T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Yüksek Lisans Tezi

TERKOS GÖLÜ (İSTANBUL, TÜRKİYE) *Phragmites australis* BİTKİSİNDE BAZI AĞIR METAL KONSANTRASYONLARININ BELİRLENMESİ

Sinan Musa YILMAZ

Deniz ve İçsu Kaynakları Yönetimi Anabilim Dalı

İçsu Kaynakları ve Yönetimi Programı

DANIŞMAN
Doç. Dr. Neşe YILMAZ

Temmuz, 2025

İSTANBUL

Bu çalışma, Tarih girmek için burayı tıklatın. tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Deniz ve İçsu Kaynakları Yönetimi Anabilim Dalı, İçsu Kaynakları ve Yönetimi Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Doç. Dr. Neşe YILMAZ(Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Su Bilimleri Fakültesi

Prof. Dr. Yelda AKTAN
İstanbul Üniversitesi
Su Bilimleri Fakültesi

Prof. Dr. İbrahim İlker ÖZYİĞİT
Marmara Üniversitesi
Fen Fakültesi

İntihal Programı Beyanı

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi'nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

Proje Destekleri

ÖNSÖZ

Tez konusunun belirlenmesinde, araştırmanın planlanmasında ve her aşamasındaki katkılarından dolayı danışman hocam sayın Doç. Dr. Neşe YILMAZ'a teşekkür ederim.

Araştırmamın arazi bölümünde, örnekleme çalışmalarımda yardımcı olan Dr. Öğr. Görevlisi İbrahim Tamer EMECAN'a ve Naci YILMAZ'a, laboratuvar çalışmalarımda ve analizlerimin gerçekleştirilmesinde katkılarını esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Ertuğrul YALÇIN'a ve tez yazım aşamasında katkı sunan Araş.Gör. Nurdan CÖMERT'e içtenlikle teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek Lisans çalışmam ve hayatım boyunca bana her zaman desteklerini hissettiren aileme teşekkür ederim.

Tarih girmek için burayı tıklatın. Sinan Musa YILMAZ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ ..... **iv**
İÇİNDEKİLER ..... **v**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **vii**
TABLO LİSTESİ ..... **viii**
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ ..... **ix**
ÖZET ..... **xii**
SUMMARY ..... **xiiii**
1. GİRİŞ **1**
2. GENEL KISIMLAR **6**
2.1. *PHRAGMITES AUSTRALIS* (CAV.) TRIN. EX STEUD 6
2.2.FİTOREMEDİASYON TEKNİKLERİ VE *PHRAGMITES AUSTRALIS*'İN EKOLOJİK RESTORASYONDAKİ ROLÜ 7
2.3. ANALİZ EDİLEN AĞIR METALLERİN ÖNEMİ VE ETKİLERİ 8
2.3.1. Alüminyum (Al) 8
2.3.2. Bakır (Cu) 9
2.3.3. Çinko (Zn) 10
2.3.4. Demir (Fe) 10
2.3.5. Kobalt (Co) 11
2.3.6. Krom (Cr) 11
2.3.7. Kurşun (Pb) 11
2.3.8. Mangan (Mn) 12
2.3.9. Nikel (Ni) 12
2.4. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 13
3. MALZEME VE YÖNTEM **20**
3.1.ÇALIŞMA ALANI VE EKOLOJİK ÖNEMİ 20
3.2. ÖRNEK ALIMI VE ÖRNEKLEME İSTASYONLARININ ÖZELLİKLERİ 21
3.3. AĞIR METAL ANALİZLERİ 26
4. BULGULAR **28**
4.1. FİZİKOKİMYASAL PARAMETRE DEĞERLERİ 28

4.2. *PHRAGHMITES AUSTRALIS*'DE ÖLÇÜLEN AĞIR METAL KONSANTRASYONLARI 29
4.2.1. Yaprak Kısmındaki Ağır Metal Konsantrasyonları 29
4.2.2. Rizom Kısmındaki Ağır Metal Konsantrasyonları..... 29
4.2.3. Gövde Kısmındaki Ağır Metal Konsantrasyonları..... 30
4.3.SEDİMENT ÖRNEKLERİNDEKİ AĞIR METAL KONSANTRASYONLARI 31
4.4. SU ÖRNEKLERİNDEKİ AĞIR METAL KONSANTRASYONLARI 33
5. TARTIŞMA VE SONUÇ 36
KAYNAKLAR 46
ÖZGEÇMİŞ 55

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 3.1. Terkos Gölü ve Örnekleme İstasyonları 21

Şekil 3.2. Durusu Park Otel örnekleme istasyonu görünümü (T-1) 23

Şekil 3.3. Balabanköy örnekleme istasyonu görünümü (T-2) 23

Şekil 3.4. Yazlıkköy örnekleme istasyonu görünümü (T-3) 24

Şekil 3.5. Celepköy örnekleme istasyonu görünümü (T-4) 24

Şekil 3.6. Ormanlı Deresi örnekleme istasyonu görünümü (T-5) 25

Şekil 3.7. Laboratuvar çalışmalarından görüntüler 27

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1. Ağır metallerin su, toprak ve bitki için kabul edilen sınır değerleri. 12

Tablo 3.1. Örnekleme İstasyonları ve Özellikleri 22

Tablo 4.1. Örnekleme İstasyonlarında Ölçülen Bazı Fiziko-kimyasal Parametre Değerleri 28

Tablo 4.2. İstasyonlara ve vejetasyon dönemlerine göre ortalama yaprak kısmındaki ağır metal ve standart sapma değerleri 29

Tablo 4.3. İstasyonlara ve vejetasyon dönemlerine göre ortalama rizom kısmındaki ağır metal ve standart sapma değerleri 30

Tablo 4.4. İstasyonlara ve vejetasyon dönemlerine göre ortalama gövde kısmındaki ağır metal ve standart sapma değerleri 31

Tablo 4.5. İstasyonlara ve vejetasyon dönemlerine göre ortalama sediment ağır metal ve standart sapma değerleri. 33

Tablo 4.6. İstasyonlara ve vejetasyon dönemlerine göre suda ağır metal ve standart sapma değerleri. 35

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler **Açıklama**

°C **:derece celsius (santigrat)**
% **: yüzde**
‰ **:binde**
pH **: power of Hydrogen (hidrojen konsantrasyonunun kologaritması)**
kg **: kilogram**
g **: gram**
mg **: miligram**
µg **: mikrogram**
L **: litre**
mL **: mililitre**
µL **: mikrolitre**
m **: metre**
mm **: milimetre**
mg L^{-1} **: part per million (milyon birimde bir birim)**
mg kg^{-1} **: part per million (milyon birimde bir birim)**
µg L^{-1} **: part per billion (milyar birimde bir birim)**
µS/cm **: mikroSiemens/santimetre**
km^2 **: kilometre kare**
m^3 **: metreküp**
Al **: alüminyum**
As **:arsenik**
B **: bor**
Ba **:baryum**
Ca **: kalsiyum**
Cd **: kadmiyum**
Co **: kobalt**
Cr **: krom**
Cu **: bakır**
Fe **: demir**
Hg **:civa**

K : potasyum

Mg : magnezyum

Mn : mangan

Mo :molibden

N : azot

Na : sodyum

Ni : nikel

P : fosfor

Pb : kurşun

Se :selenyum

Sr :stronsiyum

Ti :titanyum

Zn : çinko

$Al_2(SO_4)_3$: alüminyum sülfat

HCl : hidroklorik asit

HF : hidroflorik asit

HNO_3 : nitrik asit

Kısaltmalar	Açıklama
DNA	: Deoksiribo nükleik asit
ICP-OES	: İndüktif Eşleşmiş Plazma-Optik Emisyon Spektrometresi
US EPA	: Environmental Protection Agency of United States
WHO	: World Health Organization
WWF	: World Wide Fund For Nature
SWQRT	: Surface Water Quality Regulations of Türkiye

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TERKOS GÖLÜ (İSTANBUL, TÜRKİYE) *Phragmites australis* BİTKİSİNDE BAZI AĞIR METAL KONSANTRASYONLARININ BELİRLENMESİ

Sinan Musa YILMAZ

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Deniz ve İçsu Kaynakları Yönetimi Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Neşe YILMAZ

Son yıllarda içme suyu kaynaklarında ortaya çıkan su kirliliği, tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de önemli bir gündem oluşturmakta ve pek çok bilimsel araştırmaya konu olmaktadır. Sularda hem halk sağlığı, hem de sucul canlılar için dikkat edilmesi gereken başlıca kirlilik çeşitlerinden birini de ağır metal kirliliği oluşturmaktadır. Bazı ağır metallerin sularda bulunması ya da konsantrasyonlarının ihmal edilebilir seviyenin üzerinde olması, tüm su canlıları ve sonuç olarak besin zincirinin en üst basamağında yer alan insanoğlu için ciddi bir problem oluşturmaktadır. Bu sebeple ağır metal kirliliği sucul ortamlarda çözülmesi gereken sorunların başında gelmektedir. Sucul makrofitler, yüksek metal birikimi kapasitesine sahip olabilecekleri gibi suda bulunan büyük metal konsantrasyonlarını tolere de edebilirler. Bu özellikleriyle sularda metal kontaminasyonu için yerinde biyomonitör organizmalar olarak kullanılabilirler. Ayrıca, biyolojik izleme çalışmaları için bitki türlerinin seçimi, yerel koşullara ve suda yaşayan makrofitlerin bulunuşuna bağlı olarak değişim göstermektedir.

İstanbul'un en önemli içme suyu rezervuarlarından Terkos Baraj Gölü'nde, gölü temsil eden toplam 5 istasyonda yaşam döngülerini, yaşadıkları habitatlarında limitlerin üzerinde ağır metal konsantrasyonunlarına maruz kalmalarına rağmen sürdüren *Phragmites australis* türü araştırılmıştır. Yerleşim alanlarına yakın evsel kanalizasyon atıklarının çıkışlarının bulunduğu, Ormanlı Deresi'nin göle taşıdığı yoğun kirlilik yüküne maruz kalan, içmesuyu sağlanan,

tarımsal alanların sulanması için su çekilmekte olan, rekreasyon alanı olarak kullanıldığı için çöp atıklarının sıklıkla görüldüğü bir habitatta bulunan *P. australis* türü, bünyesinde ağır metaller içermesine rağmen, biyokütle oluşturmayı sürdürürerk yaşamını devam ettirmektedir. Elde edilen bu sonuç, çalışılan bitki türünün yüksek ağır metal konsantrasyonlarını tolere ederek ağır metal stresine oldukça dayanıklı olduğunu ortaya koymaktadır.

Tarih girmek için burayı tıklatın., 70 sayfa.

Anahtar kelimeler: *Phragmites australis*, ağır metal kirliliği, su kalitesi, Terkos Gölü, Türkiye

SUMMARY

M.Sc. THESIS

DETERMINATION OF SOME HEAVY METAL CONCENTRATIONS IN *Phragmites australis* PLANT AT LAKE TERKOS (İSTANBUL, TÜRKİYE)

Sinan Musa YILMAZ

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Sciences

Department of Marine and Freshwater Resources Management

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Neşe YILMAZ

In recent years, water pollution in drinking water sources has become a significant concern in our country, as well as globally, and has been the subject of numerous scientific studies. Heavy metal pollution is one of the main types of pollution that should be considered for both public health and aquatic organisms in water. The presence of some heavy metals in water or their concentrations being above negligible levels constitutes a serious problem for all marine organisms and, as a result, for humans who are at the top of the food chain. For this reason, heavy metal pollution is one of the primary environmental problems that need to be addressed in aquatic ecosystems. Aquatic macrophytes have high metal accumulation capacity and can also tolerate large metal concentrations in water. With these features, they can be used as on-site biomonitoring organisms for metal contamination in water. In addition, the selection of plant species for biological monitoring studies varies depending on local conditions and the presence of aquatic macrophytes.

In Terkos Dam Lake, one of the most important drinking water reservoirs of Istanbul, the Phragmites australis species, which continues its life cycle despite being exposed to heavy metal concentrations above the limits in its habitats, was examined in a total of 5 stations representing the lake. *P. australis*, located in a habitat where domestic wastewater outlets are close to

residential areas, continues to live by forming biomass despite being exposed to the intense pollution load brought to the lake by Ormanlı Creek, where drinking water is supplied, water is drawn for irrigation of agricultural areas and garbage wastes are frequently seen due to its use as a recreational area. The obtained result reveals that the examined plant species is quite resistant to heavy metal stress by tolerating high heavy metal concentrations.

Tarih girmek için burayı tıklatın., 70 pages.

Keywords: *Phragmites australis*, heavy metal pollution, water quality, Lake Terkos, Türkiye

1. GİRİŞ

Su kaynakları, yeryüzündeki ekolojik dengenin temel bileşenlerinden biridir ve suyun varlığı, canlı ekosistemlerin devamı için kritik öneme sahiptir. Tatlı su kaynakları, gezegenimizin yüzeyini kaplayan su miktarının küçük bir yüzdesini oluşturmasına rağmen, insanlar ve ekosistemler için hayati bir ihtiyaçtır (Gleick, 2019). Sulak alanlar, tatlı su ekosistemlerinin en önemli parçalarından biridir ve büyük bir biyolojik çeşitliliğe ev sahipliği yaparak ekosistem fonksiyonlarını desteklemektedir. Bu alanlar, suyun temizlenmesi, erozyon kontrolü, karbon depolama ve habitat sağlama gibi çok sayıda ekosistem hizmeti sunmaktadır (Mitsch ve Gosselink, 2015). Sulak alanlar, sanayileşme, faaliyetleri ve kentleşmenin etkisiyle giderek artan bir şekilde tehdit altında bulunmaktadırlar. Bu etkenlere, kötü planlanmış kalkınma projeleri ve kirleticilerin ekosistemler üzerinde olumsuz etkiler yaratması ve iklimsel değişikliklerin eklenmesiyle su kaynaklarının sürekliliği gün geçtikçe daha da fazla risk altına girmektedir.

Ağır metaller, sucul ekosistemlerde en önemli kirletici unsurlardan biri olarak kabul edilmektedir. Yoğunluğu 5 g/cm^3'ten büyük olan veya atom ağırlığı 50 ve daha büyük olan elementler ağır metal olarak tanımlanmaktadır. Ağır metallere örnek olarak; Bakır (Cu), Demir (Fe), Çinko (Zn), Kurşun (Pb), Cıva (Hg) verilebilir. Yer kabuğunda doğal olarak bulunan bu bileşikler bozulmaz ve yok edilemezler. Vücudumuza gıdalar, içme suyu ve hava yolu ile girmektedirler. Bu metallerin çevresel ortamlarda birikimi, kalıcı (biyolojik olarak parçalanamaz) olmaları ve besin zincirlerine dahil olabilmeleri nedeniyle ciddi ekolojik riskler oluşturmaktadır (Banerjee ve Gupta, 2012). Ağır metaller su ortamına doğal kaynaklı süreçlerle kayaçların ayrışması, toprak erozyonu vb. ile girebildiği gibi, ağırlıklı olarak insan faaliyetlerine bağlı noktasal veya yayılı kaynaklar yoluyla da ulaşmaktadır (Barakat ve diğ., 2012; Banerjee ve Gupta, 2012). Endüstriyel deşarjlar, madencilik, şehirsel atıksular ve tarımsal yüzey akışları, sucul ortamlarda biriken başlıca antropojenik ağır metal kaynaklarıdır. Gerçekten de, dünyadaki pek çok nehir ve göl artan sanayileşme nedeniyle ağır metal kirliliğine maruz kalmaktadır. Örneğin, Hindistan'da Asansol Sanayi Bölgesi'nden geçen Damodar Nehri'nin sularında ve sedimanlarında kurşun, kadmiyum gibi metallerin yüksek düzeylerde biriktiği rapor edilmiştir (Banerjee ve Gupta, 2012). Benzer şekilde, Fas'taki Day Nehri sedimanlarında tespit edilen ağır metal kirliliği, bölgedeki kentsel ve endüstriyel faaliyetlerin

olumsuz etkilerini ortaya koymaktadır (Barakat ve diğ., 2012). Bu örnekler, ağır metal kirliliğinin küresel ölçekte yaygın bir sorun olduğunu göstermektedir. Suda çözünmüş halde bulunan metal iyonları, zamanla askıdaki partiküllere ve organik maddelere bağlanarak sedimanlara çökelmektedir. Nitekim, göl ve nehirlerin yüzey sedimanları, ağır metaller için bir birikim havuzu işlevi görür ve su kolonuna kıyasla çok daha yüksek konsantrasyonlarda metal barındırabilir (Boudet ve diğ., 2011; Çevik ve diğ., 2009). Sedimanlardaki metal birikimi; tanecik boyutu, organik madde miktarı ve sedimanın kimyasal yapısı gibi faktörlere bağlıdır (Çevik ve diğ., 2009; Naji ve Ismail, 2011). Ayrıca bir su kütlesine giren metaller, ortamda biyobirikim (canlı dokularda birikme) ve biyomagnifikasyon (besin zincirinde yukarı doğru taşınıp yoğunlaşma) süreçlerine yol açarak ekosistemdeki trofik seviyeler boyunca aktarılmaktadır. Artan ağır metal yükü, sucul canlılarda toksik etkilere ve populasyon dinamiklerinde bozulmalara neden olmaktadır (Kuntal ve Reddy, 2014). Örneğin kadmiyum birikimi balıkların solungaç, karaciğer ve böbrek dokularında hasara neden olarak gelişim ve üreme başarısını azaltabilir; cıva ve kurşun gibi metallerse yüksek trofik seviyelerde birikerek kuşlar ve memelilerde (insan dahil) nörolojik ve üreme bozukluklarına yol açabilir. Sonuç olarak, ağır metal kirliliğine maruz kalan ortamlarda hassas türlerin popülasyonları gerilerken, bazı toleranslı türler baskın hale gelebilir; bu da biyoçeşitlilikte azalmaya ve ekosistem fonksiyonlarında bozulmaya neden olmaktadır. Bazı ağır metaller (As, Cd, Pb, Hg gibi) oldukça düşük derişimlerde bile zehirli etki gösterebilirken, Fe, Cu, Zn gibi elementler eser miktarda canlı yaşamı için gerekli olmakla birlikte belli bir eşiğin üzerinde toksisiteye sebep olmaktadır. Havaya karışan ağır metaller besin zinciri yoluyla hayvanlara ve insanlara ulaşır; havadan aerosol olarak veya toz halinde solunarak metabolizmayı etkileyecek alanlara akciğerler yoluyla ulaşırlar. Ayrıca endüstriyel atık sularının, içme sularımıza karışmasıyla da hayvan ve insanlar üzerinde ağır metaller olumsuz etkiler oluşturabilmektedirler. Dolayısıyla, su kaynaklarındaki ağır metal birikimi hem ekolojik denge hem de insan sağlığı açısından kritik bir sorun teşkil etmektedir. Bu sorunun giderilmesi amacıyla, kirletilmiş sucul alanların izlenmesi ve temizlenmesi konusunda son yıllarda yoğun bilimsel araştırmalar yürütülmektedir.

Su kirliliği ve özellikle ağır metal birikimi sorunu, Türkiye'deki bazı içme suyu rezervuarlarında da gözlenmektedir. İstanbul metroplitanının içme suyu kaynaklarından biri olan Terkos (Durusu) Gölü, bu bağlamda kritik öneme sahip bir su kaynağıdır. Terkos Gölü, İstanbul'un Avrupa yakasında, Karadeniz'e yakın konumda yer alan bir baraj gölüdür. İstanbul kentinin su ihtiyacının önemli bir kısmını karşılamakta olan Terkos Gölü'nü besleyen Ormanlı Deresi,

Balaban Deresi gibi akarsular ve yüzeysel akışlar da kirlilik yükünün taşınmasında rol oynamakta; havzadaki arazi kullanımına bağlı olarak bu dereler yoluyla göle besin tuzları ve ağır metaller gelebilmektedir (Yılmaz ve diğ., 2021). Göl ve çevresi, içme suyu kaynağı olması nedeniyle yetkili mercilerce koruma altında olsa da, artan nüfus ve arazi kullanımı baskıları gölün ekosistem sağlığını tehdit etmektedir. Son yıllarda Terkos Gölü' nün su kalitesinde bozulmaya işaret eden bulgular kaydedilmiştir. Özellikle ağır metaller ve besin tuzları birikimi nedeniyle gölde kirlenme belirtileri gözlenmektedir. Yılmaz ve diğerlerinin (2021) çalışmasında, göl suyundaki bazı metal ve metaloidlerin ciddi düzeyde kirliliğe ulaştığı rapor edilmiştir. Örneğin bor (B) ve kadmiyum (Cd) konsantrasyonlarının, Türkiye'nin yürürlükteki su kalite sınıflandırmasına göre en düşük kalite düzeyi olan Sınıf IV kategorisine karşılık geldiği, yani gölün bu elementler bakımından "ileri derecede kirli" olduğu belirtilmiştir (Yılmaz ve diğ., 2021). Diğer bir deyişle, Terkos Gölü özellikle Cd gibi toksik bir ağır metal açısından çevresel standartların üzerinde yük taşımaktadır. Bu durum, gölün içme suyu sağlama işlevi düşünüldüğünde son derece endişe vericidir. Nitekim aynı araştırmada gölde fitoplankton kompozisyonunun da incelendiği ve *Anabaena spiroides* gibi toksin üretebilme yeteneğine sahip bazı zararlı mavi-yeşil alg (siyanobakteri) türlerinin sonbahar aylarında aşırı düzeyde çoğaldığı tespit edilmiştir. Bu bulgu, gölün trofik durumunun kötüye giderek mezotrofikten ötrofiye doğru kaydığını göstermektedir. Artan besin tuzu yükü ile ağır metal kirliliğinin birleşimi, Terkos Gölü ekosisteminin dengesini bozabilecek ve su kalitesini düşürebilecek çift yönlü bir baskı yaratmaktadır. Dolayısıyla göldeki su kalitesinin düzenli izlenmesi, kirliliğin kaynaklarının belirlenmesi ve iyileştirici önlemlerin acil olarak uygulanması gerekmektedir. Özellikle ağır metal kirliliğinin azaltılması, hem doğal yaşamın korunması hem de uzun vadede İstanbul halkına sağlanan içme suyunun güvence altına alınması için yaşamsal önemdedir. Öte yandan, Karadeniz'i Marmara Denizi'ne bağlaması planlanan Kanal İstanbul projesinin Terkos Gölü havzasına yakın bir güzergâhtan geçecek olması, bölge için ilave çevresel riskler doğurabilir. Bu nedenle, gölün su kalitesinin iyileştirilmesi, korunması ve izlenmesi stratejik bir öncelik haline gelmiştir (Yılmaz ve diğ., 2021).

Sulak alan ekosistemlerinde kirliliğin etkilerini hafifletmede sucul bitkiler önemli bir rol oynamaktadır. Toprak üstü organlarında, topraktaki metal konsantrasyonundan 50 ile 500 katı daha fazla metal biriktirebilme özelliğine sahip bitkilere "hiperakümülatör bitki" denilmektedir. Ağır metalleri herhangi bir toksisite semptomu olmaksızın toprak üstü organlarında biriktirebilen yaklaşık 450 bitki türü "hiperakümülatör" olarak tanımlanmıştır. Önemli

hiperakümatör türlerden biri olan, *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. (yaygın adıyla "kamış" veya "saz"), dünya çapında geniş dağılım gösteren ve çoğu tatlı su kaynağında yaygın bulunan bir sucul bitkidir. *P. australis*, çok yıllık bir otsu bitki olup sazgiller (Poaceae) familyasına aittir. Bataklıklar, nehir deltaları, göl kenarları ve sulak çayırlarda büyük koloniler oluşturarak büyüyen, yaklaşık 2–4 m boya erişebilen bu bitki, güçlü rizomları ve yüksek biyokütlesi sayesinde geniş bir ekolojik tolerans aralığına sahiptir. Yüksek fenotipik plastisite göstermesi ve genetik çeşitliliği nedeniyle farklı çevresel koşullara uyum sağlayabilir; dolayısıyla rekabetçi karakteriyle bulunduğu habitatta baskın duruma geçebilir (Milke ve diğ., 2020). Tuzluluk, su seviyesi değişimleri, besin eksikliği veya ağır metal varlığı gibi stres etkenlerine toleransı yüksektir. *Phragmites australis*'in yıl boyunca alanda kalabilmesi ve yıllık olarak yenilenen yoğun bir biyokütle üretmesi, onu ekosistem içinde süreklilik arz eden bir öğe yapmaktadır (Kastratović ve diğ., 2013). *P. australis*'in dikkat çekici özelliklerinden biri de çeşitli kirleticileri, özellikle besin elementlerini ve ağır metalleri bünyesinde biriktirme kapasitesinin yüksek olmasıdır. Yapılan çalışmalar, bu türün hem toprak/sediman hem de su ortamından metal alarak kendi doku ve organlarında depolayabildiğini göstermektedir. Hatta *P. australis* dokularındaki ağır metal konsantrasyonlarının, bulunduğu ortamdaki sudan on katlar ile bin katlar mertebesinden daha yüksek olabileceği bildirilmiştir (Kastratović ve diğ., 2013). Bu çarpıcı birikim kapasitesi sayesinde *P. australis*, çevredeki ağır metal kirliliğinin indikatörü (gösterge tür) olarak da kullanılabilmektedir. Bitkinin farklı organları (kök, gövde, yaprak) arasında metal dağılımı homojen değildir. Genel olarak kök dokuları, ağır metallerin en yoğun biriktiği kısımlardır; gövde ve yapraklara göre köklerde çok daha yüksek metal konsantrasyonları tespit edilmiştir (Bonanno ve Lo Giudice, 2010; Kastratović ve diğ., 2013). Örneğin, Karadağ'daki Skadar Gölü'nde yürütülen bir çalışmada *P. australis*'in köklerinde incelenen çoğu metalin (Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn vb.) en yüksek düzeyde bulunduğu, yalnızca stronsiyum (Sr) elementinin yapraklarda köklere kıyasla daha fazla biriktiği rapor edilmiştir (Kastratović ve diğ., 2013). Bu bulgu, *P. australis*'in bir kök-birikimci bitki olduğunu ortaya koymaktadır. Aynı çalışmada, mevsimsel izlemeler sonucunda bitkinin kök ve gövdesindeki metal konsantrasyonlarının büyüme sezonu sonuna dek arttığı, yapraklardaki metal seviyelerinin ise bitki büyüme dönemi bittikten sonra dahi artmaya devam ettiği belirtilmiştir. Dolayısıyla ağır metal birikimi dinamik bir süreç olup bitkinin gelişim evrelerine göre değişebilmektedir. *Phragmites australis*'in yüksek metal toleransı ve birikim potansiyeli, onu biyomonitör ve fitoremediasyon amaçlı uygulamalar için ideal bir tür haline getirmektedir.

Pek çok araştırmada *P. australis,* sulak alanlardaki kirlilik düzeyini izlemek için biyolojik gösterge olarak kullanılmıştır (Aksoy ve diğ., 2005; Bonanno ve Lo Giudice, 2010). Bitki dokularında biriken metallerin analizi, bulunduğu ortamdaki kirlilik yükünü yansıtarak çevresel değerlendirme yapma olanağı sunar. Örneğin, Türkiye'de Sultan Sazlığı (Kayseri) bölgesinde yapılan bir çalışmada, *P. australis* ve diğer sucul bitkilerde ağır metal birikimi incelenmiş ve bitkilerin dokularındaki metal içerikleri kullanılarak sulak alanın kirlilik düzeyi başarıyla ortaya konmuştur (Aksoy ve diğ., 2005). Benzer şekilde, Sırbistan'daki Tisza Nehri deltası ve çevresinde *P. australis* üzerinde yürütülen çalışmalarda da bu bitkinin ağır metal kirliliğini izleme ve biriktirme kapasitesi vurgulanmıştır (Štrbac ve diğ., 2014). Sonuç olarak, *P. australis* gerek geniş coğrafi yayılımı gerekse yüksek metal akümülasyon yeteneği sayesinde kirlenmiş sucul habitatlarda doğal bir temizleyici ve gösterge işlevi görebilmektedir. Aynı zamanda yayılıcı rizomları ve yoğun kök ağı sayesinde *P. australis* bulunduğu ortamdaki sedimanı sabitleyerek erozyonu azaltır; bu fiziksel etkisiyle de besin maddeleri ve metal partiküllerinin tutulmasına ve suyun arınmasına katkıda bulunmaktadır.

Yaptığımız literatür çalışması sonucunda, Terkos Gölü'nde sucul sistemlerin birincil üreticilerinden kabul edilen ve yaygın olarak rastlanan makrofitlerden biri olan *Phragmites australis* bitki türünün bünyesinde ağır metal biriktirme kapasitesinin incelendiği herhangi bir araştırmaya rastlanmamış ve bu konuda ciddi bir eksiklik olduğu tespit edilmiştir. Bu tez çalışmasında, Terkos Gölü'nde yetişen *P. australis* bireylerinin kök ve sürgün dokularında biriken ağır metal konsantrasyonları incelenmiş, söz konusu bitkinin ağır metal biriktirme kapasitesi ortaya konmuştur. Elde edilen bulgular, Terkos Gölü'nün kirlilik durumunun biyolojik göstergeler yardımıyla değerlendirilmesine ışık tutacağı gibi, ileride uygulanabilecek fitoremediasyon temelli restorasyon çalışmaları için de bilimsel bir temel sağlayacaktır. Böylece, kirliliğin ekosistem üzerindeki etkilerinin daha iyi anlaşılması ve Terkos Gölü için ileriye dönük çevre yönetimi stratejilerinin şekillendirilmesi amaçlanmıştır.

2. GENEL KISIMLAR

2.1. *PHRAGMITES AUSTRALIS* (CAV.) TRIN. EX STEUD

Tez kapsamında incelenen tür olan *Phragmites australis*, Poaceae (buğdaygiller) familyasının bir üyesidir. Bu familya, genellikle tek ya da çok yıllık, otsu ve monokotil özellik gösteren bitkileri içermektedir (Delplace ve diğ., 2020). Buğdaygillerin gövdeleri boğum (nod) adı verilen eklemlerle ayrılmış olup, bu boğumlar arasındaki (internod) bölgelerde içi boşluklar bulunur. Bitkilerin yaprakları ise üç ana bölümden oluşur: yaprak ayası, yaprak kını ve dilcik (ligula). Yapraklar sapsızdır ve gövdeyi tamamen saran bir yaprak kınına sahiptir. Poaceae familyası üyeleri genellikle hermafrodit çiçek yapısına sahiptir; bu çiçekler 3 erkek organ (stamen) ve 1 dişi organ (pistil) içerir, ancak bazı türlerde çiçekler tek eşeyli olabilir. Çiçekler genellikle "spikula" adı verilen özel yapılarda gruplanmıştır ve çoğunlukla iki adet fırça benzeri stigma içerirler. Bu geniş familya dünya genelinde yaklaşık 780 cinse ve 12.000 türe sahiptir (Danelli ve diğ., 2020; Hyun ve diğ., 2020; Peterson ve diğ., 2020).

Phragmites australis, çok yıllık yaşam döngüsüne sahip, rizomlarla yayılan ve boyu 2 ile 6 metre arasında değişebilen uzun bir ot türüdür (Şekil 2). Bu bitki, soğuk ılıman kuşaklardan sıcak ve nemli tropik bölgelerdeki sulak alanlara kadar geniş bir coğrafi dağılıma sahiptir (Milke ve diğ., 2020; Alvarez-Robles ve diğ., 2022). Nehir ağızları (estuarin alanlar), büyük göllerin çevresi ve sulak alanlar, bu türün doğal olarak en sık rastlandığı habitatlardır. Ancak *P. australis* tohumla üreyebilmesinin yanı sıra güçlü rizom ve stolon yapılarıyla da vejetatif olarak yayılım gösterir; bu özellikleri onun doğada oldukça yaygın (kozmopolit) bir tür olmasına neden olmaktadır (Cuda ve diğ., 2021; Higgisson ve diğ., 2022). *P. australis*'in yüksek rekabet gücü, çevresel değişkenliklere karşı adaptasyon yeteneği ile ilişkilidir. Yapılan çalışmalar, bu türün farklı pH seviyelerine, tuzluluk derecelerine, toprak verimliliğine ve farklı toprak dokularına uyum sağlayabildiğini ve değişken iklim koşullarında da yüksek biyokütle üretme potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir (Nayak ve diğ., 2020; Xie ve diğ., 2021).

2.2.FİTOREMEDİASYON TEKNİKLERİ VE *PHRAGMITES AUSTRALIS*'İN EKOLOJİK RESTORASYONDAKİ ROLÜ

Ağır metal kirliliğinin giderilmesinde kullanılan çevre dostu yöntemlerden biri fitoremediasyon olarak adlandırımaktadır. Fitoremediasyon, bitkilerin ve onlara bağlı mikroorganizmaların kirleticileri ortamdan uzaklaştırmak veya zararsız forma dönüştürmek amacıyla kullanıldığı bir iyileştirme teknolojisidir (Shen ve diğ., 2022). Bu yaklaşım, geleneksel fizikokimyasal arıtma yöntemlerine kıyasla daha düşük maliyetli ve sürdürülebilir olması nedeniyle önem kazanmıştır (Shen ve diğ., 2022). Fitoremediasyon kapsamında bitkiler farklı mekanizmalarla etki gösterir: fitoekstraksiyon (bitkilerin ağır metalleri kökleriyle alıp bünyelerinde biriktirmesi), fitostabilizasyon (metallerin bitki kökleri tarafından tutulup toprağa veya sedimana bağlanarak hareketsiz hale getirilmesi), fitovolatilizasyon (bazı metallerin bitki metabolizmasıyla uçucu bileşiklere dönüştürülüp atmosfere salınması) ve rizofiltrasyon (özellikle hidroponik sistemlerde bitki köklerinin sudaki metalleri süzerek tutması) en yaygın alt-uygulamalardır (Shen ve diğ., 2022). Bazı diğer sucul makrofit türleri de (ör. hasırotu *Typha* türleri, su sümbülü *Eichhornia crassipes* gibi) ağır metal giderimi potansiyeli açısından araştırılmıştır; ancak *P. australis* geniş coğrafi yayılımı, yüksek biyokütlesi ve dayanıklılığı ile bu alanda özellikle dikkat çekmektedir (Kuntal ve Reddy, 2014). Uygun tür seçildiğinde ve doğru uygulandığında, fitoremediasyon ile ağır metal konsantrasyonları zamanla azaltılabilir veya metaller biyokütlede toplanarak düzenli hasat yoluyla ekosistemden uzaklaştırılabilir. Sulak alanlar, fitoremediasyon uygulamalarının doğal veya yapay olarak gerçekleştirilebildiği önemli ortamlardır. Yapay sulak alan sistemleri, kirli suların bitkiler yardımıyla arıtılması için dünya genelinde yaygın olarak kurulmaktadır (Milke ve diğ., 2020). Bu sistemlerde genellikle *P. australis* gibi sucul makrofitler tercih edilir; çünkü bu bitki hem hızlı büyüme hem de yüksek kirletici toleransı ile öne çıkmaktadır. Son yirmi yılda *P. australis*, atıksu arıtımı için tasarlanan yapay sulak alanlarda en sık kullanılan türlerden biri olmuştur (Kastratović ve diğ., 2013). Bitkinin kök ve rizom ağı, akuatik sistemde doğal bir filtre gibi çalışarak su kolonundaki ağır metalleri ve fazla besin maddelerini tutar (Vymazal, 2011). Gerçekten de, *P. australis* kullanılan bazı yapay sulak alan uygulamalarında kurşun ve çinko gibi metallerin su konsantrasyonlarında aylık periyotlar sonunda önemli düşüşler kaydedilmiştir; bu gözlemler bitkinin arıtım potansiyelini doğrulamaktadır (Milke ve diğ., 2020). Fitoremediasyonun başarısı, bitkinin metali tolere etme ve biriktirme kapasitesine bağlıdır. *P. australis*, hem yüksek metal biriktirme potansiyeli hem de geniş biyokütlesi sayesinde bu açıdan ideal adaylardan

biridir (Milke ve diğ., 2020). Elbette, fitoremediasyon yönteminin uygulanabilirliği ise çeşitli faktörlere bağlıdır. Çok yüksek düzeyde kirlenmiş ortamlarda bitkilerin büyümesi kısıtlanabileceğinden arıtma hızı yavaş olabilir; ayrıca kirliliğin giderimi için uzun süre gerekebilir. Bu nedenle fitoremediasyon, bazı durumlarda tek başına yeterli olmayıp diğer arıtım yöntemleriyle birlikte kullanılmaktadır (Shen ve diğ., 2022). Bununla birlikte, düşük maliyetli oluşu ve çevreye ikinci bir kirlilik yükü getirmemesi, fitoremediasyonu çevresel restorasyon projelerinde vazgeçilmez bir araç haline getirmektedir. Nitekim, *P. australis* üzerinde yapılan bir araştırma, bitkinin büyüme mevsimi sonunda gövde ve yapraklarında biriktirdiği metal miktarlarının en üst düzeye ulaştığını, bu dönemde yapılacak bir hasatla önemli miktarda metalin sistemden çıkarılabileceğini ortaya koymuştur (Kastratović ve diğ., 2013). Terkos Gölü özelinde değerlendirildiğinde, göl kıyılarında doğal olarak bulunan *P. australis* popülasyonu, kirleticilerin tutulması ve ekosistemin kendi kendini arıtma kapasitesi bakımından potansiyel bir fayda sağlamaktadır.

2.3. ANALİZ EDİLEN AĞIR METALLERİN ÖNEMİ VE ETKİLERİ

2.3.1. Alüminyum (Al)

Alüminyum, bazı kaynaklarda yararlı bir element olarak değerlendirilebilse de, pek çok çalışmada ağır metaller arasında sınıflandırılmakta ve toprakta en bol bulunan elementlerden biri olarak öne çıkmaktadır (Gerard ve Gray, 2015). Alüminyumun yaygın kullanımı yalnızca sanayi ürünleriyle sınırlı kalmaz; mutfak araç gereçlerinden, mide asidine karşı kullanılan ilaçlara ve terlemeyi önleyici kozmetik ürünlere kadar geniş bir alana yayılmıştır (Sanajou ve diğ., 2021). Alüminyum konsantrasyonları yüzey sularında zamanla artış gösterebilir ve bu artış yalnızca doğal süreçlere değil, aynı zamanda sanayi atıkları ve belediye kaynaklı boşaltımlar gibi insan kaynaklı etkenlere de bağlanmaktadır. Ayrıca içme suyunda Al genellikle $Al_2(SO_4)_3$ formunda bulunabilir. Alüminyumun toprakta ve suda kalıcılığı ile hareketliliği, elementin çevresel koşullara duyarlılığını gösterir ve bu davranışlar; ortamın pH seviyesi, sıcaklığı, organik madde içeriği gibi fiziksel ve kimyasal faktörlerle doğrudan ilişkilidir (Shetty ve diğ., 2021; Ozturk ve diğ., 2023). Her ne kadar Al ve bileşiklerinin çözünürlüğü pH 6-8 arasında oldukça düşük olsa da, son dönemde yapılan çalışmalar, bazı yüzey suyu örneklerinde Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve ABD Çevre Koruma Ajansı'nın (US EPA) belirlediği sınır olan 0.2 mg/L değerini aşan Al düzeylerine rastlandığını göstermektedir. Özellikle pH düşüşüyle birlikte, çözünmüş Al bileşiklerinin derişimi artabilir; bu durum ilkbahar aylarında karların

erimesi ya da fırtına sonrası oluşan erozyon gibi geçici doğal olaylardan kaynaklanabileceği gibi, asidik maden drenajı ya da hatalı gübreleme gibi insan faaliyetlerinden de ileri gelebilir (Artiola ve diğ., 2019). Hayvanlar üzerinde yapılan çalışmalarda ise Al'un sinir sistemi üzerinde zararlı etkiler oluşturduğu saptanmış; bu elementin kan-beyin bariyerini geçerek ya da koku alma sinirleri yoluyla merkezi sinir sistemine ulaştığı bildirilmiştir (Closset ve diğ., 2021). Ayrıca, uzun süreli Al maruziyetinin Amyotrofik Lateral Skleroz (ALS), Alzheimer hastalığı, demans ve Parkinson gibi çeşitli nörolojik bozukluklarla ilişkili olabileceğine dair bilimsel veriler mevcuttur (Maya ve diğ., 2016; Dey ve Singh, 2022).

2.3.2. Bakır (Cu)

Bakır, bitkiler için gerekli olan mikro besin elementlerinden biri olmasına rağmen, yüksek yoğunluğa sahip olması nedeniyle çevresel çalışmalarda genellikle ağır metaller arasında sınıflandırılmaktadır. Canlı organizmalar için yaşamsal öneme sahip olan Cu, özellikle antioksidan mekanizmalar, bağışıklık sistemi yanıtları ve nöropeptid üretimi gibi çok sayıda biyolojik süreçte görev almaktadır (Polutchko ve diğ., 2021). Bakır, vücut boyunca farklı dokularda çeşitli biyolojik ve metabolik işlevlerin düzenlenmesine katkı sağlar. Özellikle antioksidatif savunma sistemlerinde ve metalloenzimlerin yapısında yer alarak, hücresel oksidatif stresin azaltılmasında rol oynar. Ayrıca Cu, demir metabolizmasının düzenlenmesi, bağışıklık sistemi tepkileri ve nörolojik fonksiyonların sağlıklı yürütülmesi gibi pek çok fizyolojik sürece de dahil olur (Dawood, 2022). Sitokrom oksidaz gibi enzimler aracılığıyla hücresel solunum zincirinde yer alan bakır, oksijenin suya dönüştürülmesi gibi önemli redoks reaksiyonlarında aktif görev alır. Bununla birlikte, özellikle su ürünleri yetiştiriciliği çalışmalarında Cu'nun patojenlere karşı antibakteriyel ve antifungal etkileri üzerine yoğunlaşılmıştır. Aynı zamanda memelilerde bağışıklık sistemini uyarıcı, yangı önleyici (anti-inflamatuar) ve metabolik süreçleri düzenleyici özellikleriyle bilinmektedir (Zhang ve diğ., 2021). Ancak yüksek miktarlarda Cu maruziyeti ciddi toksik etkiler doğurabilir. Literatürde, başta balıklar olmak üzere laboratuvar hayvanlarında yapılan araştırmalar, yüksek doz Cu alımının oksidatif doku hasarı, iltihaplanma, hemolitik anemi, hemoglobinüri, karaciğer enzimlerinde (AST, GGT) artış ve hatta ölümle sonuçlanan olumsuzluklara yol açtığını göstermiştir (Pohanka, 2019; Pereira ve diğ., 2016). İnsanlarda da içme suyuyla uzun süre yüksek dozda bakır alınması durumunda mide bulantısı, kusma, ishal, karın ağrıları gibi sindirim sistemi problemleri ortaya çıkabilir. Özellikle 1 yaş altındaki çocuklar gibi hassas

gruplarda, 14 gün boyunca 1000 µg/L'nin üzerinde Cu içeren su tüketimi sonucunda karaciğer ve böbrek yetmezliği riski ciddi düzeyde artabilir (Çağlarırmak ve Hepçimen, 2010). Her ne kadar ağır bakır zehirlenmesi nadir görülse de, bu durum gerçekleştiğinde genellikle çoklu organ yetmezliği, koma, şok, idrar üretiminde azalma (oligüri) ve hemolitik anemi gibi ağır klinik belirtilerle seyreder. İntravasküler hemoliz (damar içi alyuvar yıkımı), karaciğer ve böbrek hasarı en sık karşılaşılan sonuçlar arasındadır (Pohanka, 2019). Ayrıca, Wilson hastalığı gibi genetik kaynaklı bakır metabolizması bozuklukları da literatürde tanımlanmıştır. Bu hastalıkta, karaciğer ve beyin başta olmak üzere dokularda anormal miktarda Cu birikir ve bu birikim, ilerleyen aşamalarda toksik etkiler doğurabilir (Pohanka, 2019; Harada ve diğ., 2020).

2.3.3. Çinko (Zn)

Çinko, bitkiler için gerekli mikro elementler arasında yer alsa da, yoğunluğu nedeniyle ağır metaller sınıfında değerlendirilmektedir. Doğada genellikle +2 oksidasyon basamağında bulunan Zn, tüm canlılar için düşük miktarda alınması gereken temel bir elementtir (Guo ve diğ., 2019). Karbonhidrat metabolizmasında yer alan birçok enzimin aktivasyonunda görev alarak enerji üretiminde rol oynar (Suganya ve diğ., 2020). Ancak aşırı Zn alımı durumunda mide krampları ve ishal gibi sindirim sistemi rahatsızlıkları görülebilir. Ayrıca deney hayvanları üzerinde yapılan araştırmalarda çinkonun kanserojen etkilere yol açabileceği de rapor edilmiştir (Çağlarırmak ve Hepçimen, 2010).

2.3.4. Demir (Fe)

Demir, bitkiler için gerekli mikro elementlerden biri olmakla birlikte yoğunluğu nedeniyle ağır metaller arasında değerlendirilir. Hücre metabolizmasında oksijen taşınımı, elektron transferi ve çeşitli biyokimyasal tepkimelerde görev alarak yaşamsal öneme sahiptir (Philpott, 2018). Ancak hem demir eksikliği hem de fazlalığı canlılar üzerinde olumsuz etkilere yol açabilir; özellikle yüksek konsantrasyonları hücrelerde oksidatif stres oluşturarak hasar ve ölümle sonuçlanabilir (Yauger ve diğ., 2019). Bitkilerde klorofil sentezine katılan pek çok enzimin çalışması için gerekli olan Fe, özellikle sulak alan bitkilerinde kirleticilere karşı toleransı da artırır (Li ve diğ., 2018). Ayrıca fotosentez, solunum, azot ve kükürt metabolizması ile DNA sentezi gibi pek çok süreçte rol oynayan bu element, çevrede biriktiğinde insan faaliyetlerine bağlı olarak toksisite riski oluşturur (Ibanez ve diğ., 2021).

2.3.5. Kobalt (Co)

Kobalt, ferromanyetik özelliğe sahip bir element olup doğada yaygın şekilde bulunur ve pillerden boyalara kadar birçok endüstriyel üründe kullanılır (Ullah ve diğ., 2020). B12 vitamini gibi önemli biyomoleküllerin yapısında bulunan Co, vücutta az miktarda faydalı olsa da, aşırı maruz kalındığında toksik etkilere neden olabilir (Jaiswal ve diğ., 2019). Co'nun gıdalar, diyet takviyeleri ya da tıbbi cihazlar yoluyla alınması sonucu oluşan maruziyet; sinir iltihabı, işitme kaybı, görme siniri hasarı ve nörolojik bozukluklar gibi sağlık sorunları yaratabilir (Leyssens ve diğ., 2017). Bitkiler ve hayvanlar için yararlı olarak sınıflandırılsa da yüksek düzeylerde toksik etkiler gösterebilen Co, özellikle asidik topraklarda daha yüksek biyoyararlanıma sahip olup besin zincirine taşınarak risk oluşturabilir (Ejaz ve diğ., 2022; Srivastava ve diğ., 2022).

2.3.6. Krom (Cr)

Krom, farklı oksidasyon formları nedeniyle çevrede farklı davranışlar sergileyen bir metaldir. Cr(III) formu doğal kaynaklarda bulunan ve insanlar için gerekli bir eser element iken, Cr(VI) çoğunlukla sanayi kaynaklı olup yüksek toksisiteye sahiptir (Hossini ve diğ., 2022). Cr(VI) bileşikleri özellikle tekstil boyaları, plastikler, deri sanayi ve metal kaplama gibi alanlarda yaygın kullanılır (Ferreira ve diğ., 2019). Yüksek miktarda krom alımı durumunda mide bağırsak sorunları, kanama, nöbet ve dolaşım sistemi bozuklukları gibi ciddi belirtiler ortaya çıkabilir ve bu durum ölümle sonuçlanabilir (Çağlarırmak ve Hepçimen, 2010).

2.3.7. Kurşun (Pb)

Kurşun, çeşitli endüstriyel alanlarda kullanımı yaygın olan, fiziksel özellikleri bakımından dikkat çeken bir ağır metaldir. Özellikle tetraetil kurşun içeren yakıtların yanmasıyla çevreye yayılan Pb, sulara endüstriyel atıklarla karışarak denizel canlılara da ulaşabilir. Toksik etki gösterebilmesi için vücutta belli bir düzeyde birikmesi gerekir. Çocuklar için 40-80 µg/100 mL arası kurşun düzeylerinde toksik belirtiler gözlenirken, 80 µg/100 mL üzerindeki değerler zehirlenmeye yol açar. Özellikle çocuklarda zeka geriliği, öğrenme bozuklukları ve sinir sistemi hasarları görülebilirken, ağır vakalarda ölümle sonuçlanan beyin hasarı oluşabilir. Kurşun saç, diş ve kemik gibi dokularda birikerek geçmiş maruziyet hakkında da bilgi verir. Antropojenik etkiler nedeniyle Pb'nin hava, su ve toprakta kolayca taşınabilir olması, insan sağlığı için önemli bir tehdit oluşturur (Çağlarırmak ve Hepçimen, 2010; Niemeier ve diğ., 2022).

2.3.8. Mangan (Mn)

Mangan, hem bitkiler hem de hayvanlar için gerekli olan bir mikro elementtir ve çeşitli metabolik ve fizyolojik süreçlerde görev alır. Doğal olarak toprakta bulunan Mn, aynı zamanda sanayi kaynaklı emisyonlar ve toprak erozyonu ile çevreye yayılabilir (Matveeva ve diğ., 2022). Enerji üretimi, redoks reaksiyonları ve sinir sistemi gelişimi gibi hayati işlevlerde yer alır (de Oliveira, 2017). İnsanlarda mangan eksikliği nadir görülse de, fazla alındığında sinir sistemi üzerinde olumsuz etkiler yaratabilir. Diyetteki yüksek Mn seviyeleri nedeniyle eksiklik çok yaygın değildir, ancak aşırı maruziyet beyinle ilişkili sağlık sorunlarına yol açabilir (Erikson ve Aschner, 2019; Martins ve diğ., 2020; Miah ve diğ., 2020).

2.3.9. Nikel (Ni)

Nikel, hem doğada yaygın şekilde bulunan hem de sanayide çeşitli alanlarda kullanılan toksik bir ağır metaldir. Paslanmaz çelik, elektronik, takı ve pil üretimi gibi birçok ürünün içinde yer alır ve çevreye çoğunlukla fosil yakıt kullanımı, madencilik ve atık yönetimi süreçleriyle yayılır (Das ve diğ., 2019; Jamshaid ve diğ., 2018). Ni, hormon dengesi üzerinde olumsuz etkilere sahip olup, özellikle prolaktin ve FSH gibi hormonları etkileyebilir. Ayrıca kontakt dermatit gibi alerjik reaksiyonlar da yaygındır (Genchi ve diğ., 2020). Solunum yoluyla maruziyetin akciğer fibrozu, kardiyovasküler rahatsızlıklar ve böbrek hastalıkları ile ilişkili olduğu bildirilmektedir (Khan ve diğ., 2022). 7–35 mg/kg gibi dozlarda vücuda alındığında, mide bulantısı, kusma, ishal, nefes darlığı ve organ hasarları görülebilir (Çağlarırmak ve Hepçimen, 2010). Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı, Ni ve bileşiklerini insanlar için kanserojen olarak sınıflandırmaktadır (Di Bucchianico ve diğ., 2018). Bitkilerde düşük düzeylerde faydalı olsa da, yüksek miktarlarda fotosentez, büyüme ve çimlenmeyi olumsuz etkiler; verim ve kalite düşüklüğüne neden olur (Hassan ve diğ., 2019).

Tablo 2.1. Ağır metallerin su, toprak ve bitki için kabul edilen sınır değerleri (EPA, 2004; SWQRT, 2015.

Element	**Su için sınır değerleri** $\mu g\ L^{-1}$	**Toprak için sınır değerleri**	**Bitkiler için sınır değerleri** $mg\ kg^{-1}$

		mg kg^{-1}	
Al	≤300-1000	10000-40000	40-500
Co	≤10-200	4.5-12	0.05-0.57
Cr	0-50	0.5-54	0.005-18
Cu	≤20-200	25-75	5-30
Fe	≤300-5000	5000-50000	50-250
Mn	≤100-3000	10-9000	30-300
Ni	≤20-200	0.2-450	0.5-5
Pb	≤10-50	10-40	5-30
Zn	≤200-2000	3-300	20-150

2.4. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Su kaynaklarının su kalitesi ve kirlilik seviyesinin ortaya konması için öncelikli olarak biyolojik indikatör türler, fizikokimyasal parametreler ve ağır metal konsantrasyonları tespit edilmelidir. Bu sayede mevcut su kaynaklarının kullanım alanlarının yeniden düzenlenmesi, iyileştirilmesi ve korunması sağlanacaktır. Terkos Gölü'nde daha önce yapılan araştırmalar incelendiğinde, zooplankton (Güher, 2002; Güher ve diğ., 2004), su kaynaklı mantarlar (Asan ve diğ., 2003), fitoplankton bileşimi (Temel, 2005), kerevitlerdeki toplam metal seviyeleri (Kurun, 2010) ile gölde yaşayan kadife balığı üzerindeki parazitler (Demirtaş, 2011) hakkında birkaç limnolojik araştırmaya rastlanmıştır. Gölün fitoplankton kompozisyonu ile bazı fizikokimyasal parametreleri gölü besleyen nehirlerde Yılmaz ve Güleçal (2012) tarafından daha önce bir çalışmada incelenmiştir. Yılmaz ve diğerleri (2021) göl suyunda ve gölü besleyen derelerde bazı ağır metallerin birikimi, besin tuzları ve fitoplankton kompozisyonunu inceleyerek gölün kirlilik seviyesini araştırmışlardır. Mülayim ve diğerleri, 2022 yılında yaptıkları araştırmada gölde *Astacus leptodactylus* türünde mikroplastik birikimini incelemişlerdir. Tez çalışmamızda kullandığımız *Phragmites australis* bitki türünün pek çok araştırmada bünyesinde yüksek ağır metal biriktirme kapasitelerine sahip hiperakümülatör bitki olarak kullanabileceği bildirilmiştir. Aktürk (2016) tarafından Terkos Gölü'nde bazı makrofitlerde (*Ceratophyllum demersum, Trapa natans, Myriophyllum spicatum, Potamogeton perfoliatus*) fitoremediasyonun araştırıldığı bir yüksek lisans tezi yürütülmüştür. Ancak literatür çalışmamız sonucu sucul sistemlerin birincil üreticilerinden kabul edilen makrofitlerden biri olan *Phragmites australis*

bitki türünün bünyesinde ağır metal biriktirme kapasitesinin incelendiği herhangi bir araştırmaya rastlanmamış ve bu konuda ciddi bir eksiklik olduğu tespit edilmiştir.

Türkiye'de ve dünyada sucul sistemlerde, su ve sediment örnekleriyle *Phragmites australis* bitkisinde ağır metal biyoakümülasyonunun araştırıldığı pek çok araştırma bulunmaktadır. Demirezen ve Aksoy (2005) tarafından Sultan Sazlığı'nda sediment ve su ile birlikte makrofitlerden *Phragmites australis, Typha angustifolia, Potamogeton pectinatus, Ranunculus sphaerosphermus* ve *Groenlandia densa*''a demir ve manganez konsantrasyonları ölçülmüştür. Araştırma sonucunda *P. pectinatus*''un dokularının, *G. densa*'nın dokularından daha fazla ağır metal biriktirdiği bulunmuştur. Her ne kadar çevresel baskıları belirlerken tüm bu bitkilerin biyolojik gösterge olarak kullanılabileceği ortaya konmuş olsa da, *Phragmites australis*'in bu tür çalışmalar için daha uygun olduğu kanıtlanmıştır.

Akın ve Bingöl (2019) tarafından Kütahya'nın Köprüören bölgesindeki Kocasu Nehri ile bu nehirle bağlantılı iki göletin kıyılarında yayılış gösteren bazı sulak alan bitkilerinde (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. Ex Steud, *Typha latifolia* L., *Nasturdium officinale* L., *Lemna minor* L., *Lythrum salicaria* ve *Ceratophyllum demersum* L.) bor, çinko ve arsenik düzeyleri ile birlikte su ve sediment örneklerinde bor, çinko, arsenik, gümüş, kurşun, bakır, kadmiyum ve krom elementlerinin miktarları incelenmiştir. Çalışma sonunda, arsenik elementinin sedimentte oldukça yüksek seviyelerde bulunduğu (288,66 mg/kg), su örneklerinde ise borun en yüksek konsantrasyonda ölçüldüğü (903 µg/L) belirlenmiştir. Araştırmada ayrıca, en fazla çinko, bor ve arsenik birikimi gösteren makrofit türlerinin sırasıyla *Ceratophyllum demersum, Lemna minor* ve *Nasturdium officinale* olduğu ortaya konmuştur.

Hayta ve diğ. (2023) tarafından Bitlis ili sınırlarında bulunan Türkiye' nin en önemli sulak alanlarından biri olan Demir Sazlıkları' nda üç sucul bitki türünde (*Juncus gerardii* Loisel. subsp. gerardii, *Phragmites australis* (Cav.) Trin. Ex Steud. ve Carex diluta M. Bleb. subsp. diluta) ve çevresindeki su ve sedimentte ağır metal (Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb, As) içeriği ve makrobesinler (Mg, Ca) belirlenmiştir. Araştırma sonuncunda suda silikon ve bor içeriklerinin volkanik alanlardan gelen su kaynaklarıyla beslenen sazlıklardan dolayı sınır değerlerin üzerinde saptanırken, bitkilerde, toprakta ve sedimentte ölçülen eser metaller açısından herhangi bir sorun görülmemiştir.

Sahmurova ve diğ. (2010), Küçükçekmece Gölü sınırından elde ettikleri *Labiatae galatica, Compositae cardueae, Cypereace carex* ve *Phragmites australis* bitki türlerinde Cd ve Zn içeriklerini aylık olarak izleyerek, birikim yeteneğine sahip bitki türlerinin belirlenmesini amaçlamışlardır. Araştırma sonucunda, ortalama ağır metal alım performansı açısından en verimli türün *Compositae cardueae* olduğu sonucuna varılmıştır.

Yalçın ve Altay (2023), Asi Nehri (Hatay)'nde *Arundo donax* ve *Phragmites australis* türlerini 4 farklı dönemde (Haziran ve Ekim) 2 yıl boyunca incelemişlerdir. Bitkilerdeki ağır metal ve mineral element birikimleri değerlendirerek, su-toprak-bitki ilişkilerini ortaya çıkarmışlardır. İncelenen bitki türlerinin farklı kısımlarındaki element dağılımları, biyoakümülasyon faktörleri (BAF) ve translokasyon faktörleri (TF) de belirlenmiştir. Bu araştırma sonucunda Asi Nehri ekosisteminin bazı kısımlarındaki makro-mikro elementler ve ağır metal birikim seviyeleri, ilkbahar dönemlerine kıyasla sonbahar dönemlerinde önemli ölçüde daha yüksek bulunmuş; *A. donax*'ın Cd, Cr ve Ni için, *P. australis*'in ise Cd, Co, Cu, Ni, Pb ve Zn için çok yönlü birikim özellikleri ile yüksek birikim yeteneği ortaya konmuştur.

Sancer ve Tekin-Özan (2016) tarafından Kovada Gölü'nden mevsimsel olarak su, sediment ve *Phragmites austrialis*'in kök, gövde ve yapraklarındaki ağır metal konsantrasyonları belirlenmiştir. Fe, su ve sedimentte çalışılan metaller arasında en yüksek, Cd ise en düşük seviyede tespit edilmiştir. *P. australis*'in kökünde yüksek seviyelerde ağır metaller bulunurken, gövde ve yaprak örneklerinde daha düşük seviyelerde bulunmuş ve elde edilen verilere göre, tarımsal gelişmeye bağlı olarak gelecekte Kovada Gölü için potansiyel bir tehlikenin oluşabileceği bildirilmiştir.

Duman ve diğ. (2007) tarafından *Phragmites australis* ve *Schoenoplectus lacustris* ile sediment örnekleri her üç ayda bir Sapanca Gölü'nden toplanarak, ağır metal içerikleri (Pb, Cr, Cu, Mn, Ni, Zn ve Cd) analiz edilmiştir. En yüksek konsantrasyon kök sistemlerinde ölçülürken, nispeten düşük konsantrasyonlar rizom ve bitkilerin yerüstü kısımlarında bulunmuştur. *P. australis*'in kök birikim oranlarının genellikle *S. lacustris*'ten daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Kök birikim oranları *P. australis* için kışın diğer mevsimlere göre daha yüksekken, *S. lacustris* için en yüksek birikim oranları sonbaharda kaydedilmiştir. Her iki bitki türünde Pb, Cu, Mn, Ni, Zn ve Cd 'nin Sapanca Gölü'nde kök biriktiricileri olduğu sonucuna varılmıştır.

Aksoy ve diğ. (2005) tarafından Sultan Sazlığı (Kayseri)'nda su, sediment ile *Phragmites australis* ve *Ranunculus sphaerosphermus* bitkilerinin ağır metal durumu üzerine çalışmalar yapılmıştır. Bitkilerin köklerindeki Cr konsantrasyonu sedimenttekinden daha yüksek bulunmuştur. *Phragmites australis*'in dokuları, *Ranunculus sphaerosphermus*'un dokularından daha fazla ağır metal biriktirmiştir. Her iki bitkinin de çevresel baskıları belirleyen biyolojik gösterge olarak kullanılabileceği belirlenirken, *P. australis* türünün bu tür çalışmalar için daha uygun olduğu bildirilmiştir.

Topal ve Topal (2020) tarafından, *Phragmites australis*'in arıtılmış kümes hayvanı mezbahası atık suyunu alan Hinsor Deresi (Elazığ)'nde kurşun ve nikel alma yeteneği değerlendirilmiştir. Ni alımı, kümes hayvanı atık suyuna maruz kalan *P. australis*'te Pb alımından daha yüksek bulunmuştur. Sonuç olarak, mezbahanın atık suyuna maruz kalan *P. australis*'in Pb ve Ni alma yeteneğine sahip olduğu tespit edilmiş; bu bitkinin Pb ve Ni metallerinin uzaklaştırılması ve fitoremediasyonu için kullanılabileceği bildirilmiştir.

Topal (2021) tarafından Hinsor Deresi kümes hayvanı mezbaha atık suyuna maruz kalan *Phragmites australis* bitkisi tarafından bazı metallerin biyoakümülasyonu araştırılmıştır. Bu amaçla, mezbaha atık sularında, *P. australis* bitkilerinde ve sediment örneklerinde Mo, As, Cd, Se, Cu, Zn, Cr, Ba, Ti, Fe, Al ve Mn metalleri belirlenmiştir. Kümes hayvanı mezbaha atık sularına maruz kalan *P. australis* bitkilerinde maksimum metal birikimi, referans bitki değerleriyle karşılaştırıldığında Al için %5900 ve Mn için %33,5 olmuştur. Sonuç olarak, *P. australis* bitkisinin kümes hayvanı kesimhane atık sularında bulunan metallerin arıtımında kullanılabileceği ve iyi bir biriktirici olacağı belirlenmiştir.

Osma ve diğ. (2015) tarafından biyoizleme kapasitesini değerlendirmek amacıyla Karasu Nehri sediment ve *Phragmites australis* (Cav.) bitki örneklerindeki ağır metal konsantrasyonları (Fe, Zn, Mn, Ni, Cr, Cu, Pb, Co ve Cd) ve mineral besin seviyeleri (K, Ca, Mg, Na, Al ve B) karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Sediment örneklerinde yüksek konsantrasyonda Ni ve Cr metalleri tespit edilirken, *P. australis*'in kök ve yaprak örneklerinde sırasıyla Cd ve Zn için aşırı birikim belirlenmiştir.

Özçelik ve Tekin-Özan (2023) tarafından Eğirdir Gölü'nde yetiştirilen *Phragmites australis* ve *Typha angustifolia*'nın organlarındaki ağır metallerin (Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Se ve Zn) mevsimsel değişimlerinin belirlenmesi ve bu bitkilerin biyoakümülasyon faktörü (BF)

hesaplanarak fitoremediasyon için kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu araştırmanın sonucunda, her iki bitkinin de özellikle Mo ve Zn için birikim yeteneklerine sahip olduğu belirlenmiş, ekonomik olmaları ve çevreye zarar vermemeleri gibi avantajları nedeniyle bu bitkilerin Eğirdir Gölü'nün mevcut durumunu iyileştirmek için kullanılabileceği bildirilmiştir.

Altıntıg ve diğ. (2016) tarafından, Türkiye'nin kuzeybatısında bulunan Aşağı Sakarya Nehri havzasındaki (Poyrazlar Gölü, Taşkışı Gölü, Sapanca Gölü ve Acarlar Longozu) bazı sucul bitkilerde (*Phragmites australis* (Cav.)Trin., *Eleachoris palustris* (L.) Roemer&Schultes ve *Thypa latifolia* L.) ağır metal (Pb, Cr, Cu, Mn, Ni, Zn ve Cd) birikimleri belirlenmiştir. Araştırma sonucunda bu sucul bitkilerin ağır metalleri alımı ve birikiminin zamansal değişimler gösterdiği, bitkilerdeki elementlerin birikimindeki en yüksek miktarın genellikle sonbahar ve kış aylarında gözlendiği bildirilmiştir.

Ait Ali ve diğ. (2004) tarafından kadmiyumun ve kadmiyum, bakır ve çinkonun kombine uygulamalarının büyüme, tolerans endeksleri, mineral bileşimi (N, P, K, Fe, Zn ve Mn) ve kamışın metal alımı üzerindeki etkileri (*Phragmites australis* [(Cav.) Trin. ex Steudel]) hidroponik deneylerde, değişen Cd konsantrasyonu tek başına veya farklı Cu ve Zn uygulamalarıyla birlikte araştırılmıştır. *Phragmites australis*'in Cd'ye tolerans seviyesi ve Cd' nin giderilmesi için atık su arıtımında yararlı olabileceğini, ancak, atık sularda aynı anda yüksek Cd, Cu ve Zn konsantrasyonunun bulunmasının, verimliliği sınırlandırabileceği sonucuna varılmıştır.

Brezinova ve Vymazal (2022) tarafından *Phragmites australis*'in hem inşa edilmiş sulak alanlarda hem de doğal alanlardaki ağır metal dağılımı incelenmiştir. Bu amaçla üç tam ölçekli inşa edilmiş sulak alan ve beş doğal sulak alan seçilerek *P. australis*'in sürgünleri Cu, Cd, Cr, Ni, Pb ve Zn açısından analiz edilmiştir. Sonuç olarak, en yüksek biyokütlenin, inşa edilmiş sulak alanlarda % 38 ve doğal sulak alanlarda % 42 olmak üzere sürgünlerin taban kısımlarında kaydedildiği ortaya konmuştur.

Al-Abbawy ve diğ. (2021) tarafından Irak'taki su ortamlarının kirlenme derecesini tanımlamak için, Irak'ın güneyindeki Al-Hawizeh Bataklığı'nın farklı yerlerinden altı su bitkisi (*Azolla filiculoides, Ceratophyllum demersum, Potamogeton pectinatus, Najas marina, Phragmites australis* ve *Typha domingensis*) için bazı ağır metallerin analizleri (Fe, Ni, Cr, Cd, Pb ve Zn) gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, su bitkilerindeki kadmiyum, krom ve demir konsantrasyonlarının

Dünya Sağlık Örgütü' nün (WHO) izin verdiği değerlerin üzerinde olduğunu gösterirken, çinko, bakır ve kurşun için izin verilen sınırlar içinde bulunmuştur. Sonuç olarak *C. demersum* ve *N. marina*'nın diğer su bitkilerine göre daha yüksek konsantrasyonda ağır metal birikimi gösterdiği tespit edilmiştir.

Farad ve diğ. (2016) tarafından bölgedeki baskın bitkilerin etkilerini ve sucul makrofitlerin yeraltı organlarındaki çinko (Zn), kurşun (Pb), bakır (Cu) ve kadmiyum (Cd) gibi elementleri izlemedeki rolünü araştırmak için *Phragmites australis* adlı bir sucul makrofitin yaprakları ve gövdeleri ile İran'ın Dez Nehri'nden alınan sediment örnekleri incelenmiştir. *Phragmites australis*'in yeraltı organları, Biyo-birikim Endeksi ile Cu, Zn, Pb ve Cd'nin biriktiricisi olarak tanımlanırken; Translokasyon Faktörü, sırasıyla Pb, Cd, Cu ve Zn için yeraltı, yerüstü organlarına doğru artış gösterdiği tespit edilmiştir.

Borowiak ve diğ. (2016) tarafından Bogdanka Nehri (Poznań, Polonya)'nde farklı ortamlardaki ağır metal konsantrasyonundaki değişiklikleri dönemler boyunca izlenmiş; iki kıyı bitkisi *Phragmites australis* ve *Typha angustifolia*'nın, doğal koşullar altında fitoremediasyon potansiyeli değerlendirilmiştir. Araştırmalar, su ve sedimentte ağır metal konsantrasyonunda farklılıklar olduğunu ve sedimanda sudan daha yüksek değerler gözlemlendiğini göstermiştir. Sedimanda Cd ve Pb'nin konsantrasyonlarında büyüme mevsimleri boyunca tespit edilen azalma, seçilen üç su rezervuarından ikisinde kaydedilmiş ve bu kadmiyum ve kurşunun bu su bitkileri tarafından adsorpsiyon ve birikim olasılığını düşündürmüştür. Her iki bitki türünün de yeraltı ve yer üstü bitki dokularında bol miktarda Cd ve Pb biriktirdiği, ancak *T. angustifolia*'nın, *P. australis*'e göre daha yüksek Cd translokasyon potansiyeline sahip olduğunu tespit edilmiştir.

Aazami ve Taban (2018) tarafından Aras Nehri ağır metal konsantrasyonunu belirlemek amacıyla su, sediment ve *Phragmites australis*'in kökünden örnekleme yapılmıştır. Suda Hg, Mo, Cu, Co, B, Cd, Ni, Zn, Pb, Al, Mn, Cr ve Fe konsantrasyonu belirlenirken, sedimentte Cu ve Mo, bitki kökünden alınan örneklerde sadece Cu konsantrasyonu analiz edilmiştir. Sonuç olarak, suda B, Cu, Mo ve Al, sediment ve bitkinin kökünde ise Cu konsantrasyonlarının standart değerlerin üzerinde olduğu belirlenmiştir.

Al_Sodany ve diğ. (2012) tarafından, *Phragmites australis*'in Mısır'daki Burullus Gölü'nde sığır, keçi ve koyunlar için potansiyel bir yem bitkisi olarak kullanılmaya uygunluğunu test

etmek için, elementlerin ve besin değerinin birikimindeki rolü değerlendirilmiştir. Örnekleme alanlarından farklı bitki organları, bazı ağır metaller (Mn, Pb, Co, Cu, Cd, Zn ve Fe) ve besin maddeleri (Na, K, Ca, Mg, P ve N) suyun fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlemek için toplanmıştır. Ek olarak, bazı organik bileşenler (toplam kül, karbonhidratlar, toplam lipitler, ham lifler, ham protein, sindirilebilir ham protein ve toplam sindirilebilir besinler) tespit edilmiş ve üç besin değeri (sindirilebilir enerji, metabolize edilmiş enerji, net ve brüt enerji) hesaplanmıştır. Sonuçlar, rizomda ağır metal birikiminde bir artış ve rizom > gövde > yapraklar sıralamasında bir azalma olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, bitki organlarındaki ve sudaki ağır metal konsantrasyonları arasında, pozitif doğrusal ilişkiler bulunmuştur. Bu nedenle *P. australis*'in kirli su kütlelerindeki ağır metallerin iyi bir biriktiricisi ve biyoindikatörü olarak hizmet edebileceği sonucuna varılmıştır. Diğer yandan, besin elementlerinin gövde > yaprak > rizom sıralamasına göre azalma gösterdiği belirlenmiştir. Sonuçlar yeraltı rizomlarının ağır metalleri biriktirme yeteneğine sahip olduğunu, bir fitoremediatör olarak kullanılabileceğini; yerüstü kısımlarının ise en yüksek besin değerlerine sahip olmasının bu bitkiyi hayvanlar için iyi bir yem kaynağı olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

İran'daki Anzali Sulak Alanı'nında Esmaeilzadeh ve diğ. (2016) tarafından sediment ve *Phragmites australis*'in organlarında metal birikimi incelenmiştir. Sonuçlar, incelenen metallerin (As ve Cd hariç) konsantrasyonunun sedimentte *P. australis* organlarından daha yüksek olduğunu göstermiştir. Metal birikiminin *P. australis*'in yer üstü organlarına göre köklerde önemli ölçüde ($P < 0,05$) daha yüksek olduğu bulunmuştur. Biyoakümülasyon faktörü (BAF) ve transfer faktörü (TF) ayrıca köklerde en yüksek metal birikim oranını ve köklerden yer üstü organlara olan hareketliliklerinin azaldığını doğrularken; Pearson Korelasyon katsayısı, sedimentte metal konsantrasyonları ile bitki organlarındaki metal konsantrasyonları arasında önemli ilişkiler olduğunu göstermiştir. Sedimente ve *P. australis*' teki metal konsantrasyonları arasındaki korelasyon, bitki organlarının Anzali Sulak Alanı'nın sedimentindeki metal kirliliğinin iyi bir biyoindikatörü olduğunu göstermektedir.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1.ÇALIŞMA ALANI VE EKOLOJİK ÖNEMİ

İstanbul' un Avrupa yakasında, 40° 19' kuzey ve 28° 32' doğu enlemlerinde yer alan Terkos Baraj Gölü, maksimum 11,5 m derinliğe ve 25 km^2 yüzey alanına sahiptir (Şekil 3.1). Baraj Gölü, İstanbul Metropolü'ne içme suyu sağlamak amacıyla Marmara Denizi ile Karadeniz arasında inşa edilmiştir. En fazla debiye sahip Istranca Çayı'nın yanı sıra pek çok akarsu tarafından beslenmekte olan gölün ortalama debisi 196 milyon m^3 olup, göl alanı rekreasyon, balıkçılık ve avcılık için kullanılmaktadır (Yilmaz ve diğ., 2021). Barajın Karadeniz ile bağlantısı 1881 yılında kesilmiş olsa da, son zamanlarda yaşanan kuraklık nedeniyle artan su ihtiyacını karşılamak amacıyla zaman zaman denize daha yakın yerlerde açılan kuyulardan alınan su göle pompalanmaktadır.

Ramsar Sözleşmesi' nin uluslararası sulak alan tanımına uyan Türkiye'deki 135 sulak alandan biri de zengin flora, fauna ve endemik türlere sahip olması nedeniyle Terkos Gölü'dür (Aktürk 2014). Avrupa, biyolojik çeşitlilik açısından en değerli bölgeleri belirlemekte olup, 1999 yılında Terkos Gölü çevresi, Dünya Yaban Hayatı Vakfı (WWF) ve Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Orman Bakanlığı işbirliğiyle yürütülen bir proje ile acilen koruma altına alınması gereken 100 "sıcak nokta" dan biri olarak belirlenmiştir. Terkos Gölü ve yakın çevresi, yırtıcı kuşların, leyleklerin ve binlerce kuşun yılda iki kez geçtiği, bazılarının durup beslendiği, yeryüzündeki başlıca göç yollarından biri olan Boğaz'dan geçen önemli kuş yolları üzerinde bulunmaktadır. Terkos Gölü'nde barınan türlerden 57'si Avrupa Ölçeğinde Uluslararası Öncelikli Kuş Türleri listesinde yer alırken; göl ve çevresinde yaşayan 86 kuş türü de Bern Sözleşmesi'nin Ek II'sinde yer almakta olup, bu özellikleri nedeniyle 1992 yılında Önemli Kuş Alanı (ÖKA) olarak belirlenmiştir (Baylan ve Karadeniz, 2006). Göl çevresinde Akdeniz ve Karadeniz iklimleri arasında geçiş iklimi ve ayrıca karasal iklim özellikleri görülmektedir.

Terkos Gölü'nün coğrafi olarak Avrupa ve Asya florası arasında bulunması, yerel ve nadir bitki türlerini içeren son derece zengin sulak alan bitki örtüsünün ortaya çıkmasına neden olmuştur. Gölün sığ sularında ve göldeki bataklıklarda 50'den fazla su bitkisi tanımlanmıştır. Bunlar arasında Türkiye'de nadir dağılım gösteren *Stratiotes aloides* ve *Vallisneria spiralis* gibi türler de bulunmaktadır. Gölün kıyı kesiminde yaygın olarak kaydedilen türler *Phragmites australis, Typha* sp. ve *Schoenoplectus lacustris*'tir. Terkos Gölü tatlı su faunası açısından da zengindir.

Cyprinus sp. (sazan balığı), *Proterorhinus* sp. (kayabalığı), *Chalcalburnus* sp., *Abramis* sp. (çapak balığı), *Blicca* sp. (Tahta balığı), *Tinca* sp. (Kadife balığı), *Scardinius* sp. (kızılkanat), *Rhodeus* sp. (acı balık), *Gobius* sp. (büyük kaya balığı), *Esox* sp. (turna balığı), *Silurus* sp. (yayın balığı) ve *Lucioperca* sp. (sudak balığı) gibi ekonomik açıdan değerli balık türleri gölde yaşamaktadır (Yilmaz ve diğ., 2021).



Şekil 3.1. Terkos Gölü ve Örnekleme İstasyonları

3.2. ÖRNEK ALIMI VE ÖRNEKLEME İSTASYONLARININ ÖZELLİKLERİ

Terkos Gölü'nde, 1 yılda 2 farklı vejetasyon dönemi olmak üzere 2 farklı dönemi (Kış 2024-İlkbahar 2025) temsil eden *Phragmites australis* bitkisi ile su-toprak-bitki ilişkileri için belirlenen ağır metallerin konsantrasyonu incelenmiştir. Seçilen 5 farklı istasyondan, her vejetasyon döneminde, her bir istasyondan 3'er adet olmak üzere toplam 15 adet bitki örneği ile su ve sediment örnekleri alınmıştır. Örnekleme yapılan istasyonların koordinatları ve özellikleri Tablo 3.1'de verilmiştir. Deney bitkisi olarak seçtiğimiz *Phragmites australis*'in rizom, gövde ve yaprak bölümlerinde analiz edilen ağır metaller alüminyum (Al), bakır (Cu), krom (Cr), kobalt (Co), demir (Fe), manganez (Mn), nikel (Ni), kurşun (Pb) ve çinko (Zn)' dir. Çalışma alanından toplanan bitki, su ve sediment örnekleri, Bahçeşehir Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi'nin Kimya Laboratuvar'ında analiz edilmiştir. Eş zamanlı olarak suda sıcaklık, pH, tuzluluk ve elektriksel iletkenlik ölçümleri ise arazide WTW

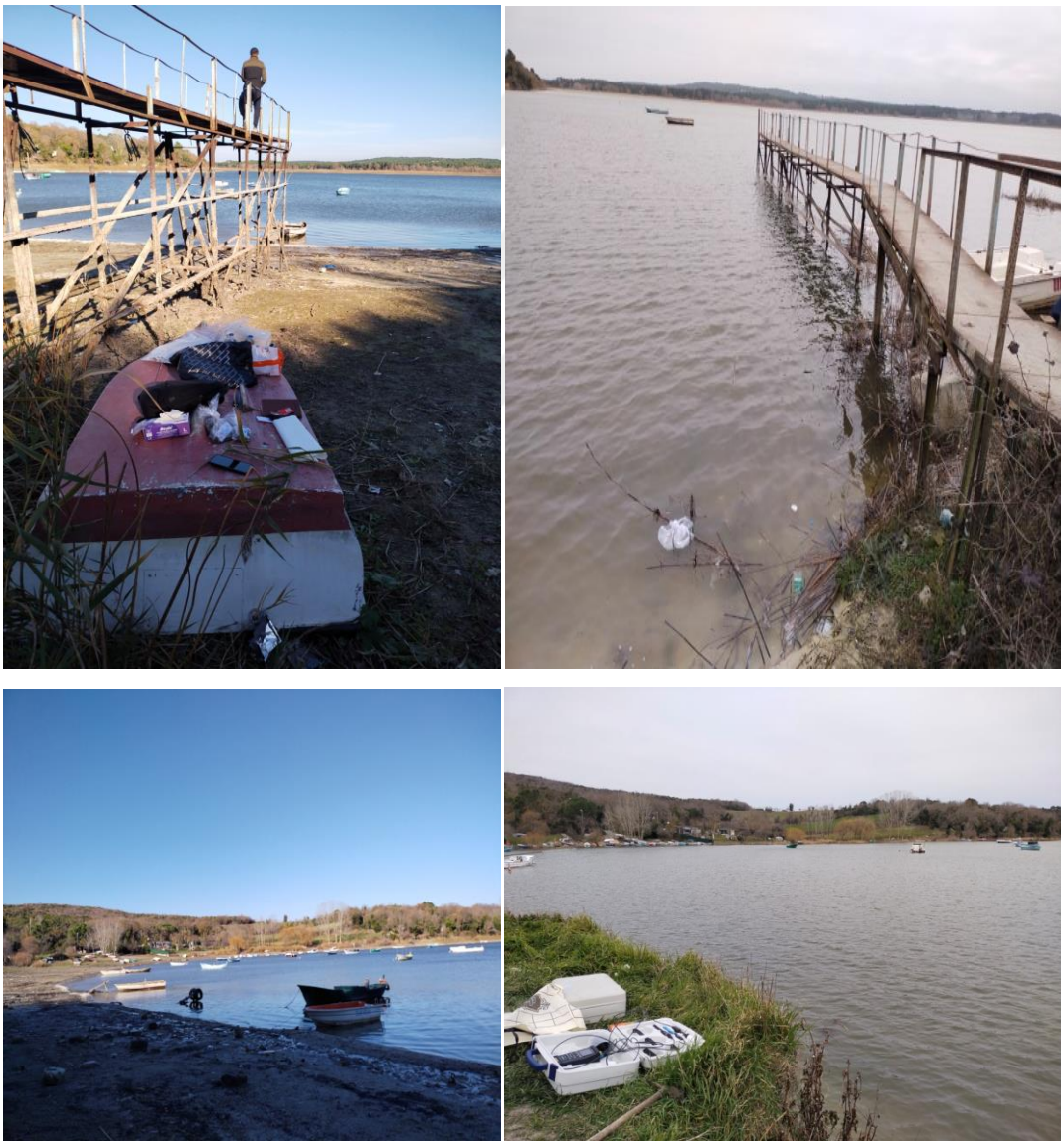
marka multiparametre kullanılmak suretiyle yapılmıştır. Her iki örnekleme döneminde arazide her istasyonda yapılan çalışmalar fotoğraflanarak kayıt altına alınmış ve Şekil 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Örnekleme İstasyonları ve Özellikleri

İstasyonlar	Koordinatlar	İstasyonların Özellikleri
T-1 Durusu Park Otel	41° 18' 28" N 28° 34' 50" E	Durusu Park Otel kıyısında olup, kıyı şeridi kabuklu organizmalar ve makrofitler bakımından zengindir.
T-2 Balabanköy	41° 19' 14" N 28° 37' 00" E	Balabanköy yerleşim merkezine yakın konumda olup, rekreasyon alanı ve tarımsal arazi olarak kullanılmaktadır.
T-3 Yazlıkköy	41° 19' 05" N 28° 32' 01" E	Yazlıköy kıyı bölgesinden seçilmiştir. Seralar bulunmakta, kıyı bölgesinde kabuklu organizmalar ve makrofitler yoğun olarak bulunmaktadır.
T-4 Celepköy	41° 22' 54" N 28° 30' 44" E	Celepköy yerleşim merkezinin kıyısında yer almaktadır.
T-5 Ormanlı Deresi	41° 22' 38" N 28° 27' 36" E	Derenin göle döküldüğü yere yakın konumlu, yakınından otoyol geçmektedir. Göle kanalizasyon atık girişi gözlenmiş olup, restoran hizmeti veren işletmeler mevcuttur.



Şekil 3.2. Durusu Park Otel örnekleme istasyonu görünümü (T-1)



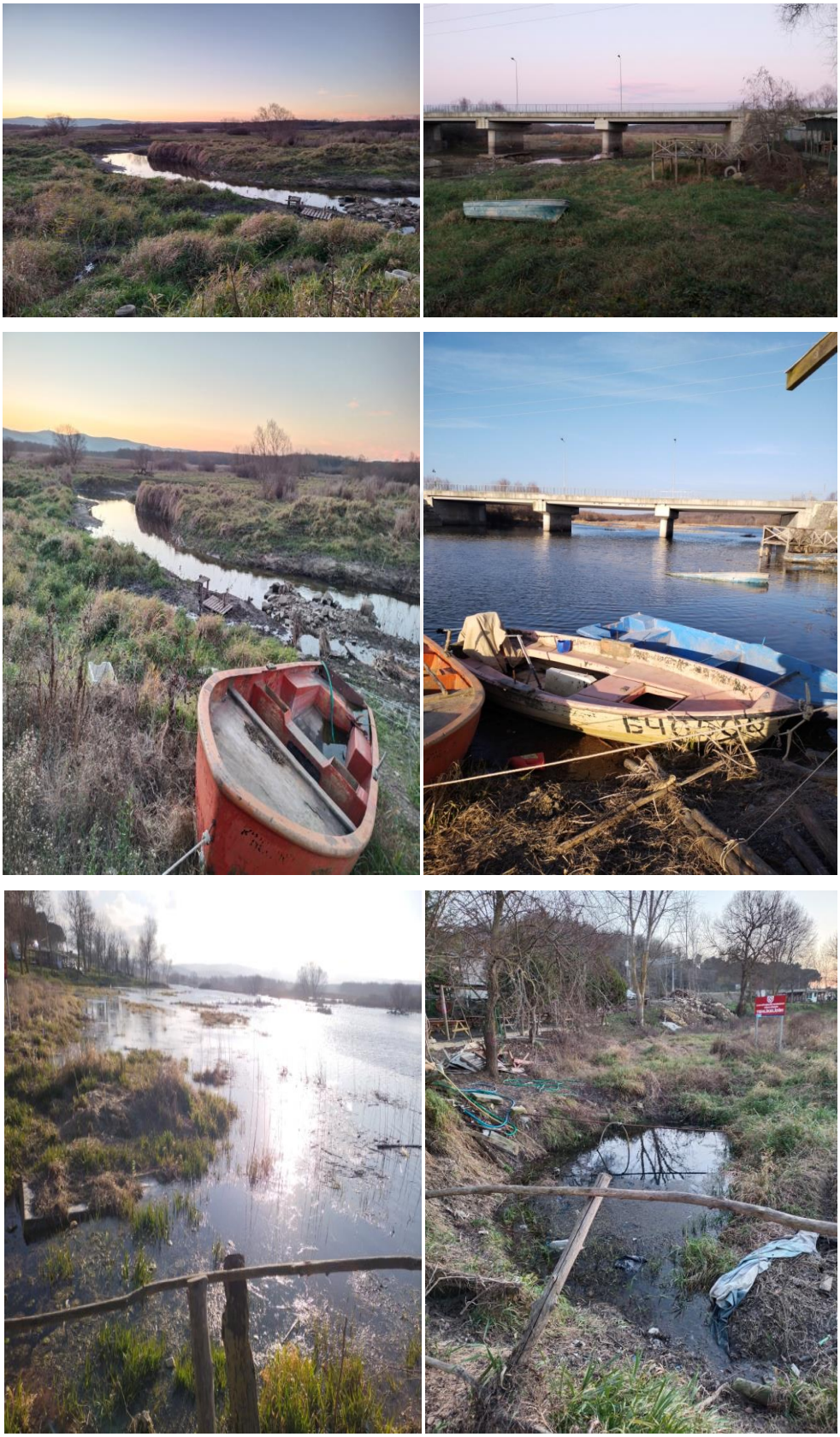
Şekil 3.3. Balabanköy örnekleme istasyonu görünümü (T-2)



Şekil 3.4. Yazlıkköy örnekleme istasyonu görünümü (T-3)



Şekil 3.5. Celepköy örnekleme istasyonu görünümü (T-4)



Şekil 3.6. Ormanlı Deresi örnekleme istasyonu görünümü (T-5)

3.3. AĞIR METAL ANALİZLERİ

Örneklemesi tamamlanmış olan istasyonlardan toplanan bitki örnekleri, yaprak-gövde-rizom şeklinde ayrılmış, kaba filtre kağıtlarına etiketlendikten sonra sahada ve laboratuvar ortamında paketlenme işlemi gerçekleştirilmiştir. Ek olarak, bütün bitki kısımları küflenmeye karşı laboratuvar ortamına getirilir getirilmez, 80ºC'de 48 saat süresince etüvde bekletilerek kuruma işlemine tabi tutulmuştur.

Etüvde kurutulmak suretiyle nemi alınan bitki kısımlarına ait örnekler Lavion marka Yüksek Hızlı Öğütücü kullanılarak homojenlik sağlanması ve tutarlı bir analiz sonucu elde etmek için toz haline getirilmişledir. Alınan sediment örnekleri cam petrilere aktarıldıktan sonra 80 ºC'de 48 saat boyunca etüvde kurutulmuştur. Kurutma işlemi sonrasında 2 mm'lik por çapındaki çelik elekten geçirilip tartıma hazır hale getirilmiştir.

Terkos Gölü' nden alınan su örnekleri, element analizleri için, steril 50ml' lik falcon tüplere mavibant filtre kağıdından süzüldükten sonra aktarılmıştır. Filtre edilmiş örneklerden başka yeni bir falcon tüpe %1 HNO_3 ile seyreltme işlemi yapılmak suretiyle element analizlerinin yapılması için hazırlanmıştır (Yilmaz ve diğ., 2021).

Bitki ve sediment örneklerinin tartımı, Precisa XB 220A SCS marka-model analitik terazi ile 0.2000–0.2250 g aralığında hassas şekilde yapılmış ve ardından mikrodalga parçalama işlemi için Berghof – MSW2 marka mikrodalga cihazının teflon hücrelerine aktarılmıştır. Bitki örneklerinin çözünmesi için her birine 8 ml %65'lik Merck marka HNO_3, sediment örneklerine ise sırasıyla 6 ml %65'lik HNO_3, 3 ml %37'lik HCl ve 2 ml %48'lik HF eklenmiştir. Bu reaktiflerle hazırlanan numuneler mikrodalga ile (Yalcin ve diğ., 2020). çözünme işlemi tamamlandıktan sonra elde edilen çözeltiler, ultra saf su yardımıyla 50 ml'lik steril falcon tüplere, mavi bantlı Whatman filtre kağıdından süzülerek aktarılmıştır. Son aşamada ise, Merck üretimi 1000 mg/L çok elementli standart solüsyon referans alınarak, Al, Cr, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn element analizleri, Bahçeşehir Üniversitesi Fotonik ve Nano Cihazlar Araştırma Laboratuvarı'nda bulunan Pelkin Elmer-Optima 7000DV marka-model ICP-OES cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.7. Laboratuvar çalışmalarından görüntüler

4. BULGULAR

4.1. FİZİKOKİMYASAL PARAMETRE DEĞERLERİ

Örnekleme alanında multiparametre ile yapılan ölçümler sonucunda elde edilen değerler Tablo 4.1'de verilmiştir. Sıcaklık değerleri mevsime uygun olarak en düşük Mart 2025'te 8.2°C olarak T-2 istasyonunda ölçülmüş olup, en yüksek yine Mart 2025'te 12.1°C olarak T-1 istasyonunda ölçülmüştür. Minimum pH değeri T-1 istasyonunda 7.07 (Aralık 2024) olarak ölçülürken, maksimum pH, T-2 istasyonunda 8.87 (Aralık 2024) olarak ölçülmüştür. Tuzluluk değeri en yüksek ‰ 0.1 olarak Aralık 2024 örneklemesinde T-5 istasyonunda ölçülürken her iki örnekleme döneminde diğer istasyonlarda tuzluluk değeri ‰ 0.0 olarak belirlenmiştir. Aralık 2024'te T-5 istasyonunda tuzluluğun diğer istasyonlardan farklı olarak ‰ 0.1 ölçülmesinin sebebinin göl su seviyesinin düşük olmasından ve bu istasyonun besin tuzu girişinin yoğun olduğu Ormanlı Deresi'nden seçilmiş olmasından kaynaklanmaktadır. Minimum elektriksel iletkenlik T-4 istasyonunda, Mart 2025'de 263 µS/cm olarak ölçülürken, maksimum değer Aralık 2024'te T-5 istasyonunda 685 µS/cm olarak ölçülmüştür. Tuzlulukla doğru orantılı olarak T-5 istasyonunda elektriksel iletkenlik değeri de en yüksek olarak bulunmuştur.

Tablo 4.1. Örnekleme İstasyonlarında Ölçülen Bazı Fiziko-kimyasal Parametre Değerleri

İSTASYONLAR	Sıcaklık (°C)		pH		Tuzluluk (‰)		Elektriksel İletkenlik (µS/cm)	
	Aralık 2024	Mart 2025	Aralık 2024	Mart 2025	Aralık 2024	Mart 2025	Aralık 2024	Mart 2025
T-1: Durusu Park Otel	8.9	12.1	7.07	7.74	0.0	0.0	410	459
T-2: Balabanköy	9.8	8.2	8.87	8.41	0.0	0.0	639	387
T-3: Yazlıkköy	11.1	8.3	8.07	8.46	0.0	0.0	468	334
T-4: Celepköy	8.5	9.6	7.78	8.10	0.0	0.0	417	263
T-5: Ormanlı Deresi	8.4	9.0	8.27	8.14	0.1	0.0	685	499

4.2. *PHRAHMITES AUSTRALIS*'DE ÖLÇÜLEN AĞIR METAL KONSANTRASYONLARI

4.2.1. Yaprak Kısmındaki Ağır Metal Konsantrasyonları

İki vejetasyon döneminde yaprak kısmında yapılan element analiz sonuçlarına göre, tüm ağır metaller için en düşük değerler T-3 istasyonunda bahar döneminde, en yüksek değerler ise T-5 istasyonunda kış döneminde ölçülmüştür. Analiz edilen minimum ve maksimum değerler Al (76,090-100,298 mg/kg), Co (1,659- 2.151 mg/kg), Cr (1,236-1,566 mg/kg), Cu (39,547-52,136 mg/kg), Fe (83,995-110,767 mg/kg), Mn (235,123-310,121 mg/kg), Ni (2,194-2,839 mg/kg), Pb (96,041-126,620 mg/kg), Zn (274,244-361,687 mg/kg) şeklindedir (Tablo 4.2). Bitkide kabul edilebilir element değer aralıkları ise Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 4.2. İstasyonlara ve vejetasyon dönemlerine göre ortalama yaprak kısmındaki ağır metal ve standart sapma değerleri

İstasyon/ Bitki Kısmı	Vejetasyon Dönemi	Al mg/kg	Co mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Fe mg/kg	Mn mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg
T-1 Yaprak	Kış	87,094 ±2.457	1,839 ±0.077	1,342 ±0.063	45,244 ±1.314	96,180 ±2.737	269,340 ±7.612	2,445 ±0.089	109,962 ±3.125	314,128 ±8.865
	Bahar	83,286 ±2.084	1,777 ±0.075	1,306 ±0.037	43,283 ±1.132	91,972 ±2.301	257,521 ±6.463	2,366 ±0.074	105,155 ±2.648	307,189 ±15.545
T-2 Yaprak	Kış	93,976 ±2.650	2,005 ±0.081	1,510 ±0.080	48,795 ±1.417	103,739 ±2.940	290,498 ±8.180	2,683 ±0.113	118,622 ±3.351	338,826 ±9.556
	Bahar	90,186 ±2.825	1,944 ±0.074	1,482 ±0.094	46,837 ±1.496	99,550 ±3.160	278,730 ±8.802	2,590 ±0.097	113,832 ±3.586	325,110 ±10.229
T-3 Yaprak	Kış	79,549 ±2.278	1,710 ±0.073	1,260 ±0.066	41,321 ±1.197	87,811 ±2.480	245,863 ±6.939	2,272 ±0.107	100,423 ±2.853	286,782 ±8.091
	Bahar	76,090 ±2.196	1,659 ±0.070	1,236 ±0.063	39,547 ±1.160	83,995 ±2.373	235,123 ±6.650	2,194 ±0.106	96,041 ±2.721	274,244 ±7.721
T-4 Yaprak	Kış	89,598 ±2.522	1,939 ±0.093	1,423 ±0.059	46,567 ±1.347	98,937 ±2.810	277,046 ±7.854	2,540 ±0.111	113,140 ±3.234	323,096 ±9.142
	Bahar	81,798 ±1.521	1,783 ±0.054	1,334 ±0.030	42,537 ±0.825	90,307 ±1.687	252,881 ±4.706	2,331 ±0.072	103,275 ±1.935	294,905 ±5.475
T-5 Yaprak	Kış	100,298 ±4.071	2,151 ±0.110	1,566 0.094	52,136 ±2.113	110,767 ±4.522	310,121 ±12.579	2,839 ±0.116	126,620 ±5.151	361,687 ±14.675
	Bahar	95,918 ±3.886	2,077 ±0.090	1,517 ±0.104	49,890 ±2.035	105,948 ±4.326	296,543 ±12.033	2,751 ±1.121	121,103 ±4.928	345,855 ±14.039

4.2.2. Rizom Kısmındaki Ağır Metal Konsantrasyonları

İki vejetasyon döneminde rizom kısmında yapılan element analiz sonuçlarına göre, tüm ağır metaller için en düşük değerler T-3 istasyonunda kış döneminde, en yüksek değerler ise T-5 istasyonunda bahardöneminde ölçülmüştür. Ölçülen element değerleri Al (100,515 -138,513 mg/kg), Co (2,914 - 3,986 mg/kg), Cr (3,087 -4,286 mg/kg), Cu (29,112 -40,159 mg/kg), Fe

(842,297 -1160,552 mg/kg), Mn (89,886 -123,884 mg/kg), Ni (11,624 -16,098 mg/kg), Pb (77,622 -106,957 mg/kg), Zn (371,443 -511,797 mg/kg) şeklindedir **(**Tablo 4.3). Bitkide kabul edilebilir element değer aralıkları ise Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 4.3. İstasyonlara ve vejetasyon dönemlerine göre ortalama rizom kısmındaki ağır metal ve standart sapma değerleri

İstasyon/ Bitki Kısmı	Vejetasyon Dönemi	Al mg/kg	Co mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Fe mg/kg	Mn mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg
T-1 Rizom	Kış	106,790 ±1,514	3,025 ±0.052	3,266 ±0.067	30,924 ±0.461	894,963 ±12.661	95,482 ±1.358	12,353 ±0.194	82,447 ±1.167	394,632 ±5.589
	Bahar	113,435 ±1.617	3,254 ±0.043	3,494 ±0.075	32,862 ±0.498	950,388 ±13.432	101,413 ±1.441	13,142 ±0.206	87,570 ±1.220	419,090 ±5.950
T-2 Rizom	Kış	116,619 ±3.324	3,323 ±0.126	3,594 ±0.144	33,744 ±0.972	976,652 ±27.470	104,213 ±2.943	13,520 ±0.423	90,050 ±2.557	430,704 ±12.126
	Bahar	125,385 ±1.864	3,598 ±0.087	3,876 ±0.110	36,318 ±0.548	1049,868 ±15.179	112,035 ±1.634	14,571 ±0.255	96,839 ±1.435	463,002 ±6.707
T-3 Rizom	Kış	100,515 ±2.849	2,914 ±0.109	3,087 ±0.131	29,112 ±0.842	842,297 ±23.670	89,886 ±2.552	11,624 ±0.367	77,622 ±2.196	371,443 ±10.462
	Bahar	106,752 ±3.039	3,128 ±0.120	3,300 ±0.146	30,934 ±0.901	894,460 ±25.133	95,482 ±2.696	12,363 ±0.371	82,452 ±2.343	394,453 ±11.090
T-4 Rizom	Kış	109,875 ±1.557	3,156 ±0.055	3,381 ±0.054	31,821 ±0.457	920,487 ±13.023	98,230 ±1.403	12,742 ±0.193	84,838 ±1.181	405,894 ±5.751
	Bahar	121,085 ±0.623	3,504 ±0.048	3,751 ±0.047	35,082 ±0.180	1014,217 ±5.388	108,251 ±0.590	14,063 ±0.091	93,492 ±0.480	447,241 ±2.381
T-5 Rizom	Kış	130,416 ±2.456	3,729 ±0.075	4,006 ±0.106	37,798 ±0.688	1092,894 ±20.567	116,635 ±2.162	15,135 ±0.268	100,705 ±1.873	481,937 ±9.086
	Bahar	138,513 ± 2.607	3,986 ±0.062	4,286 ±0.114	40,159 ±0.732	1160,552 ±21.833	123,884 ±2.300	16,098 ±0.287	106,957 ±2.003	511,797 ±9.669

4.2.3. Gövde Kısmındaki Ağır Metal Konsantrasyonları

İki vejetasyon döneminde gövde kısmında yapılan element analiz sonuçlarına göre, Co hariç diğer ağır metaller için en düşük değerler T-3 istasyonunda bahar döneminde, en yüksek değerler ise T-5 istasyonunda kış döneminde ölçülmüştür. Analizler sonucu elde edilen değerler Al (20,949-29,499 mg/kg), Co (0,535-0,700 mg/kg), Cr (0,608-0,837 mg/kg), Cu (5,199 -7,286 mg/kg), Fe (41,029 -57,799 mg/kg), Mn (38,352 -54,056 mg/kg), Ni (1,292-1,753 mg/kg), Pb (49,947-70,362 mg/kg), Zn (41,060-57,838 mg/kg) şeklinde tespit edilmiştir (Tablo 4.4). Bitkide kabul edilebilir element değer aralıkları ise Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 4.4. İstasyonlara ve vejetasyon dönemlerine göre ortalama gövde kısmındaki ağır metal ve standart sapma değerleri

İstasyon/ Bitki Kısmı	Vejetasyon Dönemi	Al mg/kg	Co mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Fe mg/kg	Mn mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg
T-1 Gövde	Kış	23,676 ±0.380	0,535 ±0.024	0,646 ±0.029	5,829 ±0.096	46,409 ±0.743	43,411 ±0.694	1,385 ±0.031	56,509 ±0.903	46,443 ±0.735
	Bahar	22,077 ±0.364	0,537 ±0.020	0,632 ±0.013	5,471 ±0.080	43,274 ±0.712	40,473 ±0.649	1,315 ±0.034	52,678 ±0.853	43,314 ±0.679
T-2 Gövde	Kış	26,526 ±0.764	0,680 ±0.062	0,736 ±0.043	6,526 ±0.200	52,010 ±1.494	48,586 ±1.391	1,602 ±0.078	63,291 ±1.819	51,992 ±1.484
	Bahar	24,735 ±0.720	0,649 ±0.053	0,720 ±0.046	6,100 ±0.188	48,499 ±1.403	45,305 ±1.295	1,512 ±0.079	58,996 ±1.702	48,469 ±1.372
T-3 Gövde	Kış	22,457 ±0.656	0,568 ±0.037	0,622 ±0.061	5,562 ±0.174	44,000 ±1.278	41,133 ±1.185	1,350 ±0.093	53,577 ±1.520	44,028 ±1.267
	Bahar	20,949 ±0.616	0,559 ±0.041	0,608 ±0.055	5,199 ±0.169	41,029 ±1.175	38,352 ±1.109	1,292 ±0.098	49,947 ±1.423	41,060 ±1.177
T-4 Gövde	Kış	23,853 ±0.805	0,568 ±0.028	0,683 ±0.049	5,898 ±0.207	46,725 ±1.580	43,717 ±1.521	1,422 ±0.097	56,891 ±1.909	46,759 ±1.583
	Bahar	22,249 ±0.756	0,570 ±0.030	0,675 ±0.057	5,522 ±0.199	43,569 ±1.464	40,770 ±1.412	1,355 ±0.076	53,042 ±1.771	43,605 ±1.488
T-5 Gövde	Kış	29,499 ±1.192	0,700 ±0.022	0,837 ±0.031	7,286 ±0.281	57,799 ±2.317	54,056 ±2.126	1,753 ±0.037	70,362 ±2.809	57,838 ±2.305
	Bahar	27,513 ±1.113	0,677 ±0.014	0,791 ±0.040	6,806 ±0.273	53,889 ±2.140	50,405 ±1.986	1,676 ±0043	65,604 ±2.617	53,915 ±2.136

4.3.SEDİMENT ÖRNEKLERİNDEKİ AĞIR METAL KONSANTRASYONLARI

Araştırma süresince her iki dönemde sedimentte ölçülen element değerleri standart sapmaları ile birlikte Tablo 4.5'de verilmiştir. Ayrıca toprakta kabul edilebilir element değer aralıkları ise Tablo 2.1'de görülmektedir. Ortalama sediment element değerlerine göre, en düşük değerler kış döneminde T-3 istasyonunda kaydedilirken, en yüksek konsantrasyonlar bahar döneminde T-5 istasyonunda kaydedilmiştir.

Alüminyum (Al) sediment örneklerinde, T-1 istasyonunda (4682,392-5440,475 mg kg^{-1}), T-2 istasyonunda (5042,418-5602,622 mg kg^{-1}), T-3 istasyonunda (4399,903-5112,251 mg kg^{-1}), T-4 istasyonunda (4815,809-5595,489 mg kg^{-1}) ve T-5 istasyonunda (5547,958-6724,631 mg kg^{-1}) olmak üzere sınır değerler arasında bulunmuştur. Al sedimentte tüm istasyonlarda her iki dönemde de sınır referans aralığında tespit edilmiştir.

Kobalt (Co) sediment örneklerinde, T-1'de (5,973-6,968 mg kg^{-1}), T-2'de (6,475-7,212 mg kg^{-1}), T-3'de (5,636-6,566 mg kg^{-1}), T-4'de (6,163-7,177 mg kg^{-1}) ve T-5'de (7,112-8,637 mg kg^{-1}) aralığında değişim göstermiştir. Kobalt sediment örneklerinde her iki dönemde de tüm istasyonlarda referans aralığında tespit edilmiştir.

Krom (Cr) sediment örneklerinde, T-1'de (9,650-11,237 mg kg^{-1}), T-2'de (10,410-11,580 mg kg^{-1}), T-3'de (9,122-10,623 mg kg^{-1}), T-4'de (9,947-11,566 mg kg^{-1}) ve T-5'de (11,480-13,957 mg kg^{-1}) aralıklarında ölçülmüştür. Krom sediment örneklerinde her iki dönemde de tüm istasyonlarda referans aralığında tespit edilmiştir.

Bakır (Cu) sediment örneklerinde, T-1'de (34,544-40,159 mg kg^{-1}), T-2'de (37,256-41,420 mg kg^{-1}), T-3'de (32,546-37,845 mg kg^{-1}), T-4'de (35,548-41,325 mg kg^{-1}) ve T-5'de (40,964-49,691 mg kg^{-1}) olarak ölçülmüştür. Bakır sediment örneklerinde her iki dönemde de tüm istasyonlarda referans aralığında tespit edilmiştir. İstasyonlar arasında çok büyük fark görülmemiştir.

Demir (Fe) sediment örneklerinde, T-1'de (10519,651-12222,744 mg kg^{-1}), T-2'de (11328,325-12586,832 mg kg^{-1}), T-3'de (9885,002-11485,360 mg kg^{-1}), T-4'de (10819,336-12570,951 mg kg^{-1}) ve T-5'de (12464,233-15441,133 mg kg^{-1}) aralığında ölçülmüştür. Demir sediment örneklerinde her iki dönemde de tüm istasyonlarda referans aralığında tespit edilmiştir. En yüksek değerler 5.istasyonda görülmüştür.

Mangan (Mn) sediment örneklerinde T-1'de (183,700-213,462 µg L^{-1}), T-2'de (197,805-219,801 µg L^{-1}), T-3'de (172,666-200,652 µg L^{-1}), T-4'de (188,950-219,570 µg L^{-1}) ve T-5'de (217,683-262,867µg L^{-1}) aralıklarında ölçülmüştür. Mangan tüm istasyonlarda her iki dönemde de sediment için verilen sınır değerler arasında değişim göstermiştir.

Nikel (Ni) sediment örneklerinde, T-1'de (4,329-5,048µg L^{-1}), T-2'de (4,678-5,221µg L^{-1}) T-3'de (4,078-4,757µg L^{-1}), T-4'de (4,490-5,244µg L^{-1}) ve T-5'de (5,156-6,276µg L^{-1}) olarak ölçülmüştür. Nikel tüm istasyonlarda sular için gösterilen referans aralığında saptanmıştır.

Kurşun (Pb) sediment örneklerinde, T-1'de (46,828-54,420µg L^{-1}), T-2'de (50,483-56,123µg L^{-1}), T-3'de (44,014-51,163µg L^{-1}), T-4'de (48,200-56,025µg L^{-1}) ve T-5'de (55,508-65,987µg L^{-1}) olarak ölçülmüştür. Tüm istasyonlarda her iki dönemde de kurşun konsantrasyonları izin verilen üst sınır değer olan 40 µg L^{-1}'yi aştığı görülmüştür.

Çinko (Zn) sediment örneklerinde, T-1'de (164,671-191,370µg L^{-1}), T-2'de (177,380-197,103µg L^{-1}), T-3'de (154,753-179,831µg L^{-1}), T-4'de (169,385-196,843µg L^{-1}) ve T-5'de (195,149-243,218µg L^{-1}) aralığında ölçülmüştür. Çinko miktarı tüm istasyonlarda sular için sınır değerler arasında ölçülmüştür.

Tablo 4.5. İstasyonlara ve vejetasyon dönemlerine göre ortalama sediment ağır metal ve standart sapma değerleri.

İstasyon	Vejetasyon Dönemi	Al mg kg^{-1}	Co mg kg^{-1}	Cr mg kg^{-1}	Cu mg kg^{-1}	Fe mg kg^{-1}	Mn mg kg^{-1}	Ni mg kg^{-1}	Pb mg kg^{-1}	Zn mg kg^{-1}
T-1 Sediment	Kış	4682,392 ±137.715	5,973 ±0.173	9,650 ±0.256	34,544 ±1.008	10519,651 ±309.391	183,700 ±5.402	4,329 ±0.110	46,828 ±1,360	164,671 ±4.831
	Bahar	5440,475 ±160.016	6,968 ±0.197	11,237 ±0.281	40,159 ±1.164	12222,744 ±359.476	213,462 ±6.281	5,048 ±0.115	54,420 ±1.567	191,370 ±5.611
T-2 Sediment	Kış	5042,418 ±160.085	6,475 ±0.193	10,410 ±0.311	37,256 ±1.170	11328,325 ±359.686	197,805 ±6.280	4,678 ±0.149	50,483 ±1.580	177,380 ±5.605
	Bahar	5602,622 220.860	7,212 ±0.268	11,580 ±0.423	41,420 ±1.637	12586,832 ±496.177	219,801 ±8.663	5,221 ±0.191	56,123 ±2.197	197,103 ±7.720
T-3 Sediment	Kış	4399,903 ±123.588	5,636 ±0.195	9,122 ±0.312	32,546 ±0.952	9885,002 ±277.649	172,666 ±4,862	4,078 ±0.142	44,014 ±1.256	154,753 ±4.372
	Bahar	5112,251 ±143.576	6,566 ±0.215	10,623 ±0.350	37,845 ±1.091	11485,360 ±322.588	200,652 ±5.627	4,757 ±0.159	51,163 ±1.445	179,831 ±5.087
T-4 Sediment	Kış	4815,809 ±141.635	6,163 ±0.163	9,947 ±0.260	35,548 ±1.047	10819,336 ±318.193	188,950 ±5.540	4,490 ±0,110	48,200 ±1.395	169,385 ±4.972
	Bahar	5595,489 ±164.547	7,177 ±0.190	11,566 ±0.296	41,325 ±1.210	12570,951 ±369.711	219,570 ±6.431	5,244 ±0.110	56,025 ±1.635	196,843 ±5.783
T-5 Sediment	Kış	5547,958 ±163.165	7,112 ±0.215	11,480 ±0.299	40,964 ±1.176	12464,233 ±366.582	217,683 ±6.397	5,156 ±0.111	55,508 ±1.615	195,149 ±5.719
	Bahar	6724,631 ±253.186	8,637 ±0.329	13,957 ±0.486	49,691 ±1.837	15441,133 ±291.145	262,867 ±8.481	6,276 ±0.177	65,987 ±1.282	243,218 ±5.851

4.4. SU ÖRNEKLERİNDEKİ AĞIR METAL KONSANTRASYONLARI

Araştırma süresince her iki dönemde suda ölçülen element değerleri standart sapmaları ile birlikte Tablo 4.6'da verilmiştir. Ayrıca sularda kabul edilebilir element değer aralıkları ise Tablo 2.1'de görülmektedir.

Alüminyum (Al) su örneklerinde, T-1 istasyonunda (312.903-291.963 µg L^{-1}), T-2 istasyonunda (350,299-295,337 µg L^{-1}), T-3 istasyonunda (249,416-232,759 µg L^{-1}), T-4 istasyonunda (290,339-262,207 µg L^{-1}) ve T-5 istasyonunda (899,314-877,057 µg L^{-1}) olmak üzere sınır değerler arasında bulunmuştur. Al suda diğer istasyonların nerdeyse 4 katı daha fazla olmak üzere 5.istasyonda ölçülmüştür. Tüm istasyonlarda bahar döneminde, kış dönemine nazaran bir miktar azalma kaydedilmiştir.

Kobalt (Co) su örneklerinde, T-1'de (186,340-173,890 µg L^{-1}), T-2'de (208,633-175,918 µg L^{-1}), T-3'de (125,194-116,848 µg L^{-1}), T-4'de (172,917-156,185 µg L^{-1}) ve T-5'de (257,667-245,611 µg L^{-1}) aralığında değişim göstermiştir. Kobalt 5. İstasyonda üst sınır değer olan 200 µg L^{-1} her iki dönemde de aşmıştır. T-1'de her iki dönemde de sınır değere yakın ölçülürken; T-2'de kış döneminde referans değerini geçmiş; bahar döneminde ise sınır değere yakın olarak tespit edilmiştir.

Krom (Cr) su örneklerinde, T-1'de (36,862-34,415 µg L^{-1}), T-2'de (41,298- 34,848 µg L^{-1}), T-3'de (29,391-27,439 µg L^{-1}), T-4'de (34,209-30,931 µg L^{-1}) ve T-5'de (50,972-48,932 µg L-1) aralıklarında ölçülmüştür. Krom 5. İstasyonda sularda üst sınır değer olan 50 µg L^{-1}'yi kış döneminde aşmış; bahar döneminde ise sınır değere çok yakın değerde tespit edilmiştir.

Bakır (Cu) su örneklerinde, T-1'de (89,941-83,943 µg L^{-1}), T-2'de (100,719-84,946 µg L^{-1}), T-3'de (41,732- 38,977 µg L^{-1}), T-4'de (83,475-75,416 µg L^{-1}) ve T-5'de (224,378-212,537 µg L^{-1}) olarak ölçülmüştür. Bakırın 5. İstasyonda sular için üst sınır değer olarak kabul edilen 200 µg L^{-1}'yi her iki dönemde de aştığı tespit edilmiştir.

Demir (Fe) su örneklerinde, T-1'de 866,985-808,919 µg L^{-1}), T-2'de (970,693-818,297 µg L^{-1}), T-3'de (691,079-644,793 µg L^{-1}), T-4'de (804,487-726,463 µg L^{-1}) ve T-5'de (1198,835-1142,519 µg L^{-1}) aralığında ölçülmüştür. Demir tüm istasyonlarda sular için kabul edilen referans aralığında ölçülmüş olup, en yüksek değerler 5.istasyonda tespit edilmiştir.

Mangan (Mn) su örneklerinde T-1'de (476,920-444,984 µg L^{-1}), T-2'de (533,964-450,154 µg L^{-1}), T-3'de (380,65-354,716 µg L^{-1}), T-4'de (442,572-399,681 µg L^{-1}) ve T-5'de (659,478-628,491 µg L^{-1}) aralıklarında ölçülmüştür. Mangan tüm istasyonlarda her iki dönemde de sular için verilen sınır değerler arasında değişim göstermiştir.

Nikel (Ni) su örneklerinde, T-1'de (68,686-64,109 µg L^{-1}), T-2'de (76,892-64,839 µg L^{-1}) T-3'de (34,730-32,447 µg L^{-1}), T-4'de (63,745-57,586 µg L^{-1}) ve T-5'de (94,957-89,859 µg L^{-1}) olarak ölçülmüştür. Nikel tüm istasyonlarda sular için gösterilen referans aralığında olup, en yüksek değerler 5. istasyonda saptanmıştır.

Kurşun (Pb) su örneklerinde, T-1'de (21,621-20,215 µg L^{-1}), T-2'de (24,227-20,464 µg L^{-1}), T-3'de (7,256-6,822 µg L^{-1}), T-4'de (20,088-18,194 µg L^{-1}) ve T-5'de (44,916-42,832 µg L^{-1}) olarak ölçülmüştür. En düşük kurşun değerleri her iki dönemde de T-3 istasyonunda ölçülmüştür. T-5 istasyonunda sular için sınır değerleri aralığında bulunmuş olsa da, üst sınır değer olan 50 µg L^{-1}'ye çok yaklaşmış olduğu belirlenmiştir.

Çinko (Zn) su örneklerinde, T-1'de (332,172-309,931 µg L^{-1}), T-2'de (371,882-313,539 µg L^{-1}), T-3'de (264,77-313,539 µg L^{-1}), T-4'de (308,251-278,385 µg L^{-1}) ve T-5'de (561,300-536,268 µg L^{-1}) aralığında ölçülmüştür. Çinko miktarı tüm istasyonlarda sular için sınır değerler arasında ölçülmüş olup, en yüksek değerler T-5 istasyonunda tespit edilmiştir.

Tablo 4.6. İstasyonlara ve vejetasyon dönemlerine göre suda ağır metal ve standart sapma değerleri.

İstasyon	Vejetasyon Dönemi	Al (µg L^{-1})	Co (µg L^{-1})	Cr (µg L^{-1})	Cu (µg L^{-1})	Fe (µg L^{-1})	Mn (µg L^{-1})	Ni (µg L^{-1})	Pb (µg L^{-1})	Zn (µg L^{-1})
T-1 Su	Kış	312,902 ±7,853	186,340 ±4,671	36,862 ±0,941	89,941 ±2,241	866,985 ±21,762	476,920 ±11,957	68,686 ±1,725	312,902 ±7,853	332,172 ±8,344
	Bahar	291,963 ±7,330	173,890 ±4,363	34,415 ±0,875	83,943 ±2,100	808,919 ±20,288	444,984 ±11,136	64,109 ±1,615	20,215 ±0,504	309,931 ±7,814
T-2 Su	Kış	350,299 ±6,466	208,633 ±3,844	41,298 ±0,778	100,719 ±1,866	970,693 ±17,987	533,964 ±9,884	76,892 ±1,415	24,227 ±0,431	371,882 ±6,901
	Bahar	295,337 ±5,459	175,918 ±3,247	34,848 ±0,639	84,946 ±1,570	818,297 ±15,155	450,154 ±8,298	64,839 ±1,188	20,464 ±0,342	313,539 ±5,830
T-3 Su	Kış	249,416 ±4,772	125,194 ±4,073	29,391 ±0,557	41,732 ±1,377	691,079 ±13,191	380,165 ±7,261	34,730 ±1,030	7,256 ±0,310	264,779 ±5,077
	Bahar	232,759 ±4,445	116,848 ±3,798	27,439 ±0,533	38,977 ±1,304	644,793 ±12,313	354,716 ±6,789	32,447 0,947	6,822 ±0,319	313,539 ±5,830
T-4 Su	Kış	290,339 ±5,746	172,917 ±3,429	34,209 ±0,695	83,475 ±1,637	804,487 ±15,968	442,572 ±8,779	63,745 ±1,272	20,088 ±0,404	308,251 ±6,099
	Bahar	262,207 ±5,177	156,185 ±3,083	30,931 ±0,653	75,416 ±1,513	726,463 ±14,431	399,681 ±7,962	57,586 ±1,150	18,194 ±0,370	278,385 ±5,492
T-5 Su	Kış	899,314 ±58,518	257,667 ±1,891	50,972 ±0,354	224,378 ±0,926	1198,835 ±8,837	659,478 ±4,878	94,957 ±0,702	44,916 ±4,763	561,300 ±4,283
	Bahar	877,057 ±21,240	245,611 ±1,807	48,932 ±0,379	212,537 ±2,696	1142,519 ±8,440	628,491 ±4,647	89,859 ±1,681	42,832 ±4,520	536,268 ±5,861

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Terkos Baraj Gölü, İstanbul Metropolitanı'na içme suyu sağlayan önemli su kaynaklarından biridir. İstanbul ili nüfus artışına paralel olarak giderek artan kontrolsüz kentselleşme, su ihtiyacının giderek artış göstermesine yol açmaktadır. Ayrıca bilinçsiz sanayileşme ve endüstrileşme ile fabrikalardan çıkan atık suların filtre edilmeden sulara verilmesi, yerleşim alanlarından gelen evsel atıklar su kaynaklarını olumsuz yönde etkileyerek ötrofikasyon sorunlarına neden olmaktadır. Bundan başka son yıllarda tüm dünyayı tehdit eden küresel ısınma ile meydana gelen iklimsel değişiklikler de su kaynaklarının hızla tüketilmesinin yanında kuraklık sorununa maruz kalmasına sebebiyet vermektedir. Söz edilen tüm bu sebeplerle su kaynaklarımız hızla tükenmekle birlikte, ciddi kirlilik problemleri ile de karşı karşıya kalmaktadır. Yeryüzünün dörtte üçü suyla kaplı olmasına rağmen, sadece % 2'lik bir kısmı tatlısu formundadır. Bilindiği gibi yeryüzünde canlılığın devamı için de başlıca gerekli madde sudur.

Özellikle yaz aylarında yağışların azalması, sıcaklık artışlarıyla meydana gelen buharlaşma, tarımsal arazilerin sulanması için göllerden su çekilmesi, insanlar tarafından suyun bilinçsiz ve tasarruf edilmeden kullanımı gibi nedenlerle barajların doluluk seviyelerinde ciddi düşüşler yaşanmaktadır. Evsel ve endüstriyel atıkların arıtılmadan sulara verilmesi de kirlilik yükünü daha da çoğaltmaktadır. Su kaynaklarında kirliliğin sürekli izlenmesi ve kontrolü yoluyla, su kalitesinin iyileştirilmesi ve kirliliğin önlenmesi bunca negatif faktörlere rağmen mümkündür. Sucul sistemlerde izleme çalışmalarında ise fizikokimyasal parametrelerle birlikte biyoindikatör türler de kullanılmaktadır. Sucul ortamların birincil üreticilerinden olan makrofitler, besin zincirinin ilk halkasını oluşturmanın yanı sıra besin tuzları ile ağır metalleri bünyelerinde biriktirme kabiliyetleriyle kıyı bölgesinde bariyer oluşturmakta ve suyun temizlenmesinde kritik rol oynamaktadırlar. Makrofitler ayrıca sucul organizmalar için korunma, barınma, yumurta bırakma, besin kaynağı oluşturma gibi pek çok işlevsel özelliklere de sahiptirler.

İstanbul'un en önemli içme suyu rezervuarlarından Terkos Baraj Gölü'nde, gölü temsil eden toplam 5 istasyonda yaşam döngülerini, yaşadıkları habitatlarında limitlerin üzerinde ağır metal konsantrasyonlarına maruz kalmalarına rağmen sürdüren *Phragmites australis* türü araştırılmıştır. Yerleşim alanlarına yakın evsel kanalizasyon atıklarının çıkışlarının bulunduğu,

Ormanlı Deresi'nin göle taşıdığı yoğun kirlilik yüküne maruz kalan, içmesuyu sağlanan, tarımsal alanların sulanması için su çekilmekte olan, rekreasyon alanı olarak kullanıldığı için çöp atıklarının sıklıkla görüldüğü bir habitatta bulunan *P. australis* türü, bünyesinde ağır metaller içermesine rağmen, biyokütle oluşturmayı sürdürerek yaşamını devam ettirmektedir. Elde edilen bu sonuç, çalışılan bitki türünün yüksek ağır metal konsantrasyonlarını tolere ederek ağır metal stresine oldukça dayanıklı olduğunu ortaya koymaktadır.

Araştırma alanımızı temsil eden Terkos Gölü'nün farklı örnekleme istasyonlarından alınan su örneklerinde ölçülen sıcaklık değerleri hafif değişiklikler göstermiş olsa da, herhangi bir anormallik gözlenmemiş, göl suyunun mevsime uygun değerlerde olduğu tespit edilmiştir. Ölçülen pH değerlerinin de ayni şekilde mevsimsel olarak değişim göstermekle birlikte, yüzey suları için kabul edilebilir sınır değerler içinde olduğu belirlenmiştir. Göl suyu hafif alkali özellikte olup pH değerleri 7.07 ile 8.87 arasında değişim göstermiştir. Elektriksel iletkenlik değerleri 263-685 µS/cm olarak ölçülmüştür. Yüzey suları için izin verilen sınır değerlerinde olduğu tespit edilmiştir. Tuzluluk değerleri Aralık 2024'te 5. istasyon olan Ormanlı Deresi'nden alınan su örneğinde ‰ 0.1 olarak tespit edilirken diğer istasyonlarda tuzluluk tespit edilmemiştir. Yilmaz ve diğ. (2021)'nin araştırmasıyla karşılaştırıldığında pH değerleri uyumlu bulunmuş; elektriksel iletkenlik değerleri ise 5. istasyon haricinde uyumludur. Önceki çalışmada göl suyunda tuzluluk tespit edilmemiş olmasına rağmen, mevcut araştırmada sadece 5. istasyon (T-5) olan Ormanlı Deresi'nde tuzluluk tespit edilmiştir. Elektriksel iletkenlik ve tuzlulukta tespit edilen bu farklı durumun derenin taşıdığı besin tuzu yüklerinden kaynaklı olabileceği gibi Aralık 2024 döneminde su seviyesindeki düşüşten de etkilenmiş olabileceği düşünülmektedir.

Phragmites australis bitkisinin yaprak, gövde ve rizom kısımlarında analiz edilen ağır metal konsantrasyonları karşılaştırıldığında Al, Cr, Fe, Ni ve Zn elementleri en fazla sırasıyla rizom > yaprak > gövde şeklinde birikim gösteririken; Pb, Cu ve Mn elementlerinin ise sırasıyla yaprak > rizom > gövde şeklinde birikim gösterdiği belirlenmiştir.

Suda yapılan analizler sonucunda 5. istasyonda (T-5) üst sınırı aşan elementler Co ve Cu olup, Cr kış döneminde sınırı aşmış, bahar döneminde ise sınıra yakın değerlerde ölçülmüştür. Pb ise yine 5. istasyonda üst sınıra yakın değerlerde tespit edilmiştir. Al, Fe, Mn, Ni ve Zn elementleri ise tüm örnekleme istasyonlarında sular için kabul edilen referans aralıklarında ölçülmüştür. Asi Nehri su örneklerinde ağır metal konsantrasyonları kabul edilen sınır değerlerle

incelendiğinde; Mn ve Zn konsantrasyonları sınır değerler arasında, ancak diğer ağır metallerin konsantrasyon değerleri sınır değerlerin üzerinde bulunmuştur (Yalcın ve Altay, 2023). Bu durumun, tarım arazilerinin sulanmasında kullanılan Asi Nehri'nde ve kıyı bölgesinde yaşayan canlılar için tehdit oluşturduğu bildirilmiştir.

Sediment örneklerinde yapılan analiz sonuçlarına göre Al, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni ve Zn sediment için kabul edilebilir sınır değerlerde ölçülürken, Pb'nin tüm istasyonlarda her iki dönemde de izin verilen üst sınır değer olan 40 µg L^{-1}'yi aştığı tespit edilmiştir. Yalcin ve Altay (2023) tarafından Asi Nehri'nde iki yıl boyunca toplam 4 vejetasyon döneminde gerçekleştirilen araştırmada sedimentte Al izin verilen sınır değerleri altında, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ni, Zn sınır değerleri aralığında belirlenmiştir. Terkos Gölü sedimentinde elde ettiğimiz sonuca paralel şekilde sadece Pb sedimentte limit değerlerin (56.904- 65.984 µgL^{-1}) üzerinde kaydedilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, toprak element içeriğinin tarımsal faaliyetler için uygun olduğu, kirleticilerin varlığına karşın kalite seviyesinin oldukça kabul edilebilir olarak değerlendirilmiştir. Ek olarak, özellikle ağır metaller bakımından kirlenmiş suyun, bu verimli topraklarda yapılan tarımsal faaliyetler içim kullanılmasının ciddi bir endişe kaynağı olarak tespit edilmiştir.

İstasyonlar karşılaştırıldığında analiz edilen tüm elementlerin en yüksek değerlerinin Ormanlı Deresi'nden alınan örneklerde (T-5 istasyonu) tespit edildiği görülmektedir. Yilmaz ve diğ. (2021) tarafından Terkos Gölü su örneklerinde analiz edilen minimum ve maksimum element değerleri ile araştırmamızda elde ettiğimiz ölçüm değerleri karşılaştırıldığında; alüminyum önceki çalışmada (210- 272 µgL^{-1}) aralığında iken araştırmamızda (249,416- 899,314 µgL^{-1}) aralığında ölçülmüştür. Maksimum değerler bakımından alüminyum konsantrasyonun suda 4 katına çıkmış olduğu tespit edilmiştir. Krom daha önce su örneklerinde (13- 38 µgL^{-1}) arasında değişim gösterirken şimdiki çalışmamızda (27,439- 50,972 µgL^{-1}) arasında ölçülmüştür. Krom bakımından da kirlilik yükünde artış olduğu görülmektedir. Bakır önceki araştırmada (9- 26 µgL^{-1}) arasında ölçülürken, mevcut çalışmamızda (38,977- 224,378 µgL^{-1}) olarak tespit edilmiştir. Maksimum değerlere bakıldığında bakır konsantrasyonun gölde su örneklerinde neredeyse 10 kat daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bakır sülfatın diğer adıyla göztaşının, algisit olarak yüzme havuzlarından göllere ve rezervuarlara kadar pek çok sucul alanda alglerin aşırı çoğalmasını kontrol etmek amacıyla kullanıldığı bilinmektedir. Çalışmamızda bakır elementinin suda aşırı artışının sebeplerinden birinin de örnekleme zamanına yakın tarihte göle

bakır sülfat ilave edilmiş olabileceği şeklinde değerlendirilmiştir. Demir önceki çalışmada (216–331 µgL^{-1}) arasında tespit edilirken mevcut araştırmada (644,793-1198,835 µgL^{-1}) arasında ölçülmüştür. Göl suyunda demir konsantrasyonunun 4 katı daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Demir ve manganın içme sularında yüksek konsantrasyonlarda olması suda istenmeyen renk ve bulanıklığa yol açabilmektedir. Kurşun önceki araştırmada (7- 21 µgL^{-1}) aralığında değişim gösterirken, araştırmamızda (18,194- 44,916 µgL^{-1}) arasında ölçülmüştür. Buna göre kurşun bakımından kirlilik yükünün 2 katı artış gösterdiği görülmektedir. Çinko önceki araştırmada suda (127– 202 µgL-1) arasında ölçülmüş, mevcut araştırmada ise (264,77-561,300 µgL-1) arasında bulunmuştur. Çinko konsantrasyonunun göl suyunda önceki araştırmaya göre 3 kat daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Sultan Sazlığı'nda sediment ve su ile birlikte makrofitlerden *Phragmites australis, Typha angustifolia, Potamogeton pectinatus, Ranunculus sphaerosphermus* ve *Groenlandia densa* türlerinde demir ve manganez konsantrasyonları araştırılmıştır (Demirezen ve Aksoy, 2005). Sonuç olarak sucul sisteme etki eden çevresel baskıları belirlerken tüm çalışılan bu bitkilerin biyolojik gösterge olarak kullanılabileceği ortaya konmuş olmasına rağmen, bu tür araştırmalar için *Phragmites australis*'in en uygun tür olduğu kanıtlanmıştır.

Akın ve Bingöl (2019) tarafından yürütülen çalışmada, Kütahya'daki Kocasu Nehri ve bu nehirle bağlantılı iki göletin kıyı bölgelerinde yayılım gösteren *Phragmites australis* (Cav.) Trin. Ex Steud, *Typha latifolia* L., *Nasturdium officinale* L., *Lemna minor* L., *Lythrum salicaria* ve *Ceratophyllum demersum* L. türlerindeki bor, çinko ve arsenik düzeyleri ile birlikte su ve sediment örneklerindeki bor, çinko, arsenik, gümüş, kurşun, bakır, kadmiyum ve krom elementlerinin konsantrasyonları incelenmiştir. Araştırma sonucunda, arsenik elementinin sedimentte oldukça yüksek seviyede bulunduğu (288,66 mg/kg), su örneklerinde ise en yüksek değerin bor elementine ait olduğu (903 µg/L) belirlenmiştir. Ayrıca, en fazla çinko, bor ve arsenik biriktirdiği gözlemlenen makrofit türlerin sırasıyla *Ceratophyllum demersum*, *Lemna minor* ve *Nasturdium officinale* olduğu tespit edilmiştir.

Türkiye'nin en önemli sulak alanlarından biri olan Demir Sazlıkları (Bitlis)'nda *Juncus gerardii* Loisel. subsp. gerardii, *Phragmites australis* (Cav.) Trin. Ex Steud. ve *Carex diluta* M. Bleb. subsp. diluta türleri ile çevresindeki su ve sedimentte ağır metal (Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb, As) içerikleri belirlenmiştir (Hayta ve diğ., 2023). Araştırma sonuncunda suda silikon ve bor içeriklerinin volkanik alanlardan gelen su kaynaklarıyla beslenen sazlıklardan dolayı sınır

değerlerin üzerinde saptanırken, bitkilerde, toprakta ve sedimentte ölçülen eser metaller bakımından bir kirlilik saptanmamıştır.

Küçükçekmece Gölü kıyısından toplanan *Labiatae galatica, Compositae cardueae, Cypereace carex* ve *Phragmites australis* bitki türlerinde Cd ve Zn içeriklerini aylık olarak izleyerek, birikim yeteneğine sahip bitki türlerinin belirlenmiştir (Sahmura ve diğ., 2010). Araştırma sonucunda, ortalama ağır metal alım performansı açısından en verimli türün *Compositae cardueae* olduğu sonucuna varılmıştır. Ancak bu çalışmada sadece 2 element analiz edilmiştir. Zn, Terkos Gölü'nde yaptığımız bu çalışmada suda ve sedimentte kabul edilir düzeyde olup en çok bitkinin rizomunda birikim yaptığı tespit edilmiştir.

Asi Nehri (Hatay)'nde *Arundo donax* ve *Phragmites australis* türlerini 4 farklı dönemde (Haziran ve Ekim) 2 yıl boyunca incelenmiştir (Yalçın ve Altay, 2023). Bitkilerdeki ağır metal ve mineral element birikimleri değerlendirerek, su-toprak-bitki ilişkilerini ortaya çıkarmışlardır. Asi Nehri'nin bazı kısımlarındaki makro-mikro elementler ve ağır metal birikim seviyeleri, ilkbahar dönemlerine kıyasla sonbahar dönemlerinde önemli ölçüde daha yüksek bulunmuş; *A. donax*'ın Cd, Cr ve Ni için, *P. australis*'in ise Cd, Co, Cu, Ni, Pb ve Zn için çok yönlü birikim özellikleri ile yüksek birikim yeteneği olduğu ortaya belirlenmiştir. Terkos Gölü'nde ise *P.australis*'in yaprak ve gövdesinde kış döneminde (Aralık 2024), rizomunda ise bahar döneminde (Mart 2025) daha yüksek element birikimi tespit edilmiştir. Kış döneminde su seviyesindeki düşüş sudaki element konsantrasyonun artmasına yol açarak, bitki tarafından daha fazla biyoakümülasyon sağlanmış olabileceğini düşündürmektedir.

Kovada Gölü'nden mevsimsel olarak su, sediment ve *Phragmites austrialis*'in kök, gövde ve yapraklarındaki ağır metal konsantrasyonları analiz edilmiştir (Sancer ve Tekin-Özan, 2016). Terkos Gölü'nde olduğu gibi Kovada Gölü'nde de Fe, su ve sedimentte çalışılan metaller arasında en yüksek seviyede tespit edilirken, *P. australis*'in kökünde yüksek seviyelerde ağır metaller bulunmuş, gövde ve yaprak örneklerinde daha düşük seviyelerde belirlenmiştir. Her iki gölde de demirin çok yüksek miktarda bulunması, tarımsal gelişmeye bağlı olarak gelecekte Kovada Gölü için bu durumun potansiyel bir tehlike olabileceği bildirilirken; içme suyu kaynağı olana Terkos Gölü için de ciddi bir kirlilik göstergesi olarak değerlendirilmektedir.

Sapanca Gölü'nde *Phragmites australis* ve *Schoenoplectus lacustris* ile sediment örnekleri her üç ayda bir toplanarak, ağır metal içerikleri (Pb, Cr, Cu, Mn, Ni, Zn ve Cd) analiz edilmiştir

(Duman ve diğ., 2007). Her iki bitki türü de Pb, Cu, Mn, Ni, Zn ve Cd elementleri bakımından Sapanca Gölü'nde kök biriktiriciler olarak belirlenmiştir. En yüksek konsantrasyon kök sistemlerinde ölçülürken, nispeten düşük konsantrasyonlar rizom ve bitkilerin yerüstü kısımlarında bulunmuştur. Benzer şekilde Terkos Gölü'nden örneklenen *P.australis*'de de en fazla element birikimi rizom bölümünde tespit edilmiştir. Sapanca Gölü'nde *P. australis*'in kök birikim oranlarının genellikle *S. Lacustris'*ten daha yüksek olduğu görülmüştür. Kök birikim oranları Sapanca Gölü'nde *P. australis* için kışın diğer mevsimlere göre daha yüksek tespit edilirken ayni şekilde element birikimi Terkos Gölü'nde de kışın daha yüksek miktarda analiz edilmiştir.

Sultan Sazlığı (Kayseri)'nda su, sediment ile *Phragmites australis* ve *Ranunculus sphaerosphermus* bitkilerinin ağır metal durumunun incelendiği araştırmada (Aksoy ve diğ., 2005) bu bitkilerin köklerindeki Cr konsantrasyonu sedimenttekinden daha yüksek bulunmuştur. Terkos Gölü'nde de benzer şekilde sedimentteki Cr miktarı, *P.australis*'in rizom kısmındakinden daha yüksek bulunmuştur. Sultan Sazlığı'nda *Phragmites australis'* in dokuları, *Ranunculus sphaerosphermus*' un dokularından daha fazla ağır metal biriktirmiştir. Her iki bitkinin de çevresel baskıları belirleyen biyolojik gösterge olarak kullanılabileceği bildirilmiş olsa da, *P. australis*'in bu tür çalışmalar için daha uygun olduğu kanıtlanmıştır.

Arıtılmış kümes hayvanı mezbahası atık suyuna maruz kalan Hinsor Deresi (Elazığ)'nde *Phragmites australis*'in kurşun ve nikel alma kapasitesinin araştırıldığı bir çalışmada (Topal ve Topal, 2020) bitki tarafından Ni alımının, Pb alımından daha yüksek olduğu belirlenmiştir. *Phragmites australis*'in Pb ve Ni metallerinin uzaklaştırılması ve fitoremediasyon uygulamaları için kullanılabilir olduğu bildirilmiştir. Terkos Gölü'nde ise Ni elementi bitkide en fazla rizom > yaprak > gövde şeklinde izin verilen değerlerde birikim yaptığı tespit edilirken; Pb ise yaprak > rizom > gövde şeklinde izin verilen değerlerin üzerinde (3-4 kat daha yüksek) birikim yaptığı belirlenmiştir. Araştırmamızda, tüm istasyonlarda sediment ve su örneklerinde nikel sular için gösterilen referans aralığında saptanmıştır. Kurşun konsantrasyonları sedimentte izin verilen üst sınır değeri aşarken, su örneklerinde sular için sınır değerleri aralığında bulunmuş olsa da, üst sınır değer olan 50 µg L^{-1}'ye çok yaklaşmış olduğu belirlenmiştir. Bu durum Terkos Gölü'nün Hinsor Deresi'ne göre kurşun elementi bakımından daha yüksek seviyede bir ağır metal kirliliğine maruz kalması ile ilişkili olduğu yönünde değerlendirilmiştir.

Başka bir çalışmada Hinsor Deresi su ve sediment örnekleri ile kümes hayvanı mezbaha atık suyuna maruz kalan *Phragmites australis*'de As, Cd, Se, Cu, Zn, Cr, Ba, Ti, Fe, Al ve Mn metallerinin biyoakümülasyonu incelenmiştir (Topal, 2021). Bitkilerde maksimum metal birikimi, referans bitki değerleriyle karşılaştırıldığında Al için %5900 ve Mn için %33,5 olarak hesaplanarak; *P. australis* bitkisinin kümes hayvanı kesimhane atık sularındaki metallerin arıtımında kullanılabilecek iyi bir biriktirici olarak değerlendirilmiştir. Terkos Gölü su ve sedimenti mangan bakımından izin verilen sınır değerler arasında bulunurken, sadece Ormanlı Deresi'nden toplanan *Phragmites australis*'in yaprak kısmında izin verilen değeri hafif aştığı tespit edilmiştir.

Karasu Nehri sedimentinde ve *Phragmites australis* (Cav.) bitki örneklerindeki ağır metal konsantrasyonlarının incelendiği bir çalışmada Ni ve Cr sedimentte yüksek konsantrasyonda; Cd ve Zn ise *P. australis*'in kök ve yaprak kısımlarında aşırı miktarda bulunmuştur (Osma ve diğ., 2015). Terkos Gölü'nde Ni ve Cr sedimentte izin verilen referans aralığında bulunmuş olup; Zn yaprakta izin verilen sınır değerinin 2 katı, rizomda ise 4 katı daha yüksek konsantrasyonda bulunmuştur. Zn elementinin her iki çalışmada da benzer olarak en fazla bitkinin yaprak ve kök bölümleri tarafından akümüle edildiği tespit edilmiştir.

Eğirdir Gölü'nde yayılım gösteren *Phragmites australis* ve *Typha angustifolia*'nın organlarında bazı ağır metallerin (Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Se ve Zn) mevsimsel değişimlerinin belirlenmesi ve bu bitkilerin biyoakümülasyon faktörünün (BF) hesaplanması yoluyla fitoremediasyon için kullanılabilirliklerinin araştırıldığı çalışma sonucunda, her iki bitkinin özellikle Mo ve Zn elementleri bakımından birikim yeteneklerine sahip olduğu bildirilmiştir (Özçelik ve Tekin-Özan, 2023). Çevre dostu ve ekonomik olmaları sebebiyle bu bitkilerden Eğirdir Gölü'nün mevcut durumunu iyileştirmede kullanılabilir olabilecekleri sonucuna varılmıştır. Terkos Gölü'nde de benzer olarak Zn elementinin *P. australis*'in özellikle en fazla yaprak ve rizom bölümlerinde birikim eğilimine sahip olduğu belirlenmiştir.

Aşağı Sakarya Nehri havzasında (Poyrazlar Gölü, Taşkışı Gölü, Sapanca Gölü ve Acarlar Longozu) *Phragmites australis*, *Eleachoris palustris* ve *Thypa latifolia* türlerinde Pb, Cr, Cu, Mn, Ni, Zn ve Cd birikimleri incelenmiş; bu sucul bitkilerin ağır metalleri alımı ve birikiminin zamansal değişimler gösterdiği, bitkilerdeki element birikiminin en yüksek sonbahar ve kış aylarında görüldüğü belirtilmiştir (Altıntıg ve diğ.,2016). Terkos Gölü'nde ilkbahar ve kış dönemlerinde topladığımız bitkilerde yapılan element analizlerine göre aşağı Sakarya Nehri

havzasındaki sucul makrofit türleriyle benzer olarak kış mevsiminde yaprak ve gövde kısımlarında en yüksek birikim kaydedilirken; rizom kısmında ise en yüksek element konsantrasyonları ilkbahar örneklerinde analiz edilmiştir.

Phragmites australis bitkisinin kullanılarak gerçekleştirilen hidroponik deneylerde kadmiyumun ve kadmiyum, bakır ve çinkonun kombine uygulamalarının büyüme, tolerans endeksleri, mineral bileşimi ve türün metal alımı üzerindeki etkileri araştırılmıştır (Ait Ali ve diğ., 2004). Sonuç olarak bu türün kadmiyuma yüksek tolerans seviyesinin, kadmiyum gideriminde atık su arıtımı için fayda sağlayabileceği; fakat ayni anda atık suda yüksek konsantrasyonlarda Cd, Cu ve Zn mevcudiyetinin verimliliği sınırlandırabileceği görüşüne varılmıştır. Terkos Gölü'nden örneklenen *P.australis* türü bakır ve çinko elementlerini en çok sırasıyla yaprak > rizom > gövde kısımlarında biriktirmiştir. Sonuç olarak, bakır ve çinko ile kirlenmiş sularda *P. australis* türünün fitoremediasyon uygulamaları için uygun olduğu hem deneysel ortamda hem de bitkinin yaşadığı doğal ortamında kanıtlanmıştır.

Brezinova ve Vymazal (2022) *Phragmites australis*'in sürgünlerinde üç tam ölçekli yapay sulak alan ile beş doğal sulak alanda Cu, Cd, Cr, Ni, Pb ve Zn ağır metallerinin dağılımı analiz etmişler; en yüksek biyokütlenin, yapay sulak alanlarda % 38 ve doğal sulak alanlarda ise % 42 olmak üzere sürgünlerin taban bölümlerinde kaydetmişlerlerdir. Terkos Gölü'nde yayılım gösteren *P. australis*'te ise Cr, Ni ve Zn en fazla miktarlarda rizomda; Cu ve Pb ise en fazla yaprakta birikim göstermiştir.

Al-Hawizeh Bataklığı (İran)'nın farklı bölgelerinden toplanan *Azolla filiculoides, Ceratophyllum demersum, Potamogeton pectinatus, Najas marina, Phragmites australis* ve *Typha domingensis* türlerinde Fe, Ni, Cr, Cd, Pb ve Zn element analizleri yapılmıştır (Al-Abbawy ve diğ., 2021). Bütün türlerde Dünya Sağlık Örgütü' nün (WHO) izin verdiği değerlerin üzerinde kadmiyum, krom ve demir konsantrasyonları kaydedilirken; çinko, bakır ve kurşun izin verilen sınırlar içinde bulunmuştur. Araştırmada en yüksek ağır metal biriktirme kapasitesine *C. demersum* ve *N. marina*'nın sahip olduğu bildirilmiştir. Terkos Gölü'nde ise bitkinin yaprak kısmında Cu, Co, Pb ve Zn; rizom kısmında Co, Cu, Fe, Ni, Pb ve Zn, gövde kısmında ise Co ve Pb element konsantrasyonları bitkiler için izin verilen referans değerlerinin üzerinde tespit edilmiştir.

Dez Nehri (İran)'nde sediment örnekleriyle *Phragmites australis*'te çinko (Zn), kurşun (Pb), bakır (Cu) ve kadmiyum (Cd) konsantrasyonları analiz edilmiştir (Farad ve diğ., 2016). Sonuç olarak biyo-birikim endeksine göre bu tür Cu, Zn, Pb ve Cd'nin biriktiricisi olarak tanımlanmış; Translokasyon Faktörü, sırasıyla Pb, Cd, Cu ve Zn için yeraltı, yerüstü organlarına doğru artış gösterdiği bildirilmiştir. Terkos Gölü'nde ise bu tür Al, Cr, Fe, Ni ve Zn elementlerince en fazla rizomda birikim gösterirken, Pb ve Cu elementlerinin en fazla yaprakta birikim yaptığı kaydedilmiştir.

Phragmites australis ve *Typha angustifolia*'nın, doğal koşullar altında fitoremediasyon potansiyelinin Bogdanka Nehri (Poznań, Polonya)'nde değerlendirildiği bir çalışmada (Borowiak ve diğ., 2016) sedimanda, sudan daha yüksek ağır metal değerlerine rastlanmıştır. Sedimentte Cd ve Pb konsantrasyonundaki azalmalar bu elementlerin bitkiler tarafından akümüle edilmiş olabileceği şeklinde yorumlanmıştır. Her iki tür de yeraltı ve yer üstü bitki dokularında yüksek miktarda Cd ve Pb biriktirse de, *T. angustifolia*'nın, *P. australis*'e göre daha yüksek Cd translokasyon potansiyeline sahip olduğunu saptanmıştır. Terkos Gölü'nden elde edilen *P. australis* türünde de Pb konsantrasyonunun izin verilen referans değerlerinin çok üzerinde tespit edilmiş olması, bu türün özellikle kurşun bakımından yüksek kirlilik yükü taşıyan suların fitoremediasyon çalışmaları için uygunluğunu ortaya koymaktadır.

Aras Nehri'nde suda (Hg, Mo, Cu, Co, B, Cd, Ni, Zn, Pb, Al, Mn, Cr ve Fe), sedimentte (Cu ve Mo) ve *Phragmites australis*'in kökünden alınan örneklerde (sadece Cu) ağır metal analizleri yapılmıştır (Aazami ve Taban 2018). Araştırma sonunda suda B, Cu, Mo ve Al, sediment ve bitkinin kökünde ise Cu konsantrasyonunun standart değerlerin üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Terkos Gölü'nde Cu elementi benzer şekilde su ve bitki örneklerine izin verilen değerlerin üzerinde ölçülürken, sediment örneklerinde Aras Nehri'nden farklı olarak kabul edilebilir sınır değerleri aralığında ölçülmüştür. Her iki tatlı su kaynağında elde edilen sonuçlar, suların Cu bakımından arıtılarak su kalitesinin iyileştirilmesinde bu türün etkin şekilde kullanılabilirliğini göstermektedir.

Burullus Gölü (Mısır)'nde *Phragmites australis*'in sığır, keçi ve koyunlar için potansiyel yem bitkisi olarak kullanım uygunluğu ile farklı bitki organlarında bazı ağır metaller (Mn, Pb, Co, Cu, Cd, Zn ve Fe) analiz edilmiştir (Al_Sodany ve diğ., 2012). Ayrıca, bazı organik bileşenler saptanmış, sindirilebilir enerji, metabolize edilmiş enerji, net ve brüt enerji değerleri hesaplanmıştır. Araştırmanın sonuçları, rizomda ağır metal birikiminde bir artış; rizom > gövde

> yapraklar sıralamasında bir azalma olduğunu göstermiştir. Ek olarak, bitki organları ile sudaki ağır metal konsantrasyonları arasında pozitif doğrusal ilişkiler bulunmuştur. Sonuç olarak, *P. australis*'in kirli sularda ağır metallerin iyi bir biriktiricisi ve biyoindikatörü olarak işlev görebileceği sonucuna varılmıştır. Yeraltı rizomlarının ağır metalleri biriktirme yeteneğine sahip olması, bir fitoremediatör olarak kullanılabileceğini gösterirken; yerüstü kısımlarının ise en yüksek besin değerlerine sahip olması bu bitkiyi hayvanlar için iyi bir yem kaynağı olabileceğini ortaya koymaktadır. Terkos Gölü'nde de analiz edilen ağır metaller en yüksek konsantrasyonlarda bitkinin rizom ve yaprak bölümlerinde kaydedilmiştir.

Anzali Sulak Alanı (İran)'nında sediment ve *Phragmites australis*'in organlarında metal birikiminin incelendiği araştırma sonucunda, incelenen metallerin (As ve Cd hariç) konsantrasyonunun sedimentte *P. australis* organlarından daha yüksek miktarda olduğunu görülmüştür (Esmaeilzadeh ve diğ., 2016). Yine metal birikimi *P. australis*' in yer üstü organlarına nazaran köklerde önemli ölçüde daha yüksek olduğu bulunmuştur. Sediment ve *P. australis* bitkisindeki element konsantrasyonları arasındaki korelasyon, bitkinin organlarının Anzali Sulak Alanı'nın sedimentindeki metal kirliliği için iyi bir biyoindikatör olduğunu ortaya çıkartmıştır. Terkos Gölü sediment örneklerinde izin verilen referans aralığının üzerinde ölçülen tek element olan kurşun, buna paralel olarak bitkinin tüm organlarında da (yaprak, rizom, gövde) yüksek konsantrasyonlarda ölçülmüştür. Kurşun elementi göl suyunda sadece Ormanlı Deresi'nin olduğu T-5 istasyonunda sınır değere yakın miktarda kaydedilmiştir. Terkos Gölü için *Phragmites australis* türünün kurşun elementini çok iyi akümüle ederek bünyesinde biriktirdiği sonucuna varılmıştır.

Terkos Gölü'nde ilk kez gerçekleştirilen bu araştırma ile halk sağlığının korunması ve oluşabilecek olumsuz şartların önceden tahmin edilerek önlem alınması da mümkün olacaktır. Yine elde ettiğimiz veriler, *Phragmits australis* bitki türünün Terkos Gölü eksosistemi için fitoremediasyon uygulamalarında kullanılabilirliğinin uygunluğu ortaya çıkartılmıştır. Ayrıca bitki örnekleriyle birlikte su ve sedimentte ağır metal konsantrasyonlarının belirlenmiş olması, bu çok önemli içme suyu rezervuarı için ileriki çalışmalara kaynak teşkil edecektir.

KAYNAKLAR

Aazami, J. And Taban, P., 2018, Monitoring of Heavy Metals in Water, Sediment and Phragmites australis of Aras River along the Iranian-Armenian Border, *Iranian Journal of Toxicology*,12 (2):1-6.

Abdalla, F. and Khalil, R., 2018, Potential effects of groundwater and surface water contamination in an urban area: Qus City, Upper Egypt, *Journal of African Earth Sciences*, 141, 164–178.

Akın B.and Bingöl, N.A., 2019, Heavy Metal Accumulation in Wetland Plants and Water-Sediment Relationship in Köprüören-Kütahya, LIMNOFISH-*Journal of Limnology and Freshwater Fisheries Research*, 5(2): 76-82.

Aksoy, A., Demirezen, D., and Duman, F., 2005, Bioaccumulation, detection and analyses of heavy metal pollution in Sultan Marsh and its environment, *Water, Air, and Soil Pollution*, 164(1-4), 241–255.

Aksoy, A., Demitezen, D. and Duman, F., 2005, Bioaccumulation, detection and analyses of heavy metal pollution in Sultan Marsh and its environment, *Water Air and Soil Pollution*, 164(1): 241-255.

Aktürk (2016) Terkos Gölü (İstanbul) sucul ekosisteminde yetişen bazı makrofitlerde fitoremediasyonun araştırılması, , Yüksek Lisans Tezi, İ.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü.

Al-abbawy, D.A.H., Al-thahaibawi, B.M.H., Al-mayaly, I.K.A. and Younis, K.H., 2021, Assessment of some heavy metals in various aquatic plants of Al-Hawizeh Marsh, southern of Iraq, *BIODIVERSITAS*, 22(1): 338-345.

Al-Sodany, Y.M., El-Sheikh, M.A., Baraka D.M. and Shaltout K.H., 2012, Elements Accumulation and Nutritive Value of Phragmites Australis (Cav.) Trin. ex Steudel in Lake Burullus: A Ramsar site, Egypt, *CATRINA*, 8 (1): 51 -63.

Alia, N.A., Bernalb and Mohammed Ater, M., 2004, Tolerance and bioaccumulation of cadmium by Phragmites australis grown in the presence of elevated concentrations of cadmium, copper, and zinc, *Aquatic Botany* 80:163–176.

Altintig, E., Sagiroglu M., Ikiel, C. and Derya Evrim Koc, D.E., 2016, The Heavy-Metal Accumulation in Some Aquatic Plants and their Spatial Distributions in the Lower Sakarya River Basin (Turkey), *Iran J Sci Technol Trans Sci*., 40:281–287.

Alvarez-Robles, M. J., Bernal, M. P., and Clemente, R., 2022, Differential response of Oryza sativa L. and Phragmites australis L. plants in trace elements contaminated soils under flooded and unflooded conditions, *Environmental Geochemistry and Health*, 44(1), 99-115.

Artiola, J. F., Walworth, J. L., Musil, S. A., and Crimmins, M. A., 2019, Soil and land pollution, In Environmental and pollution science (pp. 219-235). Academic Press.

Asan, A., Kirgiz, T., Sen, B., Camur–Elipek, B., Guner, U., Guher, H., 2003, Isolation, identification and seasonal distribution of airborne and waterborne fungi in Terkos Lake (Istanbul–Turkey), *J. Basic Microbiol*., 43, 83–95.

B˘rezinov´a T.D. and Vymazal J., 2022, Distribution of heavy metals in Phragmites australis growing in constructed treatment wetlands and comparison with natural unpolluted sites, *Ecological Engineering* 175,106505.

Banerjee, U., and Gupta, S., 2012, Source and distribution of lead, cadmium, iron and manganese in the river Damodar near Asansol Industrial Area, West Bengal, India, *International Journal of Environmental Sciences*, 2(3), 1531–1540.

Barakat, A., El Baghdadi, M., Rais, J., and Nadem, S., 2012, Assessment of heavy metal pollution in surface sediments of Day River at Beni-Mellal region, Morocco, Research *Journal of Environmental and Earth Sciences*, 4(8), 797–806.

Baylan, E., Karadeniz, N., 2006, A research on conservation and development of natural and cultural environment; case study Terkos Lake, Istanbul, *J. Agric. Sci*., 12, 151–161.

Begum, W., Rai, S., Banerjee, S., Bhattacharjee, S., Mondal, M. H., Bhattarai, A., and Saha, B., 2022, A comprehensive review on the sources, essentiality and toxicological profile of nickel, *RSC advances*, 12(15), 9139-9153.

Bonanno, G., and Lo Giudice, R.,2010, Heavy metal bioaccumulation by the organs of Phragmites australis (common reed) and their potential use as contamination indicators, *Ecological Indicators*, 10(3), 639–645.

Borowiak, K., Kanclerz, J., Mleczek, M., Lisiak, M., Drzewiecka K., 2016, Accumulation of Cd and Pb in water, sediment and two littoral plants (Phragmites australis, Typha angustifolia) of freshwater ecosystem, *Archives of Environmental Protection*, 42 (3): 47-57.

Boudet, L. C., Escalante, A., Von Haeften, G. and Gerpe, M. J., 2011, Assessment of heavy metal accumulation in two aquatic macrophytes: a field study, *Journal of the Brazilian Society of Ecotoxicology*, 6(1), 57–64.

Closset, M., Cailliau, K., Slaby, S. and Marin, M., 2021, Effects of Aluminium Contamination on the Nervous System of Freshwater Aquatic Vertebrates: A Review, *International Journal of Molecular Sciences*, 23(1), 31.

Cuda, J., Skálová, H., Meyerson, L. A., and Pyšek, P., 2021, Regeneration of Phragmites australis from rhizome and culm fragments: an experimental test of environmental effects, population origin and invasion status, *Preslia*, 93(3), 237-254.

Çağlarırmak, N. ve Hepçimen, A.Z., 2010, Ağır Metal Toprak Kirliliğinin Gıda Zinciri ve İnsan Sağlığına Etkisi, *Akademik Gıda*, 8 (2), 31-35.

Çevik, F., Göksu, M. Z. L., Derici, O. B., and Findik, Ö., 2009, An assessment of metal pollution in surface sediments of Seyhan Dam by using enrichment factor, geoaccumulation index and statistical analyses, *Environmental Monitoring and Assessment*, 152(1-4), 309–317.

Danelli, T., Sepulcri, A., Masetti, G., Colombo, F., Sangiorgio, S., Cassani, E. and Pilu, R., 2021, Arundo donax L. biomass production in a polluted area: Effects of two harvest timings on heavy metals uptake, *Applied Sciences*, 11(3), 1147.

Das, K. K., Reddy, R. C., Bagoji, I. B., Das, S., Bagali, S., Mullur, L. and Biradar, M. S., 2019, Primary concept of nickel toxicity–an overview, *Journal of Basic and Clinical Physiology and Pharmacology*, 30(2), 141-152.

Dawood, M. A., 2022, Dietary copper requirements for aquatic animals: A review, *Biological Trace Element Research*, 1-10.

de Oliveira, M. R., 2020, Carnosic acid and carnosol: Neuroprotection and the mitochondria, In Oxidative Stress and Dietary Antioxidants in Neurological Diseases (pp. 217-230). Academic Press.

Delplace, G., Schreck, E., Pokrovsky, O. S., Zouiten, C., Blondet, I., Darrozes, J., and Viers, J., 2020. Accumulation of heavy metals in phytoliths from reeds growing on mining environments in Southern Europe, *Science of the Total Environment*, 712, 135595.

Demirezen, D. and Aksoy, A, 2006, Common hydrophytes as bioindicators of iron and manganese pollutions, *Ecological Indicators*, 6, 388–393.

Demirtas, M., 2011, The seasonal distribution and effect of Tench fish (Tinca tinca L., 1758) heliminthes parasites living in Terkos Lake, *Turk. J. Parasitol*., 35, 159–163.

Dey, M. and Singh, R. K., 2022, Neurotoxic effects of aluminium exposure as a potential risk factor for Alzheimer's disease, *Pharmacological Reports*, 1-12.

Di Bucchianico, S., Gliga, A. R., Åkerlund, E., Skoglund, S., Wallinder, I. O., Fadeel, B., and Karlsson, H. L., 2018, Calcium-dependent cyto-and genotoxicity of nickel metal and nickel oxide nanoparticles in human lung cells, *Particle and Fibre Toxicology*, 15(1), 1-14.

Duman, F., Cicek, M. and Sezen, G.,2007, Seasonal changes of metal accumulation and distribution in common club rush (Schoenoplectus lacustris) and common reed (*Phragmites australis*), *Ecotoxicology*, 16:457–463 DOI 10.1007/s10646-007-0150-4

Ejaz, A., Ahmad, K., Khan, Z. I., Akhtar, S., Sultana, R., Nadeem, M. and Elshikh, M. S., 2022. Assessment of cobalt in wheat grains as affected by diverse fertilizers: implications for public health, *Environmental Science and Pollution Research*, 29(23), 34558-34574.

EPA (United States Environmental Protection Agency), National Recommended Water Quality Criteria, United States, 2004. Available at: http://water.epa.gov/.

Erikson, K. M., and Aschner, M., 2019, Manganese: its role in disease and health, *Met Ions Life Sci*, 19, 253-266.

Esmaeilzadeh, M., Karbassi, A. and Moattar F., 2016, Heavy metals in sediments and their bioaccumulation in Phragmites australis in the Anzali wetland of Iran, *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 34(4): 810-820.

Fard, P.N., Mortazavi S. and Ildoromi A., 2016, Common Reed (Phragmites australis) as a Bio Refining and Monitoring Plant of Pollution Resulting from Heavy Metals (Case Study: Dez River, Dezful, Iran), *Journal of Rangeland Science*, 6 (1):10-22.

Ferreira, L. M., Cunha-Oliveira, T., Sobral, M. C., Abreu, P. L., Alpoim, M. C. and Urbano, A. M., 2019, Impact of carcinogenic chromium on the cellular response to proteotoxic stres, *International Journal of Molecular Sciences*, 20(19), 4901.

Genchi, G., Carocci, A., Lauria, G., Sinicropi, M. S., and Catalano, A., 2020, Nickel: Human health and environmental toxicology, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(3), 679.

Gerard, D. and Gray, S. K., 2015, Special issue on aluminium plasmonics, *Journal of Physics. D, Applied Physics*, 48(18).

Gleick, P. H., 2019, Water as a weapon and casualty of armed conflict: A review of recent water-related violence in Iraq, Syria, and Yemen, Wiley Interdisciplinary Reviews: Water, 6(4), e1351.

Guher, H. 2002, Cladocera and Copepoda (Crustacea) Fauna of Lake Terkos (Durusu), *Turk. J. Zool*., 26, 283–288.

Guher, H., Kirgiz, T., Camur, B., Guner, U., 2004, A study on zooplankton organisms community structures of Lake Terkos (Istanbul Turkey), *Pak. J. Biol. Sci*., 7, 566–570.

Guo, Q., Majeed, S., Xu, R., Zhang, K., Kakade, A., Khan, A. and Li, X., 2019, Heavy metals interact with the microbial community and affect biogas production in anaerobic digestion: A review, *Journal of Environmental Management*, 240, 266-272.

Harada, M., Honma, Y., Yoshizumi, T., Kumamoto, K., Oe, S., Harada, N. and Shibata, M., 2020, Idiopathic copper toxicosis: is abnormal copper metabolism a primary cause of this disease?, *Medical Molecular Morphology*, 53(1), 50-55.

Hassan, M. U., Chattha, M. U., Khan, I., Chattha, M. B., Aamer, M., Nawaz, M. and Khan, T. A., 2019, Nickel toxicity in plants: reasons, toxic effects, tolerance mechanisms, and remediation possibilities—a review, *Environmental Science and Pollution Research*, 26(13), 12673-12688.

Hayta, Ş., Kaya, E. and Avşar, E., 2023, Determination of heavy metal content in water, sediment and some macrophyte species, iron reeds, Bitlis-Türkiye Case Study, *Pak. J. Bot*., 55(6): 2081-2089.

Higgisson, W., Cobb, A., Tschierschke, A., and Dyer, F., 2022, The Role of Environmental Water and Reedbed Condition on the Response of *Phragmites australis* Reedbeds to Flooding, *Remote Sensing*, 14(8), 1868.

Hossini, H., Shafie, B., Niri, A. D., Nazari, M., Esfahlan, A. J., Ahmadpour, M. and Hoseinzadeh, E., 2022, A comprehensive review on human health effects of chromium: insights on induced toxicity, *Environmental Science and Pollution Research*, 1-20.

Hyun, J., Yoon, C., and Kim, J. H., 2020, The report on the taxonomic characters, ecological risk and weed risk assessment of putative invasive alien plants which are designated in law by the Ministry of Environment in Korea as environmentally harmful species (II), *Korean Journal of Plant Resources*, 33(3), 200-219.

Ibanez, T. B., Santos, L. F. D. M., Lapaz, A. D. M., Ribeiro, I. V., Ribeiro, F. V., Reis, A. R. D. and Heinrichs, R., 2020, Sulfur modulates yield and storage proteins in soybean grains, *Scientia Agricola*, 78.

Idziak, K., Czakiert, T., Krzywanski, J., Zylka, A., Kozlowska, M., and Nowak, W., 2020, Safety and environmental reasons for the use of Ni-, Co-, Cu-, Mn-and Fe-based oxygen carriers in CLC/CLOU applications: An overview, *Fuel*, 268, 117245

Jaiswal, A. K., Kumar, R., Thakur, A., Puri, P., Kumar, R. and Kanojia, R., 2019, Cobalt toxicity/poisoning with analytical aspects and its management, *Int J Med Lab Res*, 4(3), 29-36.

Jamshaid, M., Khan, A. A., Ahmed, K., and Saleem, M., 2018, Heavy metal in drinking water its effect on human health and its treatment techniques-a review, *Int. J. Biosci*, 12(4), 223-240.

Kastratović, V., Krivokapić, S., Đurović, D., and Blagojević, N., 2013, Seasonal changes in metal accumulation and distribution in the organs of Phragmites australis (common reed) from Lake Skadar, Montenegro, *Journal of the Serbian Chemical Society*, 78(8), 1241–1258.

Khan, N. M., Khalil, T. M., Rehan, R., and Zeb, I., 2022, Phytoremediation of heavy metals from irrigation water–case study of Hayatabad Peshawar, *Pakistan Journal of Agricultural Research*, 35(1), 227-239.

Kuntal, S., and Reddy, M. N., 2014, Accumulation of heavy metals by some aquatic macrophytes in estuarine zone of River Tapi, Surat, Gujarat, India, *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 3(4), 11125–11134.

Kurun, A., Balkıs, N., Erkan, M., Balkis, H., Aksu A. and Erşan, M.S., 2010, Total metal levels in crayfish Astacus leptodactylus (Eschscholtz, 1823), and surface sediments in Lake Terkos, Turkey, *Environ. Monit. Assess.*, 169, 385–395.

Leyssens, L., Vinck, B., Van Der Straeten, C., Wuyts, F. and Maes, L., 2017, Cobalt toxicity in humans, A review of the potential sources and systemic health effects, *Toxicology*, 387, 43-56.

Li, J., Du, Z., Zou, C. B., Dai, Z., Du, D. and Yan, C., 2018. The mutual restraint effect between the expansion of Alternanthera philoxeroides (Mart.) Griseb and cadmium mobility in aquatic environment, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 148, 237-243

Martins, A. C., Krum, B. N., Queirós, L., Tinkov, A. A., Skalny, A. V., Bowman, A. B., and Aschner, M., 2020, Manganese in the diet: bioaccessibility, adequate intake, and neurotoxicological effects, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(46), 12893-12903.

Matveeva, V. A., Alekseenko, A. V., Karthe, D., and Puzanov, A. V., 2022, Manganese Pollution in Mining-Influenced Rivers and Lakes: Current State and Forecast under Climate Change in the Russian Arctic, *Water*, 14(7), 1091

Maya, S., Prakash, T., Madhu, K. D. and Goli, D., 2016, Multifaceted effects of aluminium in neurodegenerative diseases: A review, *Biomedicine and Pharmacotherapy*, 83, 746-754.

Miah, M. R., Ijomone, O. M., Okoh, C. O., Ijomone, O. K., Akingbade, G. T., Ke, T. and Aschner, M., 2020, The effects of manganese overexposure on brain health, *Neurochemistry International*, 135, 104688

Milke, J., Gałczyńska, M., and Wróbel, J., 2020, The importance of biological and ecological properties of *Phragmites australis* in phytoremediation of aquatic ecosystems-a review, *Water*, 12(6), 1770.

Mitsch, W. J., and Gosselink, J. G., 2015, Wetlands. John wiley & sons.

Mülayim, A., Bat, L., Öztekin, A., Kecel Gündüz, S., Yücedağ, E., Bıçak, B., 2022, Microplastic Accumulation in Crayfish Astacus leptodactylus (Eschscholtz 1823) and Sediments of Durusu (Terkos) Lake (Turkey), Water, Air and Soil Pollution: An *International Journal of Environmental Pollution*, 233(11).

Naji, A., and Ismail, A., 2011, Assessment of metals contamination in Klang River surface sediments by using different indexes, *EnvironmentAsia*, 4(1), 30–38.

Nayak, S. S., Pradhan, S., Sahoo, D., and Parida, A., 2020, De novo transcriptome assembly and analysis of Phragmites karka, an invasive halophyte, to study the mechanism of salinity stress tolerance, *Scientific Reports*, 10(1), 1-12.

Niemeier, R. T., Maier, A., and Reichard, J. F., 2022, Rapid review of dermal penetration and absorption of inorganic lead compounds for occupational risk assessment, *Annals of Work Exposures and Health*, 66(3), 291-311.

Osma E., Ihlan V. and Yalcin I.E., 2015, Uptake of selected heavy metals and their effects on some physiologic parameters and mineral nutrition in Phragmites australis in Karasu river-Turkey, *Global NEST Journal*, 17(3), 555-564.

Ozturk, M., Metin, M., Altay, V., Kawano, T., Gul, A., Unal, B. T. and Shahzadi, A., 2023, Aluminum Toxicity: A Case Study on Tobacco (Nicotiana tabacum L.), Phyton-*Internatıonal Journal of Experımental Botany*, 92(1), 165-192.

Özçelik, Ş and Tekin-Özan, S., 2023, Seasonal variations of some heavy metals in common reed (Phragmites australis (Cav.) Trin. Ex. Steudel) and narrow-leaved cattail (Typha angustifolia L.) in Eğirdir Lake (Turkey) and the possibility of using for phytoremediation of these macrophytes, *Environmental Science and Pollution Research*, 30:112194–112205.

Pereira, T. C. B., Campos, M. M. and Bogo, M. R., 2016, Copper toxicology, oxidative stress and inflammation using zebrafish as experimental model, *Journal of Applied Toxicology,* 36(7), 876-885.

Peterson, P. M., Hosni, H. A., and Shamso, E. K., 2020, A key to the grasses (Poaceae) of Egypt, Webbia *Journal of Plant Taxonomy and Geography*, 75(2), 329-353.

Philpott, C. C., 2018, The flux of iron through ferritin in erythrocyte development, Current opinion in hematology, 25(3), 183.

Pohanka, M., 2019, Copper and copper nanoparticles toxicity and their impact on basic functions in the body, *Bratisl Lek Listy*, 120(6), 397-409.

Polutchko, S. K., Glime, G. N., and Demmig-Adams, B., 2021, Synergistic action of membrane bound and water soluble antioxidants in neuroprotec-tion, *Molecules*, 26(17), 5385.

Sahmurova, A., Celik, M. and Allahverdiyev, S., 2010, Determination of the accumulator plants in Kucukcekmece Lake (Istanbul), *African Journal of Biotechnology*, Vol. 9(39); 6545-6551.

Sanajou, S., Sahin, G., and Baydar, T., 2021, Aluminium in cosmetics and personal care products, *Journal of Applied Toxicology*, 41(11), 1704-1718.

Sancer, O. and Tekin-Özan, S., 2016, Seasonal Changes of Metal Accumulation in Water, Sediment and Phragmites austrialis (Cav.) Trin. ex Steudel Growing in Lake Kovada (Isparta, Türkiye), *SDU Journal of Science* (E-Journal), 11 (2): 45-60

Shen, X., Dai, M., Yang, J., Sun, L., Tan, X., and Peng, C., 2022, A critical review on the phytoremediation of heavy metals from the environment: Performance and challenges, *Chemosphere*, 291, 132979.

Shetty, R., Vidya, C.S.N., Prakash, N.B., Lux, A., Vaculik, M., 2021, Aluminum toxicity in plants and its possible mitigation in acid soils by biochar: A review", *Science of the Total Environment*, 765, 142744.

Srivastava, P., Bolan, N., Casagrande, V., Benjamin, J., Adejumo, S. A., and Sabir, M., 2022, Cobalt in soils: sources, fate, bioavailability, plant uptake, remediation, and management, In Appraisal of Metal (Loids) in the Ecosystem (pp. 81-104). Elsevier.

Štrbac, S., Karadžić, V., Lazić, M., Ajtić, J., Simonović, P., and Jovančićević, B., 2014, Metals in sediment and Phragmites australis (common reed) from Tisza River, Serbia, *Applied Ecology and Environmental Research*, 12(1), 105–122.

Suganya, A., Saravanan, A., and Manivannan, N., 2020, Role of zinc nutrition for increasing zinc availability, uptake, yield, and quality of maize (Zea mays L.) grains: An overview, *Commun. Soil Sci. Plant Anal*, 51(15), 2001-2021.

SWQRT (Surface Water Quality Regulations of Turkey), 2015. Available at: http://mevzuat.gov.tr/.

Temel, M., 2005, Phytoplankton investigations as a supplement to al the previous limnological studies carried out in Lake Terkos (Istanbul, Turkey), *Supplementa Acta Hydrobiol*., 7, 15–28.

Topal, M and Topal, E.I.A., 2020, Phytoremediaton of priority substances (Pb and Ni) by Phragmites australis exposed to poultry slaughterhouse wastewater, *International Journal of Phytoremediation*, 22:8, 857-862.

Topal, M., 2021, Investigation of Some Metal Accumulation Ability of Phragmites australis from Poultry Slaughterhouse Waste waters Investigation of Some Metal Accumulation Ability of Phragmites australis from Poultry Slaughterhouse, Wastewaters *Arabian Journal for Science and Engineering*, 46:115–122.

Ullah, N., Ansir, R., Muhammad, W., and Jabeen, S., 2020, Mechanistic approaches and current trends in the green synthesis of cobalt oxide nanoparticles and their applications, *Asian Journal of Green Chemistry*, 4(3), 340-354.

Vymazal, J., 2011,. Plants used in constructed wetlands with horizontal subsurface flow: a review, *Hydrobiologia*, 674(1), 133–156.

Xie, L., Jespersen, E., Ye, S., Pei, L., Song, H., Guo, X. and Eller, F., 2021, Intraspecific differences of Asian/Australian Phragmites australis subgroups reveal no potentially invasive traits, *Hydrobiologia*, 848(14), 3331-3351.

Yalcin, I.E. and Altay, V., 2023, Investigation of watersoil-plant relationships based on hazardous and macro-micro element concentrations on Orontes River, Türkiye, *International Journal of Phytoremediation*, 25:14, 1859-1880.

Yauger, Y. J., Bermudez, S., Moritz, K. E., Glaser, E., Stoica, B., and Byrnes, K. R., 2019, Iron accentuated reactive oxygen species release by NADPH oxidase in activated microglia contributes to oxidative stress in vitro, *Journal of Neuroinflammation*, 16(1), 1-15.

Yilmaz, N., Özyiğit, İ. İ., Demir, H. H., and Yalçın, İ. E., 2021, Assessment on phytoplankton composition and heavy metal pollution in a drinking water resource: Lake Terkos (Istanbul, Turkey), *Desalination and Water Treatment*, 225, 265–274.

Yilmaz, N. and Gulecal, Y., 2012, Phytoplankton community of Terkos Lake and its influent streams, Istanbul, Turkey, *Pak. J. Bot*., 44: 1135–1140.

Yilmaz, N., Ozyigit, I. I., Demir, H. H., and Yalcin, I. E., 2021, Assessment on phytoplankton composition and heavy metal pollution in a drinking water resource: Lake Terkos (Istanbul, Turkey), *Desalination and Water Treatment*, 225, 265-274.

Zeng, Y., Bi, C., Jia, J., Deng, L., and Chen, Z., 2020, Impact of intensive land use on heavy metal concentrations and ecological risks in an urbanized river network of Shanghai, *Ecological Indicators*, 116, 106501.

Zhang, J., Chen, J., Huang, Q., MacKinnon, B., Nekouei, O., Liu, H. and St-Hilaire, S. , 2021, Copper/Carbon Core/Shell Nanoparticles: a potential material to control the fish pathogen Saprolegnia parasitica, *Frontiers in Veterinary Science*, 8, 689085.

Zhu, C., Yue, H., Chu, L., and Rueping, M., 2020, Recent advances in photoredox and nickel dual-catalyzed cascade reactions: pushing the boundaries of complexity, *Chemical Science*, 11(16), 4051-4064.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Sinan Musa Yılmaz
Doğum Yeri	
Doğum Tarihi	
Uyruğu	X T.C. ❒ Diğer:
E-Posta Adresi	
Web Adresi	

Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Fakülte	Fen Fakültesi
Bölümü	Biyoloji Bölümü
Mezuniyet Yılı	12.07.2018

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Deniz ve İçsu Kaynakları Yönetimi Anabilim Dalı
Programı	İçsu Kaynakları ve Yönetimi Programı

Doktora	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Anabilim Dalı Adı
Programı	Program Adı

Makale ve Bildiriler
Yılmaz, N., Emecan, İ. T., Elhag, M., Boteva, S., & Yılmaz, S. M., (2024). The Harmful Effects of Microplastic Pollution on Aquatic Organisms. IOP CONFERENCE SERIES: EARTH AND ENVIRONMENTAL SCIENCE, vol.1305, 1-8.