadi, A.A., Hadadi, A., Mouni, L. (2023). Analysis of Heavy Metal Contamination in Macroalgae from Surface Waters in Djelfa, Algeria. *Water, 15*(5), 974.

Durmaz, Y., Duyar, H.A., Gökpınar, Ş., Öğretmen, Y.Ö., Bandarra, N.M. (2008). Enteromorphap. (Sinop, Karadeniz) Türünün Yağ Asitleri, A Tokoferol ve Toplam Pigment Miktarının Araştırılması. *Journal of FisheriesSciences.com, 2*(3), 350-356.

Farias D.R., Hurd C.L., Eriksen R.S., Macleod C.K. (2018). Macrophytes as Bioindicators of Heavy Metal Pollution in Estuarine and Coastal Environments. *Marine Pollutution Bulletin, 128,* 175-184.

Fritioff, Å., Kautsky, L., Greger, M. (2005). Influence of Temperature and Salinity on Heavy Metal Uptake by Submersed Plants. *Environmental pollution, Elsevier, 133*(2), 265-274.

Fu, F., Wang, Q. (2011). Removal of Heavy Metal Ions from Wastewaters: A Review. *Journal of Environmental Management, 92*(3) 407-418.

García-Seoane, R., Richards, C.L., Aboal, J.R., Fernández, J.Á., Schmid, M.W., Boquete, M.T. (2024). A Field Study of the Molecular Response of Brown Macroalgae to Heavy Metal Exposure: An (Epi)Genetic Approach. *Journal of Hazardous Materials, 480,* 136304.

Garipağaoğlu, N., Uzun, S.M., (2014). İzmit Körfezi Kıyılarında Kıyı Alanı Kullanımı. *Türk Coğrafya Dergisi, 63*, 9-22.

Garnham, G., Codd, G., Add, G. (1992). Kinetics of Uptake and Intracellular Location of Cobalt, Manganese and Zinc in the Estuaries Green Alga Chlorella Saline. *Applied Microbiology and Biotechnology, 37*, 270-276.

Gensemer, R.W., Playle, R.C. (1999). The Bioavailability and Toxicity of Aluminum in Aquatic Environments. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 29*(4), 315-450.

Gubelit, Y.I., Shigaeva, T.D., Kudryavtseva, V.A., Berezina, N.A. (2023). Heavy Metal Content in Macroalgae as a Tool for Environmental Quality Assessment: The Eastern Gulf of Finland Case Study. *Journal of Marine Science and Engineering, 11*(9), 1640.

Gupta, D. K., Rastogi, A. (2008). Metal accumulation and oxidative stress in moss: A model for tolerance to heavy metals. *Current Science, 95*(7), 938–946.

Gümüş, N.E., Keskinkaya, H.B., Okudan, E.Ş., Akköz, C. (2024). Akdeniz Bölgesi'nden (Antalya/Türkiye) Alınan Makroalg Türlerinin Makro ve İz Element Seviyelerinin Belirlenmesi. *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 6*(1), 1-9.

Han, Q., Liu, D. (2014). Macroalgae blooms and their effects on seagrass ecosystems. *Journal of Ocean University of China*. *Springer, 13*,791-798.

Ho, Y. B. (1990). Metals in Ulva lactuca in Hong Kong intertidal waters. *Bulletin of Marine Science, University of Miami-Rosenstiel School of Marine, Atmospheric & Earth Science, 47*(1), 79-85.

Hogstrand, C., Lithner, G., Haux, C. (1991). The importance of metallothionein for the accumulation of copper, zinc and cadmium in environmentally exposed perch, Perca fluviatilis. *Pharmacology & toxicology, 68*(6), 492-501.

Ika, T., Said, I. (2011). Analisis Logam Timbal (Pb) dan Besi (Fe) dalam Air Laut di Wilayah Pesisir Pelabuhan Ferry Taipa kecamatan Palu Utara. *Jurnal Akademi Kimia, 1*(4), 181- 186.

Ismarti, I. (2016). *Isu dan Masalah Lingkungan Hidup*; *Membahas Pencemaran Logam Berat Di Perairan dan Efeknya pada Kesehatan Manusia* (Edisi ke-4). Universitas Riau Kepulauan: UNRIKA PRESS.

Jain, C.K. (2004). Metal fractionation study on bed sediments of River Yamuna, India. *Water Research*. *38*(3), 569-578.

Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B.B., Beeregowda, K.N. (2014). Toxicity, Mechanism and Health Effects of Some Heavy Metals. *Interdisciplinary Toxicology, 7*(2), 60-72.

Kaya, İ.S. (2016). Gemi Kaynaklı Deniz Kirliliğini Önleme Amaçlı Sözleşmelerin Uluslararası Hukuk Açısından Değerlendirilmesi. *International Journal of Social Sciences and Education Research, 2*(4), 1310-1319.

Kayhan, F.E. (2006). Su Ürünlerinde Kadmiyumun Biyobirikimi ve Toksisitesi. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 23*(1), 215-220.

Khalid, S., Shahid, M., Niazi, N.K., Murtaza, B., Bibi, I., Dumat, C. (2017). A Comparison of Technologies for Remediation of Heavy Metal Contaminated Soils. *Journal of Geochemical Exploration, 182*(B), 247-268.

Kır, İ., Özan, S.T., Tuncay, Y. (2007). Kovada Gölü'nün Su ve Sedimentindeki Bazı Ağır Metallerin Mevsimsel Değişimi. *Su Ürünleri Dergisi, 24*(1), 155-158.

Klimmek, S., Stan, H.J., Wilke, A., Bunke, G., Buchholz, R. (2001). Comparative Analysis of the Biosorption of Cadmium, Lead, Nickel, and Zinc by Algae. *Environmental Science & Technology, 35*(21), 4283-4288.

Koçbaş, F., Türk Ç.S., Gündoğdu, A., Türkçü, N. (2023). Comparison of Heavy Metal Concentrations in Marine Macroalgae of the Northern Aegean Sea, Türkiye. *Eurasian Journal of Medical and Biological Sciences, 3*(1), 23-33.

Kolaříková, K. (2012). The Role of Iron in Algal Bloom and Its Environmental Impact. *Marine Pollution Bulletin, 64*(3), 556-561.

Koz, B., Kaya, S. (2022). Doğu Karadeniz Bölgesi Sahil Otoyol Çevresindeki Karayosunlarında Trafik Kaynaklı Ağır Metal Analizleri. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi, 12*(1), 82-96.

Kulshreshtha, A., Ranu, A., Manika, B., Shilpi, S. (2014). A Review on bioremediation of heavy metals in contaminated water. *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology, 8*, 44-50.

Kurniawan, T.A., Lo, W.H., Chan, G.Y.S. (2006). Physico-Chemical Treatments for Removal of Recalcitrant Contaminants from Landfill Leachate. *Journal of Hazardous Materials, 129*(1-3), 80-100.

Lapointe, B.E. (1997). Nutrient Thresholds for Bottom-Up Control of Macroalgal Blooms on Coral Reefs in Jamaica and Southeast Florida. *Limnology and Oceanography. Wiley Online Library, 42*(5 part 2), 1119–1131.

Leblebici, Y., Öztürk, Ş. (2018). Tatlı Su Eğreltisi Azolla Filiculoides Lam. Kullanılarak Ağır Metallerin Fitoremediasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Nevşehir, 498294.

Liu, W., Zhou, Q., Zhang, Y., Wei, S., Wang, X. (2008). Copper and cadmium-induced oxidative stress and responses of the ascorbate-glutathione cycle in Bechmeria nivea (L.) Gaud. *Chemosphere, 73*(3), 439-444.

Liu, X., Millero, F.J. (2002). The Solubility of Iron in Seawater. *Marine Chemistry*. *77*(1), 43-54.

Macinnis-Ng, C., Ralph, P. (2003). Aluminium Toxicity and Effects on Photosynthesis in Aquatic Plants. *Environmental Pollution, 126*(3), 345-355.

Maehre H.K., Malde M.K., Eilertsen K.E., Elvevoll E.O. (2014). Characterization of Protein, Lipid and Mineral Contents in Common Norwegian Seaweeds and Evaluation of Their Potential as Food and Feed. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. *Wiley Online Library*, *94*(15), 3281-3290.

Mamboya, F. A., Björk, M., Mtolera, M. S. P., Semesi, A. K. (2003). Metal contamination in seaweeds and sediments from the Zanzibar Channel. *Western Indian Ocean Journal of Marine Science*, *2*(1), 23-32.

Manahan, S.E. (1997). *Environmental Science and Technology*. Boca Raton, Florida, Lewis Publishers.

Marcovecchio, J.E., Botte, S.E., Freije, R.H. (2007) Heavy metals, major metals, trace elements. In: Nollet, L.M. (Ed.), Handbook of Water Analysis, (2nd ed.) (275-311), London- England: CRC Press.

Marganof. (2003). *Potensi Limbah Udang Sebagai Penyerap Logam Berat (Timbal, Kadmium, dan Tembaga) di Perairan.* Institut Pertanian Bogor, https://www.rudyct.com/PPS702-ipb/07134/marganof.pdf (Ziyaret tarihi: 10 Mayıs 2025).

Martoja, M.S., Martoja, R. (1984). La Bioacumulation De Metaux Mrocess Physiologique Normal Et Consequence De La Pollution. *Le Courrier do CNRS 54*, 32-37.

Morkoç, E., Okay, O.S., Tolun, L., Tüfekçi, V., Tüfekçi, H. Legoviç, T. (2001). Towards a clean Izmit Bay. *Environ. Int.*, *26*, 157-161.

Namieśnik, J., Rabajczyk, A. (2010). The Speciation of Aluminum in Environmental Samples. *Critical Reviews in Analytical Chemistry, 40*(2): 68-88.

Nassouhi, D., Ergönül, M.B., Fikirdeşici, Ş., Karacakaya, P., Atasağun, S. (2018). Ağır Metal Kirliliğinin Biyoremediasyonunda Bazı Su içi ve Yüzücü Sucul Makrofitlerin Kullanımı Süleyman Demirel Üniversitesi Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi. *Isparta University of Applied Sciences, 14*(2), 148-165.

Naz, M., Sayın, S., Çetin, Z., Saygılı, E.İ., Taşkın, E., Söyler, O. (2022). The Changes in Biochemical Compositions of Five Different Macroalgae and Seagrass (Halophila stipulacea) Collected from Iskenderun Bay. *Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences, 8*(4), 796-804.

Nelson, W.A. (2009). Calcified Macroalgae – Critical Components of Coastal Marine Ecosystems. *Hydrobiologia, 940*, 11-20.

Olgunoğlu, M.P.P., Polat, S. (2007). İskenderun Körfezi'nde Dağılım Gösteren İki Makroalg Türünde [Cystoseira corniculata (Phaeophyta), Laurencia papillosa (Rhodophyta)] Ağır Metallerin Mevsimsel Değişimi. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 24*(1), 25-30.

Orians, K.J., Bruland, K.W. (1986). The biogeochemistry of aluminum in the Pacific Ocean. *Earth and Planetary Science Letters, 78*(4), 397-410.

Öztürk, M., Arslan, G., Akın, E. (2021). *Çevresel Kirleticiler ve Biyoindikatorler*. Ankara Üniversitesi Çevre Fakültesi Yayınları.

Pekey, H., Karakas, D., Ayberk, S., Tolun, L., Bakoğlu, M. (2004). Ecological Risk Assessment Using Trace Elements from Surface Sediments of İzmit Bay (Northeastern Marmara Sea) Turkey. *Marine Pollution Bulletin*, *48*(9-10), 946-953.

Peksezer, B., Alp, M.T., Ayas, D. (2021). The Economic Importance of Macroalgae. *Advanced Underwater Sciences, 1*(1), 21-26.

Pelitli, V., Doğan, Ö., Köroğlu, H.J. (2014). Characterization of Waste Oils in Air-Breathing Jet Turbine Engines. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences, 32*(1), 82-95.

Peng, Z., Guo, Z., Wang, Z., Zhang, R., Wu, Q., Gao, H., Wang, Y., Shen, Z., Lek, S., Xiao, J. (2022). Species-Specific Bioaccumulation and Health Risk Assessment of Heavy Metal in Seaweeds in Tropic Coasts of South China Sea. *Science of the Total Environment. Elsevier, 832,* 155031.

Pushparaj, A., Raubbin, R.S., Balasankar, T. (2014). Antibacterial Activity of *Kappaphycus Alvarezii* and *Ulva Lactuca* Extracts Against Human Pathogenic Bacteria. *International Journal of Current Microbiology and Applied Science, 3,* 432-436.

Rai, L. C., Gaur, J. P., Kumar, H. D. (1981). Phycology and heavy-metal pollution. *Biological Reviews, 56*(1), 99-151.

Raven, J.A., Evans, M.C. W., Korb, R.E. (1999). The Role of Trace Metals in Photosynthetic Electron Transport in O2-Evolving Organisms. *Photosyn. Res. 60,* 111-149.

Razzaq, R. (2017). Phytoremediation: An Environmental Friendly Technique - A Review. *Journal of Environmental Analytical Chemistry, 4*(2), 195.

Reiley, M.C. (2007). Science, Policy, and Trends of Metals Risk Assessment at EPA: How Understanding Metals Bioavailability Has Changed Metals Risk Assessment at US EPA. *Aquatic toxicology, 84*(2), 292-298.

Rybak, M., Kołodziejczyk, A., Joniak, T., Ratajczak, I., Gąbka, M. (2017). Bioaccumulation and Toxicity Studies of Macroalgae (Charophyceae) Treated with Aluminium: Experimental Studies in the Context of Lake Restoration. *Ecotoxicology and Environmental Safety. Elsevier, 145*, 359-366.

Setyawidati, N.A.R., Puspita, M., Kaimuddin, A.H., Widowati, I., Deslandes, E., Bourgougnon, N., Stiger-Pouvreau, V. (2018). Seasonal Biomass and Alginate Stock Assessment of Three Abundant Genera of Brown Macroalgae Using Multispectral High Resolution Satellite Remote Sensing: A Case Study at Ekas Bay (Lombok, Indonesia). *Marine pollution bulletin. Elsevier, 131*, 40-48.

Seven, T., Can, B., Darende, B. N., Ocak, S. (2018). Hava ve Toprakta Ağır Metal Kirliliği. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi, 1*(2), 91-103.

Sharma, S., Singh, B., & Manchanda, V. K. (2015). Phytoremediation: Role of Terrestrial Plants and Aquatic Macrophytes in the Remediation of Radionuclides and Heavy Metal Contaminated Soil and Water. *Environmental Science and Pollution Research, 22*(2), 946-962.

Sherrell, R.M., Boyle, E.A. (1988). Zinc, Chromium, Vanadium and Iron in the Mediterranean Sea. Deep Sea Research Part A. *Oceanographic Research Papers, 35*(8), 1319-1334.

Smith, J.E., Hunter, C.L., Smith, C.M. (2002). Distribution and Reproductive Characteristics of Nonindigenous and Invasive Marine Algae in the Hawaiian Islands. *Pacific Science, 56*(3), 299-315.

Sohrab., Dadolahi, A., Nikvarz, A., Nabavi, S.M.B., Safahyeh, A., Ketal-Mohseni, M. (2011). Environmental Monitoring of Heavy Metals in Seaweed and Associated Sediment from the Strait of Hormuz, I.R. Iran. *World Journal of Fish and Marine Sciences, 3(*6): 576-589.

Spry, D.J., Wood, C. M., Hodson, P.V. (1981). Effects of Environmental Acid on Freshwater Fish with Particular Reference to the Software Lakes in Ontario and the Modifying Effects of Heavy Metals. A Literature Review. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci; (Canada), 999*, 145.

Stohs, S. J., Bagchi, D. (1995). Oxidative mechanisms in the toxicity of metal ions. *Free Radical Biology and Medicine, 18*(2), 321-336.

Syaifudin, M., Moussa M.G., Li, T., Du, H. (2025). The Impact of Salinity on Heavy Metal Accumulation in Seaweed. *Marine Pollution Bulletin. Elsevier, 214*, 117819.

Taylan, Z. S., Özkoç, H.B. (2007). Potansiyel Ağır Metal Kirliliğinin Belirlenmesinde Akuatik Organizmaların Biokullanılabilirliliği. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 9*(2), 17-33.

Tchounwou, P.B., Yedjou, C. G., Patlolla, A. K., Sutton, D.J. (2012). Heavy Metal Toxicity and the Environment. *Molecular, Clinical and Environmental Toxicology, 3,* 133-164.

Topcuoğlu, S., Kılıç, Ö., Belivermiş, M. (2010). Use of Marine Algae as Biological Indicator of Heavy Metal Pollution in Turkish Marine Environment. *Journal of the Black Sea/Mediterranean Environment, 16*(1), 43-52.

Tripathi, A., Ranjan, M.R. (2015). Heavy Metal Removal from Wastewater Using Low Cost Adsorbents. *J Bioremed Biodeg, 6*(6), 315.

Türker, G., İlknur, A.K. (2021). Investment Potential of Macroalgae Culture in Çanakkale, Turkey. *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Bulgaria of Regions", 2*(1), 701-706.

Türkmen, M., Mutlu, E., Zebel, S., Türkmen, A. (2018). Assessment of Heavy Metal Accumulation in Some Fish Species from Batlama Stream, Eastern Black Sea Coast. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology, 6*(7), 858-860.

Türkyılmaz, A., Sevik, H., Cetin, M., Ahmaida Saleh, E.A. (2018). Changes in Heavy Metal Accumulation Depending on Traffic Density in Some Landscape Plants. *Polish journal of environmental studies, 27*(5). 2278-2284.

URL-1: https://meyramaden.com/EMTI%CC%87A.pdf (Ziyaret tarihi: 14 Şubat 2025).

URL-2: https://enerji.gov.tr/tabi-kaynaklar (Ziyaret tarihi: 08 Mart 2025).

URL-3: https://www.algaebase.org/search/species/detail/?species_id=2479 (Ziyaret tarihi: 20 Mart 2025).

URL-4: https://tinyurl.com/23zajp6m (Ziyaret tarihi: 10 Nisan 2025).

URL-5: https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2004/12/20041231.htm (Ziyaret tarihi: 14 Nisan 2025).

Ustaoğlu, D., Terzioğlu, K., Türe, H., Yılmaz, E., Tunca, E. (2015). Sucul Ortamlardaki Bakirin (Cu), Su Mercimeği (Lemna Minor Linneaus 1753) İle Fitoremediasyonu. *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 5*(2), 10-22.

Villares, R., Puente, X., Carballeira, A. (2010). *Ulva* and *Enteromorpha* as Indicators of Heavy Metal Pollution. *Hydrobiologia, 462*(1-3), 221-232.

Villares, R., Puente, X., Carballeira, A. (2002). Seasonal Variation and Background Levels of Heavy Metals in Two Green Seaweeds. *Environmental Pollutution, 119*(1), 79-90.

Volesky, B., Holan, Z.R. (1995). Biosorption of heavy metals. *Biotechnology progress.*

Wiley Online Library, 11(3), 235-250.

Wang, J., Feng, X., Anderson, C. W., Xing, Y., Shang, L. (2012). Remediation of mercury contaminated sites - A review. *Journal of Hazardous Materials, 221-222,* 1-18.

Wang, W. X., & Dei, R. C. H. (2001). Metal uptake in a coastal diatom influenced by major nutrients (N, P, and Si). *Water Research, 35*(2), 315-321.

Wei, W., Li, M., Ma, F., Liu, Q., & Wang, Y. (2021). Cadmium-induced oxidative stress and detoxification responses in the red macroalga Gracilaria lemaneiformis. *Environmental Science and Pollution Research*, *28*, 55684-55694.

Wilson, R.W. (2011). 2 - Aluminum. *Fish Physiology, 31*(B), 67-123.

Yetiş, R., Atasoy A.D., Demir Yetiş A., Yeşilnacar, M.İ. (2019) Hydrogeochemical Characteristics and Quality Assessment of Groundwater in Balikligol Basin, Sanliurfa, Turkey, *Environmental Earth Sciences, 78*(11), 331.

Yi, Y., Yang, Z., Zhang, S. (2011) Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Sediment and Human Health Risk Assessment of Heavy Metals in Fishes in the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River Basin. *Environmental Pollution, 159*(10), 2575-2585.

Yücetepe, A., Kırkın, C., Mertdinç, Z., Ayar, E. N., Soylukan, C., Dikici, E., Okudan, E. Ş., Özçelik, B. (2024). Chemical Composition and Nutrient Profiles of Nine Red Macroalgae Species. *Food Production, Processing and Nutrition, 6*(84), 1-10.

Yu-Qing, T., Mahmood, K., Shehzadi, R., Ashraf, M.F. (2016). *Ulva lactuca* and its Polysaccharides: Food and Biomedical Aspects. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, *6*(1), 140-151.

Zbikowski, R., Szefer, P., & Latala, A. (2007). Bioaccumulation of metals in the green alga Enteromorpha sp. from the southern Baltic. *Chemosphere*, *67*(5), 948-955.

EKLER

EK-A

Evrak Tarih ve Sayısı: 11.04.2025-760427

T.C.
TARIM VE ORMAN BAKANLIĞI
Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü

2025 AİLE YILI

Sayı : E-72784983-288.04-18785604
Konu : Araştırma İzinleri (Arzu MORKOYUNLU)

DAĞITIM YERLERİNE

Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü akademisyeni Prof. Dr. Arzu MORKOYUNLU tarafından yürütülecek olan **"Çevresel Kirleticilerin Makro Algler Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması"** başlıklı çalışma kapsamında gerçekleştirilecek çalışmalarla ile ilgili Bilimsel Araştırma İzin Başvurusu, Genel Müdürlüğümüz yetki ve sorumlulukları çerçevesinde incelenmiş olup buna göre;

- Proje kapsamında örnek toplamaya yönelik arazi çalışması yapılmaması ve doğadan örnek toplanmaması, yalnızca Fen Bilimleri Enstitüsünde mevcut örnekler üzerinde çalışma yapılması,
- Çalışmalar kapsamında çalışılacak örneklerde izin dosyasında belirtilen miktarın aşılmaması, bu örneklerin veya bu örneklerden elde edilecek herhangi bir materyalin ticarete konu edilmemesi ve yurt dışına çıkarılmaması,
- Proje Genel Tanım Bilgilerinde belirtilen bilgilere uyulması,
- Araştırma sırasında elde edilen fotoğraf, video, koordinat bilgileri vb. her türlü verinin kurumumuzun ayrı bir izni olmaksızın yazılı, görsel, işitsel iletişim araçları ile sosyal medya vb. ortamlarda yayımlanmaması, bilimsel maksatlar haricinde yayın yapılmaması,
- Söz konusu çalışmaların süreç ve sonucu hakkında Genel Müdürlüğümüz 1. Bölge Müdürlüğü veya Kocaeli Doğa Koruma ve Milli Parklar Müdürlüğüne bilgi verilmesi,
- Araştırma ara ve sonuç raporlarının basılı ve dijital ortamda birer kopyasının Genel Müdürlüğümüze gönderilmesi,

şartıyla bahse konu çalışmaların yapılması Genel Müdürlüğümüzce uygun görülmüştür.
Bilgilerini ve gereğini arz/rica ederim.

Ergül TERZİOĞLU
Genel Müdür a.
Genel Müdür Yardımcısı V.

Ek: Proje Genel Tanım Bilgileri (2 Sayfa)

Dağıtım:
Gereği: Bilgi:

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.
Doğrulama Kodu: B88CABFF-FDAC-44AC-A919-799D4C778341 Doğrulama Adresi: https://www.turkiye.gov.tr/tarim-ebys

Beştepe Mah. Alparslan Türkeş Cad. No:71 Yenimahalle/ANKARA
Telefon: (0312) 207 50 00
KEP Adresi : tarimveormanbakanligi@hs01.kep.tr
Bilgi için:Hasan YAŞAYACAK
Mühendis

Bu belge 5070 sayılı Elektronik İmza Kanununun 5. Maddesi gereğince güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

Kocaeli Üniversitesi Rektörlüğüne

Doğa Koruma ve Milli Parklar 1. Bölge Müdürlüğüne

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.
Doğrulama Kodu: B88CABFF-FDAC-44AC-A919-799D4C778341 Doğrulama Adresi: https://www.turkiye.gov.tr/tarim-ebys

Beştepe Mah. Alparslan Türkeş Cad. No:71 Yenimahalle/ANKARA
Telefon: (0312) 207 50 00
KEP Adresi : tarimveormanbakanligi@hs01.kep.tr

Bilgi için:Hasan
YAŞAYACAK
Mühendis

Bu belge 5070 sayılı Elektronik İmza Kanununun 5. Maddesi gereğince güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Asrum, A. H., Morkoyunlu, A. (2024). The Shellfish Industry in Indonesia. *2nd International Malacology Symposium, 2. Uluslararası Malakoloji Sempozyumu*, 1-4 Ekim 2024.

Asrum, A. H. (2025). Comparison of Heavy Metal Impacts on Aquatic Biota: Case Studies from Various Geographical Regions. *Procedings Book-3 Science and Mathematics 10th International Student Symposium*, (10th ed.) (17-31). Istanbul: Federation of International Student Associations.

Asrum, A. H., Morkoyunlu, A. (2025). The Shellfish Industry in Indonesia: Economic Significance, Sustainability Challenges and Community Empowerment. *Management Research, 12*(5), 30-39.

ÖZGEÇMİŞ

Asmaul Husnah Asrum ortaöğrenimini Takalar 1. Devlet Lisesi'nde tamamladı. 2014 yılında Makassar'daki Hasanuddin Üniversitesi Denizcilik ve Balıkçılık Fakültesi'ne kabul edildi ve 2019 yılında lisans eğitimini tamamladı. 2018 ve 2019 yıllarında Operation Wallacea ile gerçekleştirilen araştırmalara katıldım, burada kısa kurslar aldım ve araştırmacılara deniz ve laboratuvar çalışmalarında yardımcı oldum.