

Karataş Gölü (Burdur)'nde Yetişen Su Kamışının (*Phragmites australis* (Cav.) Trin.Ex.Steudel) Bazı Ağır Metal Konsantrasyonlarının ve Fitoremediasyon Potansiyelinin Araştırılması

Investigation of Heavy Metal Concentrations and Phytoremediation Potential of Common Reed (*Phragmites australis* (Cav.) Trin.Ex.Steudel) Growing in Karataş Lake (Burdur)

Selda TEKİN-ÖZAN¹ 

¹ Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Isparta, Türkiye

Article Info

Research Article

DOI:10.29048/makufebed.1648211

Corresponding Author

Selda TEKİN-ÖZAN

Email: seldaozan@sdu.edu.tr

Article History

Received: 27.02.2025

Revised: 11.04.2025

Accepted: 14.04.2025

Available Online: 10.06.2025

To Cite

Tekin-Özan, S. (2025). Karataş Gölü (Burdur)'nde yetişen su kamışının (*Phragmites australis* (Cav.) Trin.Ex.Steudel) bazı ağır metal konsantrasyonlarının ve fitoremediasyon potansiyelinin araştırılması. *The Journal of Graduate School of Natural and Applied Sciences of Mehmet Akif Ersoy University*, 16(1), 14–28 <https://doi.org/10.29048/makufebed.1648211>

ÖZ: Karataş Gölü yeterli yağış olmaması, yeraltı sularının çekilmesi ve iklim değişikliği gibi sebeplerle Eylül-2021'de tamamen kurumuştur. 2022'de yağışların artması ve su kaynaklarının yönlendirilmesi ile yeniden su tutmaya başlamıştır. Ekim 2019-Temmuz 2020 tarihleri arasında gerçekleştirilen bu çalışmada gölde yaşayan *Phragmites australis*'in kök, gövde ve yapraklarındaki bazı ağır metallerin konsantrasyonları belirlenmiştir. Kök, gövde ve yaprakta en fazla biriken metal Fe iken, en az biriken metal Cd olmuştur. Mo dışında tüm metallerin en yüksek seviyede kökte biriktiği, bunu yaprak ve gövdenin takip ettiği belirlenmiştir. Genel olarak, metallerin kökte ve yaprakta sonbaharda azaldığı ve ilkbaharda arttığı, gövdede ise kış mevsiminde azaldığı, yaz mevsiminde arttığı belirlenmiştir. Biyoakümülyasyon faktörü (BF) değerlerine göre *P. australis*'in ilkbaharda Cu ve Zn, yaz mevsiminde Cu ve Mo, sonbaharda Cd, Cu ve Zn, kış mevsiminde ise Cu, Mo, Pb ve Zn için yüksek derecede akümülatör bir bitki olduğu belirlenmiştir. Translokasyon faktörü (TF) değerlerine göre ise sonbaharda Ni (yaprak/kök) ve Se (yaprak/kök), kış ve ilkbaharda Mo (yaprak/kök), yaz mevsiminde ise Fe (gövde/kök) ve Mo (yaprak/kök) birikimi açısından fitoekstraksiyon için uygundur. Hem BF hem de TF değerinin 1'den büyük olduğu tek metal Mo'dir. *P. australis* Mo açısından fitoremediasyon için kullanılabilir. Mo'nin fitoremediasyon açısından belirgin bir potansiyel göstermesi bu alandaki bilgilere katkı sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Biyoakümülyasyon faktörü, fitoremediasyon, Karataş Gölü, *Phragmites australis*, translokasyon faktörü

ABSTRACT: Karataş Lake dried up completely in September 2021 due to some reasons such as lack of sufficient rainfall, withdrawal of groundwater and climate change. In 2022, it started to hold water again with the increase in precipitation and the redirection of water resources. This study which was carried out between October-2019 and July-2020 some heavy metal concentrations of root, stems and leaves of *Phragmites australis* living in Karataş Lake were determined. Fe was highest and Cd was lowest in root, stem and leaf. It was determined that all metals, except Mo, accumulated at the highest level in root, followed by leaves and stem. In general, it was determined that metal levels in root and leaf decreased in autumn and increased in spring, while in stem they decreased in winter and increased in summer. According to biaccumulation factor (BF) values, it was determined that *P. australis* is a high accumulator plant for Cu and Zn in spring, Cu and Mo in summer, Cd, Cu and Zn in autumn, and Cu, Mo, Pb and Zn in winter. According to translocation factor (TF) values, it is suitable for phytoextraction in terms of Ni (leaf/root) accumulation in autumn, Mo (leaf/root) in winter and spring, and Fe (stem/root) and Mo (leaf/root) accumulation in summer. Mo is the only both BF and TF values are greater than 1. *P. australis* can be used for phytoremediation in terms of Mo. The significant potential of Mo in terms of phytoremediation will contribute to the existing knowledge in this field.

Keywords: Biaccumulation factor, phytoremediation, Karataş Lake, *Phragmites australis*, translocation factor

1. GİRİŞ

Su, hayatın devamlılığını sağlayan en önemli maddedir (Tanyolaç, 2009). Sucul sistemler ve sulak alanlar zengin bir biyoçeşitliliğe sahip olduğu için ekonomik ve ekolojik açıdan dünyadaki en önemli ekosistemlerdir (Campbell ve Reece, 2021). Sulak alanlar son yıllarda kuraklık, iklim değişikliği, bilinçsiz sulama ve kirlilik gibi nedenlerden ötürü tehlike altındadır (Agoramoorthy ve Pandiyan, 2016; Oruçoğlu ve Beyhan, 2019; Işıldar ve Erçoşkun, 2021). Organik ve inorganik maddeler, mikroorganizmalar, pestisitler, deterjanlar, kimyasal ve radyoaktif atıklar, petrol türevleri, atık ısı, askıda katı maddeler ve ağır metaller sucul sistemlere erozyon, atmosferik faaliyetler, madencilik, volkanik aktiviteler, rüzgar, orman yangınları, sanayileşme, kentleşme, hayvancılık faaliyetleri, tarımsal aktiviteler, evsel ve endüstriyel atıklar yoluyla girmektedir (Ellis vd., 1989; Hu, 2000; Mostert vd., 2010; Zhang vd., 2012; Ekeocha ve Anunuso, 2016; Yavuz ve Sarıgül, 2016; Bonanno ve Vymazal, 2017; Ali vd., 2019). Ağır metaller biyobirikim yeteneklerinin yüksek olması, biyotoksitite özellikleri, biyolojik olarak parçalanamamaları ve sudan uzaklaştırılmalarının zor olması nedeniyle sulak alanlarda küresel bir sorun haline gelen günümüzdeki en yaygın ve en tehlikeli kirleticiler olarak kabul edilirler (Censi vd., 2006; Liu vd., 2016; Parveen vd., 2016; Xu vd., 2018; Ali vd., 2019; Zhang vd., 2019; Fan vd., 2020). Sucul sisteme giren ağır metaller besin zinciri yoluyla suda ve karada yaşayan canlılara kadar ulaşır kanserojenik ve mutajenik etkiler yapmaktadır (Charlesworth vd., 2011; Eid vd., 2020).

Sucul makrofit, suyla ilişkisi olan, çıplak gözle görülebilen, fotosentez yapan organizmalardan meydana gelen, alglerden tohumlu bitkilere kadar farklı sistematik gruplarda bulunabilen karasal bitkiler haricindeki sucul bitkileri ve algleri ifade eder (Resmî Gazete, 2019). Makrofitler hızlı çoğalabilmeleri, vücut kısımlarının metal absorpsiyonu için geniş alana sahip olması, hareketsiz olmaları nedeniyle metaller uzun süre maruz kalmaktadırlar. Hem bu uzun süreli maruziyet hem de kök, gövde ve yaprak olmak üzere farklı organlarıyla sudan ve sedimentten metal absorbe edebilmeleri nedeniyle kirliliğin belirlenmesinde indikatör canlılar olarak önerilmektedirler (Zhulidov, 1996; Shine vd., 1998; Duman, 2005; Mukhopadhyay ve Maiti, 2010). Makrofitler bünyelerinde biriken metallerin zararlı etkilerinden korunabilmek amacıyla metalleri hücre duvarı ve vakuoller gibi dokulara dağıtmak, metalleri ligandlar ile bağlamak ve bu kompleksi vakuollerde ayrıştırmak gibi yöntemler geliştirmiştir (Yang vd., 2005).

Hiperakümülatör bitkiler, ağır metalleri topraktan aktif bir şekilde alıp bünyelerinde yüksek oranda biriktirme kapasitesine sahiptirler. Bitkilerin ağır metal biriktirme kapasiteleri bitkiye ve dokuya göre farklılık göstermektedir (Baldantoni vd., 2004; Yalçuk vd., 2014). Ancak bu yüksek ağır metal alınımına karşılık herhangi bir fitotoksitite göstermezler (Rascio, 1977; Yalçuk vd., 2014; Doğru vd., 2021). Bitkiler ağır metalleri sadece kökleriyle değil aynı

zamanda gövde ve yaprakları ile de alabilmektedir. Kirleticinin kökte birikmesi sedimetteki miktarıyla ilgili iken, toprak üstündeki organlarda birikimi kökteki miktarı ile ilgilidir (Chaplygin vd. 2022).

İlk olarak 1983 yılında, ağır metallerin ve diğer kirleticilerin uzaklaştırılmasında bitkilerin kullanılması fikri ortaya çıkmıştır (Henry, 2000). Fitoremediasyon kirlenmiş ortamlardan kirleticilerin uzaklaştırılması için bitkilerin eş zamanlı olarak kullanımına olanak tanıyan sürdürülebilir, ucuz ve çevre dostu bir yöntemdir (Prasad, 2003; Macek vd., 2008; Heidarzadeh vd., 2020). Hızlı üreyen, yüksek biyokütle oluşturan, kök sistemi gelişmiş ve güçlü bir savunma sistemine sahip olan bitkiler fitoremediasyon amacıyla kullanılabilirler (Terry ve Bañuelos, 2000; Doğru vd., 2021).

Poaceae familyasına ait *Phragmites* cinsinin tek türü olan *Phragmites australis* (Seçmen ve Leblebici, 2008) fitoremediasyonda kullanılmak üzere sıklıkla önerilen bir makrofit türüdür (Rezania vd., 2019). Kuzey Kutbu'ndan tropik bölgelere kadar çoğu sulak alanda kendiliğinden yaygın olarak yetişen kozmopolit bir türdür (MEB, 2012). Rizomludurlar ve 8 m' ye kadar uzayabilirler. Yaprakları 60 cm uzunluğa erişebilir ve 2-6 cm eninde mızrak ya da şerit şeklindedir. Yaz sonunda oluşan çiçekleri 40-60 cm boyunda, gri-yeşil tüylü ve başak veya bileşik biçiminde olur (MEB, 2012). Ekonomik açıdan önemlidir ve halk tarafından süpürge kamışı, kamış otu ve beyaz kamış olarak adlandırılır (Baytop, 1997).

P. australis'in kök, gövde ve yapraklarındaki metal düzeylerinin belirlendiği ve fitoremediasyon kapasitesinin araştırıldığı pek çok çalışma bulunmaktadır (Duman vd., 2007; Kumari ve Tripathi, 2015; Sancer ve Tekin-Özan, 2016; Eid vd., 2020; 2021; Baldantoni ve Bellino, 2021; Topal, 2021; Chaplygin vd., 2022; Özçelik ve Tekin-Özan, 2023). Özçelik ve Tekin-Özan (2023) Eğirdir Gölü'nde yaşayan *P. australis*'in kök, gövde ve yapraklarındaki metal birikimini belirledikleri çalışmalarında Mo dışında tüm metallerin (Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Se, Zn) kökte, Mo'in ise yaprakta en yüksek seviyede olduklarını tespit etmişlerdir. Kök, gövde ve yapraktaki metal seviyelerinin genel olarak yaz mevsiminde arttığını bildirmişlerdir. BF değerlerine göre *P. australis*'de yaz mevsiminde yüksek derecede, diğer mevsimlerde orta derecede Cd, kış mevsiminde yüksek, diğer mevsimlerde orta derecede Cu, ilkbahar mevsiminde yüksek derecede Fe birikimi olduğunu tespit etmişlerdir. Hamidian vd. (2024), Shoor Nehri'nde yaşayan *P. australis*'in metal düzeyleri belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmada metallerin kökte en yüksek, gövdede ise en düşük düzeyde olduğunu belirtmişlerdir. V dışında tüm metaller için BF değerinin 1'in altında olduğunu bildirmişlerdir.

Karataş Gölü, Türkiye'nin güneybatısında 37° 23' 9" E - 29° 58' 18" N koordinatlarında yer alan, ulusal ve uluslararası öneme sahip gölleri barındıran ve Göller Yöresi olarak adlandırılan bölgede bulunmaktadır (Seçmen ve Leblebici,

2008, Oruçoğlu ve Beyhan, 2019). Denizden yüksekliği yaklaşık olarak 1050 m'dir (Karataş Gölü, 2025). Gölün özellikle batı kısmında yoğun sazlıklar bulunurken güney kısmına DSİ tarafından yapılan seddeler nedeniyle kısmen bir baraj gölü durumundadır (Yarıcı ve Yağbasan, 2018). Gölü besleyen sürekli akışa sahip bir akarsu bulunmamakta ve göl fazla suyunu Bozçay vasıtasıyla Burdur Gölü'ne boşaltmaktadır. Göl Bademli Çayı, Akçay, mevsimsel akışa sahip dereler ve yeraltı suları ile beslenmektedir (Kazancı, 1999; Çetin, 2009). Gölün çevresinde tarım alanları oldukça büyük yer kaplamaktadır. Bazı step türleri dışında doğal bitki örtüsü ise oldukça azdır (Çetin, 2009). Karataş Gölü sulama, tarımsal aktiviteler, turizm, balıkçılık için kullanılmaktadır. Ayrıca ornitolojik açıdan da oldukça önemlidir (Yarar ve Magnin, 1997; Kazancı, 1999; Kurt, 2006). Karataş Gölü, 2006 yılında "Yaban Hayatı Geliştirme Sahası" olarak ilan edilmiştir (Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2017). Karataş Gölü yeterli yağış olmaması, yeraltı sularının çekilmesi ve iklim değişikliği nedeniyle Eylül-2021'de tamamen kurumıştır (Burdur'daki Karataş Gölü Kurudu, 2025). 2022'de ise hem yağışların artması hem de su kaynaklarının yönlendirilmesi sayesinde yeniden su tutmaya başlamıştır (Kuruyan Karataş Gölü tekrar su tutmaya başladı, 2025). Kuru dönemde gölü terkeden bazı su kuşları da göle geri dönmüşlerdir (Tekin-Özan vd., 2024). Göl çevresindeki tarlalarda şeker pancarı, mısır, anason ve nohut gibi ürünler yetiştirildiği için yoğun bir şekilde suni gübre ve tarımsal ilaç kullanımı söz konusudur (Çetin, 2009). Burdur ili Burdur beji olarak adlandırılan ve oldukça kıymetli olan bir mermer türüne sahiptir. Burdur-Karamanlı-Yeşilova arasında yolların üzerinde, ormanların içinde ve tarım alanlarının orta kısımlarında pek çok sayıda mermer ocağı bulunmaktadır (Atabey, 2022). Bu mermer ocaklarının çoğunluğu Karataş ve Yarıslı Gölü arasında ve Karataş Gölü'nün kuzey ve batı kısımlarında yer almaktadır (Ege, 2019). Göl çevresinde biri ilçe merkezi olmak üzere 13 yerleşim yeri olduğu ve burada yaşayan nüfusun göl sularını sulama, balıkçılık gibi amaçlarla kullandığı bilinmektedir (Çetin, 2009). Karataş Gölü'ne ağır metal girdisi birincil olarak tarımsal aktivitelerden kaynaklanmakta, evsel ve endüstriyel kaynaklı deşarjlar ise ikincil sırada yer almaktadır (Oruçoğlu ve Beyhan, 2019).

Geçmiş yıllarda farklı araştırmacılar Karataş Gölü'nün suyunda, sedimentinde ve gölde yaşayan bazı balıklarda ağır metal birikimi ile ilgili çalışmalar (Kır vd., 2006; Başyigit ve Tekin-Özan, 2013; Oruçoğlu ve Beyhan, 2019; Kaya, 2021; Tekin Özcan vd., 2024) yapmışlardır. Kır vd. (2006), gölde yaşayan *Scardinius erythrophthalmus*'un bazı dokularındaki ağır metal düzeylerini belirlemişler ve kas dokusundaki metal seviyelerinin kasın besin olarak kullanılmasında tehlike arzemediğini bildirmişlerdir. Başyigit ve Tekin-Özan (2013), Karataş Gölü'nün suyundaki

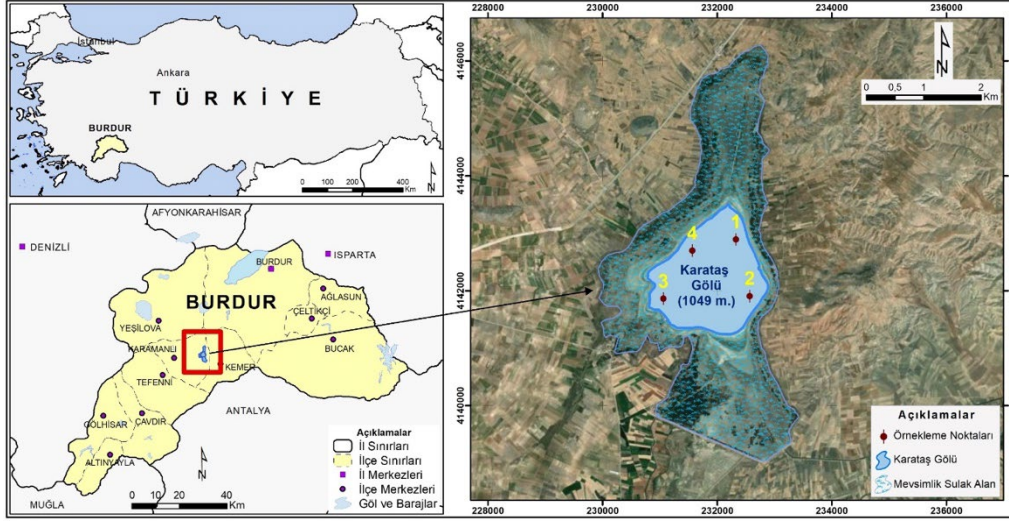
bazı ağır metal konsantrasyonlarını belirlemişlerdir. Metal düzeylerinin yaz ve kış mevsimlerinde azaldığını, sonbahar ve ilkbaharda arttığını tespit etmişlerdir. Ayrıca göl suyundaki metal miktarlarının EC, WHO, TSE-266 ve EPA tarafından verilen içme suyunda kabul edilebilir sınırların altında kaldığını bildirmişlerdir. Tekin-Özan vd. (2024), Karataş Gölü'nün suyunda su kalite indeksi (WQI) değerlerinin 55,91-103,27 arasında, ağır metal kirlilik indeksi (HPI) değerlerinin 23,84-37,91 arasında ve ağır metal değerlendirme indeksi (HEI) değerlerinin 3,08-6,21 arasında değiştiğini saptamışlardır. Göl suyunun WQI değerine göre sadece yaz mevsiminde zayıf su kategorisine girdiğini, diğer indeksler açısından düşük kirlilik sınıfında olduğunu belirtmişlerdir.

Türkiye'de ve Dünya'da bulunan sulak alanlar kuraklık, iklim değişikliği, küresel ısınma gibi nedenlerle tehlike altındadır (Vu vd., 2018). Ağır metaller sularındaki en tehlikeli kirlilik çeşidi olup insan sağlığını ve ekolojik dengeyi korumak için göllerdeki ağır metallerin birikim düzeylerinin araştırılması önem arz etmektedir. Karataş Gölü 2021 yılında tamamen kurumuş sonraki yıllarda ise su seviyesi zaman zaman artıp azalmıştır. Bu çalışmada Karataş Gölü'nde yaşayan *P. australis*'in kök, gövde ve yapraklarındaki bazı ağır metallerin (Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Se and Zn) mevsimsel değişimlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca Biyoakümülyasyon faktörü (BF) ve Translokasyon faktörü (TF) kullanılarak ağır metallerin sedimentten bitkiye geçişi ve bitkinin farklı kısımları arasındaki metal geçişinin belirlenmesi ve bitkinin fitoremediasyon için kullanım olanağının tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar gölden metallerin uzaklaştırılması ve gölün sürdürülebilirliği açısından yol gösterici olacaktır.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

2.1. Arazi ve Laboratuvar Çalışmaları

Bu çalışma Ekim 2019, Ocak 2020, Nisan 2020 ve Temmuz 2020'de mevsimsel olarak gerçekleştirilmiştir. Bitki örnekleri Karataş Gölü'nden belirlenen 4 istasyondan alınmıştır (Şekil 1, Tablo 1). 4. İstasyon Bademli Çayı'nın giriş bölgesinden ve 2. İstasyon ise gölden çıkan sulama kanalının yanından seçilmiştir. Ayrıca istasyonlar seçilirken saha koşullarının uygunluğu, göl kıyısına ulaşılabilirlik, *P. australis* türünün yoğun olduğu bölgeler ve istasyonların uzaklıklarının yaklaşık olarak birbirine eşit olması gibi bazı kriterler gözönünde bulundurulmuştur. Arazi çalışmaları sırasında makrofit örnekleri alınırken köklere zarar vermemek amacıyla tırmık, çapa ve kürek gibi aletler kullanılmış, alınan bitki örnekleri plastik torbalara koyulmuş ve laboratuvara getirilmiştir.



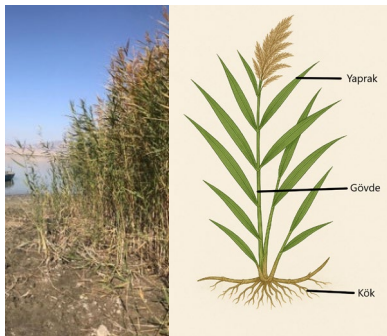
Şekil 1. Çalışma alanı ve istasyonlar (Tekin-Özan vd., 2024)

Tablo 1. İstasyonların koordinatları

İstasyon no	Koordinat
1	29° 58' 34.806" D 37° 23' 39.160" K
2	29° 58' 45.752" D 37° 23' 7.416" K
3	29° 57' 44.640" D 37° 23' 4.358" K
4	29° 58' 4.132" D 37° 23' 32.041" K

Çalışmada kullanılan *P. australis* türünün fotoğrafı ve bitkinin kısımlarını gösteren görsel Şekil 2'de verilmiştir. Bitki örnekleri gölden getirildikten sonra nesnelerden arındırmak amacıyla önce çeşme suyu, sonra saf su ile yıkanmıştır. Bitkiler kök, gövde ve yaprak kısımlarına ayrılarak mikrobiyal bozulma olmaması için kese kağıdına sarılmış ve etüvde kurutulmuştur. Örnekler daha homojen olması için porselen havan kullanılarak ezilmiştir (Duman, 2005).

Bitki kısımlarındaki metal seviyelerini belirlemek amacıyla kurumuş kök, gövde ve yapraklardan çözelti hazırlamak için "Nitrik asitte bir gece bekletme" yöntemi kullanılarak çözeltiler hazırlanmış (Sawidis vd., 1995; Laing vd., 2003) ve analiz işlemine kadar buzdolabında saklanmıştır.



Şekil 2. *P. australis* bitkisi (orijinal) ve kısımları (OpenAI, 2025)

2.2. Kimyasal analizler

Çözeltilerin metal analizleri Agilent marka ICP-OES (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer) (Agilent 5110) (Agilent Technologies, Inc. CA, USA) cihazında yapılmıştır. Analizi yapılan metallerin dalga boyları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Metallerin dalga boyları

Metal	Dalga boyu (nm)
Cd	214,439
Cr	267,716
Cu	327,395
Fe	238,204
Mn	257,61
Mo	202,03
Ni	231,604
Se	203,985
Pb	220,353
Zn	213,857

2.3. *P. australis*'in ağır metal birikim kapasitesinin belirlenmesi

Çalışmada, bitkinin metal biriktirme kapasitesinin ve fitoremediasyon için kullanılma olanağının belirlenebilmesi amacıyla biyoakümülyasyon ve translokasyon faktörü değerleri hesaplanmıştır.

2.3.1. Biyoakümülyasyon faktörü (BF)

Biyoakümülyasyon faktörü (BF), herhangi bir organizma ya da dokudaki ağır metal yoğunluğunun, ortamdaki (sediment ya da su) ağır metal yoğunluğuna oranıdır (USEPA, 2001; Bidar vd., 2009). Aşağıdaki formüle göre hesaplanmaktadır (1).

$$BF_s = \frac{C_t}{C_s} \quad (1)$$

Formülde;

Ct: Çalışılan organizma ya da dokudaki ağır metal miktarı

Cs: Sedimentteki ağır metal miktarını ifade eder (Lee, 1992; Boese ve Lee, 1992).

Bu çalışmada BF değerini hesaplariken bitkinin kökündeki ve göl sedimentindeki (Tekin-Özan, 2023) ağır metal miktarları kullanılmıştır.

BF değeri 4 farklı kategoriye ayrılmıştır ve değer in yüksekliği o bitkinin fitoremediasyon için uygunluğunu ifade etmektedir (Blaylock vd., 1997). Bu kategoriler ise şunlardır;

BF < 0,01: Akümülatör özelliğe sahip olmayan (Metal dışlayıcı)

BF = 0,01 - 0,1: Düşük derecede akümülatör

BF = 0,1 - 1: Orta derecede akümülatör

BF = 1 - 10: Yüksek derecede akümülatör (Zayed vd., 1998).

2.3.2. Translokasyon faktörü (TF)

Translokasyon faktörü (TF) bitkinin ağır metalleri köklerinden toprak üstü organlarına aktarma yeteneğini gösterir. Bitkinin gövde ve yapraklarındaki ağır metal konsantrasyonunun kökteki miktarına oranlamasıyla bulunur. TF>1 olduğunda bitki biriktirici, TF<1 ise bitki dışlayıcı demektir (Backer ve Brooks, 1989; Wei, 2002).

2.4. İstatiksel Analizler

Çalışma bölgesindeki istasyonlardan elde edilen sonuçlar mevsimsel olarak değerlendirilmiş, minimum değerleri, maksimum değerleri, aritmetik ortalamaları ve standart sapmaları hesaplanmıştır. Ayrıca bitki kısımlarında biriken metal miktarlarının mevsimsel açıdan değişip değişmediğini ortaya koymak amacıyla önce varyans analizi gerçekleştirilmiş, fark olduğu tespit edilince de homojen grupları belirlemek amacıyla Duncan Testi uygulanmıştır (Fisher, 1928; Duncan, 1955).

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

Karataş Gölü'nde belirlenen 3 istasyondan Ekim-2019 ve Temmuz-2020 tarihleri arasında alınan *P. australis*'in kök, gövde ve yapraklarında belirlenen bazı ağır metallerin (Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Se ve Zn) miktarları Tablo 3'de verilmiştir. Sonbaharda gövdede Pb ve Se, kış mevsiminde gövde ve yaprakta Pb, ilkbaharda gövdede Se, yaz mevsiminde gövde ve yaprakta Pb ve Se analiz limitinin altında (ALA) çıkmıştır.

Tablo 3. *P. australis*'in kök, gövde ve yapraklarında belirlenen bazı ağır metallerin mevsimlere göre minimum, maksimum, ortalama değerleri (mg/kg) ve standart sapmaları

	KÖK	GÖVDE	YAPRAK
SONBAHAR	Cd	0,09-0,37	0,02-0,07
		0,20±0,14 ^a	0,03±0,02 ^a
	Cr	5,21-6,72	0,18-0,36
		5,98±0,62 ^a	0,24±0,08 ^a
	Cu	9,51-23,32	1,71-2,46
		15,07±6,32 ^a	2,01±0,31 ^a
	Fe	1791,31-7660,71	15,49-38,46
		4465,16±2749,71 ^a	24,22±9,93 ^a
	Mn	62,42-269,04	5,60-30,57
		145,56±94,64 ^a	17,20±10,88 ^a
	Mo	0,21-0,69	0,03-0,14
		0,45±0,24 ^a	0,08±0,05 ^a
	Ni	24,81-48,74	0,43-1,26
		31,60±11,44 ^a	0,66±0,39 ^a
	Pb	0,90-1,92	ALA*
		1,22±0,46 ^a	0,05±0,008 ^b
	Se	0,002-0,71	ALA
		0,20±0,33 ^a	1,04±0,51 ^c
	Zn	34,72-165,56	14,91-38,42
		100,90±54,80 ^a	22,89±10,53 ^a

Tablo 3 (devam). *P. australis*'in kök, gövde ve yapraklarında belirlenen bazı ağır metallerin mevsimlere göre minimum, maksimum, ortalama değerleri (mg/kg) ve standart sapmaları

	KÖK	GÖVDE	YAPRAK
KİŞ	Cd	0,04-0,53	0,03-0,05
		0,26±0,24 ^a	0,03±0,009 ^b
	Cr	4,04-23,21	0,15-0,31
		9,54±9,18 ^a	0,21±0,06 ^a
	Cu	11,28-31,73	1,13-1,79
		22,88±10,16 ^a	1,35±0,29 ^a
	Fe	1685,64-7379,63	55,56-450,11
		4902,60±2365,48 ^a	24,51±12,97 ^a
	Mn	104,78-207,32	17,96-284,89
		154,99±42,11 ^{ab}	27,35±9,31 ^a
	Mo	0,20-1,88	0,01-0,30
		1,06±0,68 ^a	0,14±0,12 ^a
	Ni	18,49-90,43	0,23-3,30
		47,62±30,82 ^a	0,48±0,19 ^a
	Pb	0,70-0,88	ALA
		0,75±0,10 ^a	ALA
	Se	8,02-10,04	0,63-0,83
		9,02±1,00 ^b	0,73±0,09 ^b
	Zn	98,03-237,27	11,10-21,58
		155,93±66,06 ^a	12,58±5,35 ^a
İLKBAHAR	Cd	0,09-0,23	0,01-0,25
		0,16±0,07 ^a	0,09±0,10 ^a
	Cr	8,85-28,09	0,15-1,41
		17,87±8,12 ^a	0,59±0,55 ^a
	Cu	22,85-45,49	1,56-9,29
		30,56±10,64 ^a	6,41±3,35 ^b
	Fe	4020,41-7876,87	10,71-43,51
		5817,31±1744,37 ^a	24,16±14,38 ^a
	Mn	137,03-589,36	6,42-20,38
		305,09±208,63 ^b	13,06±6,65 ^a
	Mo	0,44-0,96	0,14-0,50
		0,65±0,26 ^a	0,32±0,16 ^a
	Ni	28,99-89,48	2,02-28,60
		58,86±24,73 ^a	13,02±9,09 ^a
	Pb	1,85-2,23	0,83-0,95
		2,06±0,19 ^b	0,89±0,06 ^b
	Se	0,35-2,26	ALA
		1,02±1,06 ^a	0,20-0,26
	Zn	81,77-129,10	39,83-72,17
		106,29±21,50 ^a	52,79±15,29 ^b

Tablo 3 (devam). *P. australis*'in kök, gövde ve yapraklarında belirlenen bazı ağır metallerin mevsimlere göre minimum, maksimum, ortalama değerleri (mg/kg) ve standart sapmaları

	KÖK	GÖVDE	YAPRAK
YAZ	Cd	0,18-0,32	0,02-0,04
		0,22±0,06 ^a	0,03±0,008 ^a
	Cr	8,25-20,51	1,19-2,35
		14,42±5,04 ^a	1,78±0,48 ^b
	Cu	17,88-38,66	8,51-13,06
		30,19±8,92 ^a	11,02±1,88 ^{bc}
	Fe	2240,38-7309,70	180,13-340,55
		5680,86±2320,40 ^a	253,08±67,46 ^a
	Mn	115,51-250,51	52,40-149,44
		204,66±60,80 ^{ab}	114,82±44,30 ^a
	Mo	0,39-0,97	1,08-3,79
		0,63±0,25 ^a	1,85±1,29 ^a
	Ni	13,94-109,31	1,22-7,49
		64,13±41,39 ^a	4,24±2,99 ^b
	Pb	0,35-2,43	ALA
		1,04±0,97 ^a	ALA
	Se	0,10-1,55	ALA
		0,89±0,73 ^a	ALA
	Zn	39,62-110,23	14,74-22,57
		78,07±29,23 ^a	19,30±3,54 ^a

* ALA Analiz limitinin altında

** Her bir parametre sütununda aynı harfle gösterilen değerler arasındaki fark 0,05 düzeyinde önemsizdir.

P. australis'in kökünde, gövdesinde ve yaprağında Fe en yüksek konsantrasyona sahip metal iken Cd'un en düşük konsantrasyondaki metal olduğu belirlenmiştir. Özçelik ve Tekin-Özan (2023) Eğirdir Gölü'nde yaşayan *P. australis*'in kökünde en fazla Fe'in, gövdesinde Zn'nun ve yaprağında Mn'in biriktiğini belirlemişlerdir. Tüm organlarda en az biriken metal ise Cd olmuştur. Hamidian vd. (2024) Shoor Nehri (İran)'de yaşayan *P. australis*'in kökünde, gövdesinde ve yaprağında en fazla Al'un biriktiğini, bunu Fe ve Mn'in takip ettiğini tespit etmişlerdir. Tekin-Özan vd. (2024) Karataş Gölü'nün suyunda en fazla Fe'in, en az ise Cd'un biriktiğini bildirmişlerdir. Bu durumda *P. australis*'in organlarında en fazla Fe'in bulunması çalışmaların sonuçlarının paralel olduğunu göstermektedir. Ayrıca bu sonuç yerkabuğunun bileşiminde en fazla bulunan metalin Fe olmasından kaynaklanıyor olabilir (Usero vd., 2004). Cd ise sedimentteki organik bileşiklerin bünyesinde en az oranda bulunan metaldir (Baron vd., 1990). Bu nedenle bitkilerde de düşük oranda bulunması beklenen bir sonuçtur.

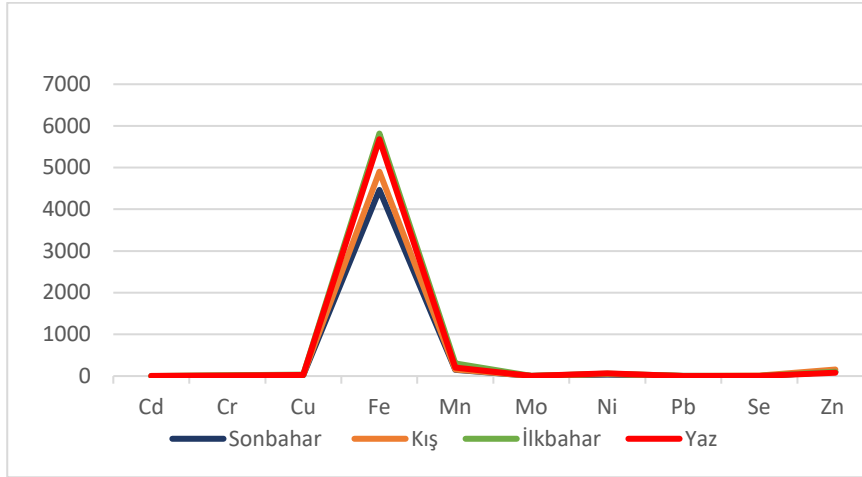
Bu çalışmada Mo dışında tüm metallerin en fazla kökte biriktiği, bunu yaprak ve gövdenin takip ettiği belirlenmiştir. Kovada Gölü'nde (Sancer ve Tekin-Özan, 2016), Eğirdir Gölü'nde (Özçelik ve Tekin-Özan, 2023), Polonya'da bulunan 7 farklı gölde (Klink, 2017) ve Arap

yarımadasında yaşayan *P. australis*'de (Al-Homadian vd., 2020), Kılıçözü Nehri'nde yaşayan *Typha angustifolia*'da (Duman vd., 2015), Kadın Deresi'nde (Yabancı vd., 2014) ve Eğirdir Gölü'nde (Tekin-Özan vd., 2022) yaşayan *Myriophyllum spicatum*'da benzer sonuçlar belirlenmiştir. *P. australis*'in kökünde daha fazla miktarda metal biriktirmesi kök ve rizomlarında bulunan parankima dokusunun geniş hücreler arası hava boşluğuna sahip olmasından kaynaklanabilir (Sawidis vd., 1995; Demirezen ve Aksoy, 2006). Duman (2005) ağır metallerin *P. australis*'in kökünde gövde ve yaprağa göre daha fazla bulunmasının sebebinin metallerin zararlı etkilerinin kökte saklanması ve bu bitkinin çok yıllık olması nedeniyle uzun yıllar boyunca kökünde metal biriktirmesi olduğunu bildirmiştir. Bu çalışmada Mo'in en fazla yaprakta biriktiği bunu kök ve gövdenin takip ettiği belirlenmiştir. Özçelik ve Tekin-Özan (2023) Eğirdir Gölü'nde yaşayan *P. australis* ve *T. angustifolia* türlerinde Mo'in en fazla yaprakta biriktiğini bildirmişlerdir. Molibden bitkilerde hem enzim aktivitesinde hem de protein yapımında gerekli olan bir elementtir (Plaster, 1992; Bolat ve Kara, 2017). Yapraklarda protein mekanizmasının aktif olması Mo düzeyinin yaprakta daha yüksek olmasına neden olabilir (Özçelik ve Tekin-Özan, 2023). Ayrıca yaprakta gövdeye göre daha fazla metal birikmesi yaprakların vakuollü yapısından kaynaklanmaktadır (Vymazal ve Březinová, 2007). *P.*

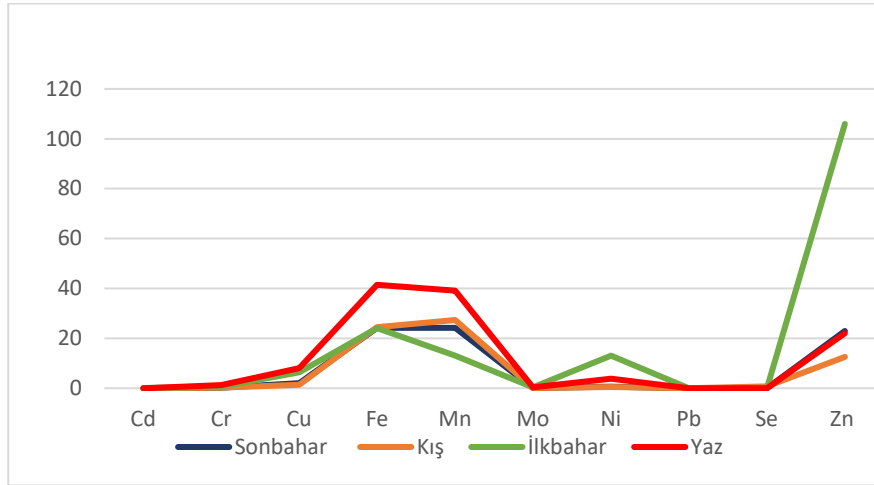
australis ile yapılan bir çalışmada Cr, Ni ve Mn konsantrasyonunun yapraklarda diğer organlara göre daha fazla biriktiği belirlenmiştir (Hamidian vd., 2024). Bu durumun bitkilerin vejetatif periodlarına bağlı olduğunu ve geç büyüme mevsimlerinde metalleri daha fazla biriktirdiklerini bildirmişlerdir (Bragato vd., 2006). Ayrıca yapraklar fotosentez yaptığından yüksek bir metabolik aktiviteye sahiptirler ve gövdeye kıyasla daha güçlü bir savunma sistemi ile detoksifiye edici enzimleri bulunmaktadır. Gövdede metal miktarının düşük olması ise gövdenin taşıma rolü üstlenmesinden ve kirleticilerle temasının az olmasından kaynaklanmış olabilir (Pbugmacher vd., 1999).

Cd konsantrasyonu kökte ilkbaharda, gövdede kış mevsiminde ve yaprakta yaz ve kış mevsimlerinde azalırken, kökte kış mevsiminde, gövdede ilkbaharda ve yaprakta sonbaharda artmıştır. Cr miktarı kökte ve yaprakta sonbaharda, gövdede kış mevsiminde minimum düzeyde iken, kökte ilkbaharda, gövde ve yaprakta yaz mevsiminde maksimum düzeyde ulaşmıştır. Cu seviyesinin kökte sonbaharda, gövde ve yaprakta kış mevsiminde azaldığı, kök ve yaprakta ilkbaharda, gövdede yaz mevsiminde arttığı tespit edilmiştir. Fe düzeyi kökte ve yaprakta sonbaharda, gövdede ise ilkbaharda en düşük seviyede iken, kökte ilkbaharda, gövde ve yaprakta yaz mevsiminde en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Mn düzeyi kökte ve yaprakta sonbaharda, gövdede ilkbaharda en az iken, kökte ve yaprakta ilkbaharda ve gövdede yaz mevsiminde en yüksek seviyededir. Mo miktarının kökte ve gövdede sonbaharda, yaprakta yaz mevsiminde azaldığı,

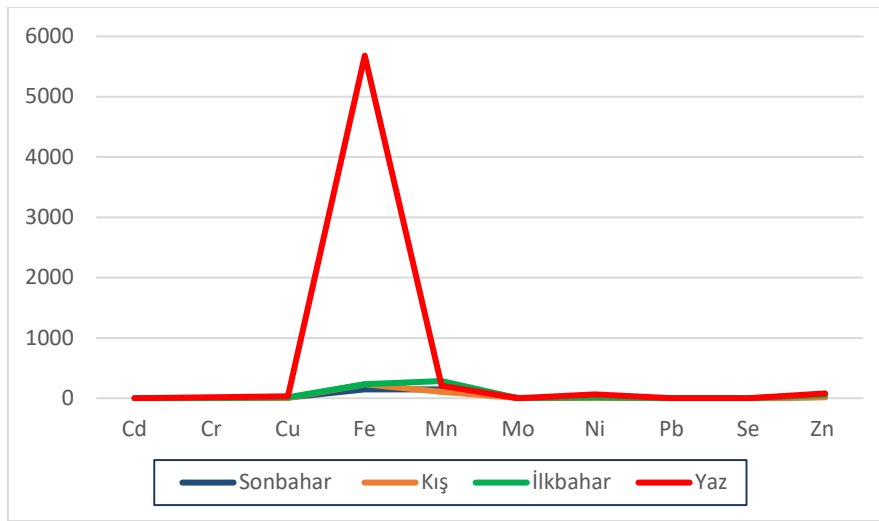
kökte ve yaprakta kış mevsiminde, gövdede yaz mevsiminde arttığı belirlenmiştir. Ni konsantrasyonunun kökte ve yaprakta sonbaharda, gövdede kış mevsiminde azaldığı, kökte yaz mevsiminde, gövde ve yaprakta ise ilkbaharda arttığı tespit edilmiştir. Pb miktarı kökte sonbaharda azalırken, bitkinin tüm kısımlarında ilkbahar mevsiminde artmıştır. Se konsantrasyonunun kökte sonbaharda en düşük düzeyde, kökte ve gövdede kış mevsiminde, yaprakta sonbaharda en yüksek düzeyde olduğu belirlenmiştir. Zn miktarının kökte yaz mevsiminde, gövde ve yaprakta kış mevsiminde minimum düzeyde iken, kökte kış mevsiminde, gövde ve yaprakta ilkbaharda maksimum düzeyde olduğu belirlenmiştir (Şekil 3-5). Duncan testi sonuçlarına göre yaprakta Cd ve Cr miktarının yaz mevsiminde diğer mevsimler göre, gövdedeki Cr miktarının yaz mevsiminde diğer mevsimlere göre, gövdedeki Cu miktarının sonbahar ve kış mevsiminde diğer mevsimlere göre, yapraktaki Cu miktarının tüm mevsimler arasında, kökteki Mn miktarının sonbahar ve ilkbaharda diğer mevsimlere göre, yapraktaki Ni miktarının ilkbahar ve yaz mevsiminde diğer mevsimlere göre, kökteki Pb miktarının ilkbaharda diğer mevsimlere göre, kökteki Se miktarının kış mevsiminde diğer mevsimlere göre ve yapraktaki Zn miktarının ilkbahar mevsiminde diğer mevsimlere göre istatistiksel olarak farklı olduğu belirlenmiştir ($p < 0,05$). Mevsimsel olarak elde edilen sonuçlar genellendiğinde metallerin kökte ve yaprakta sonbaharda azaldığı ve ilkbaharda arttığı belirlenmiştir. Buna karşılık gövdedeki metal düzeylerinin kış mevsiminde azaldığı, yaz mevsiminde ise arttığı belirlenmiştir.



Şekil 3. *P. australis*'in kökünde belirlenen bazı metallerin miktarlarının (mg/kg) mevsimsel değişimleri



Şekil 4. *P. australis*'in gövdesinde belirlenen bazı metallerin miktarlarının (mg/kg) mevsimsel değişimleri



Şekil 5. *P. australis*'in yaprağında belirlenen bazı metallerin miktarlarının (mg/kg) mevsimsel değişimleri

Özçelik ve Tekin-Özan (2023), Eğirdir Gölü'nde yaşayan *P. australis* ve *T. angustifolia*'nın kök, gövde ve yapraklarındaki metal düzeylerinin yaz mevsiminde arttığını belirlemişlerdir. *P. australis*'in kökündeki metal miktarının sonbaharda, yaprak ve gövdedeki metal miktarının ise ilkbaharda azaldığını bildirmişlerdir. Ayrıca *T. angustifolia*'nın tüm kısımlarında metallerin ilkbaharda azaldığını tespit etmişlerdir. Borowiak vd. (2016), Bogdanka Nehri (Polonya)'nda yaşayan *P. australis*'in tüm organlarındaki Cd ve Pb konsantrasyonunun büyüme mevsiminde arttığını bildirmişlerdir. Kılıçözü Deresi'nde yaşayan *T. angustifolia*'da Cr, Cu, Zn ve Cd miktarının kökte kış mevsiminde azaldığı tespit edilmiştir (Duman vd., 2015). Sancer ve Tekin-Özan (2016) Kovada Gölü'nde yaşayan *P. australis*'in kökündeki metal miktarının yaz mevsiminde en yüksek düzeyde, ilkbaharda en düşük düzeyde olduğunu, gövdedeki metal miktarının ilkbaharda artarken yaz mevsiminde azaldığını ve yapraktaki metal miktarının sonbaharda artış gösterdiğini, kış mevsiminde ise azaldığını belirlemişlerdir. Yabancı vd. (2014), Kadın Deresi'nde yaşayan *M. spicatum*'un yaprağında ve gövdesindeki metal düzeylerinin ilkbaharda artış gösterdiğini bildirmiştir. Duman vd. (2006), Sapanca Gölü'nde bulunan Potamogeton lucens'in yapraklarındaki Ni ve Mn'nin

sonbaharda, gövdedeki Cr ve Cd'un ise yaz mevsiminde arttığını tespit etmişlerdir.

Çalışmada kökteki metal düzeyinin sonbaharda azalması kökte bulunan metallerin yaz mevsiminde gövdeye ve yaprağa iletilmesinden kaynaklanmış olabilir. Kökteki metal seviyesinin ilkbaharda artışı havaların ısınması ile birlikte bitkinin metabolizmasındaki artışa paralel olarak gelişmiş olabilir. Gövdedeki metal seviyesinin yaz mevsiminde artışı bitki büyümesine bağlı olarak bitkinin inorganik maddelere olan ihtiyacından kaynaklanmış olabilir (Özçelik, 2022). Bu çalışmada yaprak ve gövdedeki metal miktarının yaz mevsiminde artış göstermesi bitki metabolizmasının yaz mevsiminde artmasına, metal miktarının gövdede kış mevsiminde azalması, yaprakta ise artması bitkideki atık maddelerin ve metallerin bitkilerde boşaltım organı olarak görev yapan yaprağa geçmesi ile ilgili olabilir. Yapraklardaki metal seviyesinin ilkbaharda artışı da yaprak oluşumu ve mevcut yaprakların gelişimi ile birlikte metabolizmalarının artmasından kaynaklanmış olabilir. Kök, gövde ve yapraklardaki metal miktarının mevsimsel değişimi su ve sedimentteki metal miktarına, göldeki sirkülasyon ve durgunluğa, sıcaklık, tuzluluk gibi çevresel faktörlere bağlı olduğu gibi bitkinin türü ve yaşı gibi biyolojik faktörlere

göre de değişiklik gösterir (Bonanno ve Lo Giudice, 2010).

Karataş Gölü'nde yaşayan *P. australis*'in kökünde ve göl

sedimentindeki (Tekin-Özan, 2023) metal miktarları kullanılarak hesaplanan biyoakümülyasyon faktörü (BF) değerleri Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. *P. australis*'te belirlenen biyoakümülyasyon faktörü (BF) değerleri

	Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz
Cd	1-10	0,1-1	0,1-1	0,1-1
Cr	0,01-0,1	0,1-1	0,1-1	0,1-1
Cu	1-10	1-10	1-10	1-10
Fe	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1
Mn	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1
Mo	0,1-1	1-10	0,1-1	1-10
Ni	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1
Pb	0,1-1	1-10	0,1-1	0,1-1
Se	0,1-1	-	0,1-1	0,1-1
Zn	1-10	1-10	1-10	0,1-1

P. australis'de sonbaharda yüksek derecede, diğer mevsimlerde ise orta derecede Cd birikimi olmuştur. Cr'un sonbaharda düşük derecede diğer mevsimlerde ise orta derecede biriktiği tespit edilmiştir. Cu tüm mevsimlerde yüksek derecede birikirken, Mn ve Ni tüm mevsimlerde orta derecede birikim göstermiştir. Mo sonbahar ve ilkbaharda orta derecede, yaz ve kış mevsimlerinde ise yüksek derecede birikmiştir. *P. australis*'in Pb için kış mevsiminde yüksek, diğer mevsimlerde ise orta derecede akümülatör olduğu belirlenmiştir. Kış mevsiminde

sedimentte Se analiz limiti altında çıktığından (Tekin-Özan, 2023) BF hesaplanamamıştır. Se diğer mevsimlerde orta derecede birikmiştir. Zn yaz mevsiminde orta derecede birikmişken, diğer mevsimlerde yüksek derecede birikim göstermiştir.

Karataş Gölü'nde yaşayan *P. australis*'in gövde ve yapraktaki metal miktarlarının kökteki metal miktarlarına orantılanmasıyla belirlenen translokasyon faktörü (TF) değerleri Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 5. *P. australis*'de belirlenen translokasyon faktörü (TF) değerleri

	Sonbahar		Kış		İlkbahar		Yaz	
	Gövde/Kök	Yaprak/Kök	Gövde/Kök	Yaprak/Kök	Gövde/Kök	Yaprak/Kök	Gövde/Kök	Yaprak/Kök
Cd	0,15	0,5	0,076	0,11	0,56	0,56	0,13	0,13
Cr	0,04	0,07	0,02	0,07	0,03	0,05	0,08	0,12
Cu	0,13	0,49	0,05	0,09	0,20	0,46	0,26	0,36
Fe	0,005	0,03	0,004	0,04	0,004	0,04	7,22	0,04
Mn	0,11	0,71	0,17	0,68	0,04	0,93	0,19	0,56
Mo	0,17	5,73	0,13	2,89	0,49	2,92	0,66	2,93
Ni	0,02	0,02	0,01	0,03	0,22	0,23	0,05	0,06
Pb	-	0,04	-	-	0,43	0,04	-	-
Se	-	5,2	0,08	0,05	-	0,22	-	-
Zn	0,22	0,19	0,08	0,09	0,99	0,49	0,28	0,24

Yaprak/kök sonuçlarına göre sonbaharda Ni ve Se, ilkbahar, yaz ve kış mevsimlerinde Mo değerleri 1'den büyük çıkmıştır. Gövde /kök oranına göre ise sadece Fe yaz mevsiminde 1'den büyük çıkmıştır.

Özçelik ve Tekin-Özan (2023), Eğirdir Gölü'nde yaşayan *P. australis*'in BF değerlerini belirlemişlerdir. Cd'un yaz mevsiminde, Cu'nın kış mevsiminde, Fe'in ilkbaharda, Mn'in kış ve ilkbahar mevsimlerinde, Se'un yaz mevsiminde, Mo ve Zn'un tüm mevsimlerde yüksek derecede biriktiğini belirlemişlerdir. Duman vd. (2015) *Typha angustifolia*'daki akümülyasyon faktörü (AF) değerlerinin Cd için tüm mevsimlerde, Zn için sonbaharda 1'den büyük olduğunu bildirmişlerdir. Hamidian vd. (2024) Shoor Nehri (İran)'nde yaşayan *P. australis*'de BF değerlerini hesaplamışlar ve en yüksek BF değerini V için, en düşük BF değerini ise Pb için belirlemişlerdir. V dışında tüm metallerin BF değerlerinin 1'den küçük olduğunu tespit etmişlerdir. Yaprak/kök oranına göre ise TF değerinin Cr, Mn ve Ni dışında 1'den

küçük olduğunu tespit etmişlerdir. Topal (2021) *P. australis*'te BF değerini Mo için 1,02 olarak belirlemişlerdir. Yaprak/kök oranına göre hesapladıkları TF değerini en yüksek Ba için, en düşük ise Cd için tespit etmiştir.

Eğer TF değeri 1'den büyükse bu bitkiler fitoekstraksiyon için daha uygundur (Mendez ve Maier, 2008). Bitkilerin hem BF hem de TF değerleri 1'den büyükse bu bitkiler hiperakümülatör olarak tanımlanırlar ve fitoremediasyon için biyoakümülatör olarak kullanılabilirler (Yadav vd., 2018; Takarina ve Pin, 2017). Hiperakümülatör bitkiler topraktan metali daha hızlı alırlar ve kökteki metalleri toprak üstü organlara hızlıca iletip metalleri yapraklarında detoksifiye ederler (Singh vd., 2016). Kirleticilerin kökte birikimi o kirleticinin sedimetteki miktarıyla, toprak üstündeki birikimi ise kökteki miktarıyla doğrudan ilişkilidir (Chaplygin vd. 2022).

BF değerlerine Karataş Gölü'nde yaşayan *P. australis*'in

ilkbaharda Cu ve Zn, yaz mevsiminde Cu ve Mo, sonbaharda Cd, Cu ve Zn, kış mevsiminde ise Cu, Mo, Pb ve Zn için yüksek derecede akümülatör bir bitki olduğu belirlenmiştir. TF değerlerine göre ise sonbaharda Ni (yaprak/kök) ve Se (yaprak/kök), kış mevsiminde Mo (yaprak/kök), ilkbaharda Mo (yaprak/kök), yaz mevsiminde ise Fe (gövde/kök) ve Mo (yaprak/kök) birikimi açısından fitoekstraksiyon için uygundur. Hem BF hem de TF değerinin 1'den büyük olduğu tek metal Mo'dır ve *P. australis* Mo açısından fitoremediasyon için kullanılabilir.

4. SONUÇLAR

Ekim-2019 ve Temmuz-2020 tarihleri arasında gerçekleştirilen bu çalışmada Karataş Gölü'nde yaşayan *P. australis*'in kök, gövde ve yapraklarındaki bazı ağır metallerin mevsimsel değişimi belirlenmiştir. Biyoakümülyasyon faktörü (BF) ve Translokasyon faktörü (TF) kullanılarak bitkinin metal biriktirme kapasitesi ile fitoremediasyon için kullanım olanağı tespit edilmeye çalışılmıştır.

Analiz yapılan metallerden Pb ve Se sonbaharda gövdede, Pb kış mevsiminde gövde ve yaprakta, Se ilkbaharda gövdede, Pb ve Se yaz mevsiminde gövde ve yaprakta analiz limitinin altında çıkmıştır. Kök, gövde ve yaprakta en fazla biriken metal Fe, en az biriken metal ise Cd olmuştur. Mo dışında tüm metaller en fazla kökte birikmiş, bunu yaprak ve gövde takip etmiştir. Metallerin kökte ve yaprakta sonbaharda azaldığı ve ilkbaharda arttığı belirlenmiştir. Buna karşılık gövdedeki metal düzeylerinin kış mevsiminde azaldığı, yaz mevsiminde ise arttığı belirlenmiştir.

Belirlenen BF ve TF değerlerine göre Karataş Gölü'nde yaşayan *P. australis*'in ilkbaharda Cu ve Zn, yaz mevsiminde Cu ve Mo, sonbaharda Cd, Cu ve Zn, kış mevsiminde ise Cu, Mo, Pb ve Zn için yüksek derecede akümülatör bir bitki olduğu belirlenmiştir. TF değerlerine göre ise sonbaharda Ni (yaprak/kök) ve Se (yaprak/kök), kış mevsiminde Mo (yaprak/kök), ilkbaharda Mo (yaprak/kök), yaz mevsiminde ise Fe (gövde/kök) ve Mo (yaprak/kök) birikimi açısından fitoekstraksiyon için uygundur. Hem BF hem de TF değerinin 1'den büyük olduğu tek metal Mo'dır ve *P. australis* Mo açısından fitoremediasyon için kullanılabilir.

Karataş Gölü, Göller Yöresi'nde bulunan Türkiye'deki önemli sulak alanlardan biridir. Göl çevresinde tarımsal

aktiviteler yoğun olarak yapılmakta ve buna bağlı olarak gübre ve tarımsal ilaç kullanımı oldukça yüksek düzeydedir. Ayrıca göl etrafında bulunan yerleşim yerlerinde yaşayan nüfusun evsel atıkları, göle giren çay ve derelerin getirdiği atıklar, tarım alanlarından gelen pestisit ve tarım ilaçları gölün kirlenmesine neden olmaktadır. Bunlara ek olarak kuraklık, iklim değişikliği, bilinçsiz sulama ve hayvancılık gibi nedenlerle kirlilik ve tamamıyla kuruma tehdidi altındadır. Göl Eylül-2021'de tamamen kurumuştur. Günümüzde zaman zaman su tutsa da kuruma tehlikesinin hala devam ettiği bilinmektedir. Göl ile ilgili sürekli bilimsel çalışmalar yaparak gölün mevcut durumu kontrol altında tutulmalı ve gelecekteki durumunu belirlemek amacıyla modelleme çalışmaları yapılmalıdır. Bu nedenle gölün çevre halkı, içinde yaşayan canlılar ve Türkiye için sürdürülebilirliği ve gelecek nesillere aktarımı oldukça önemlidir. Bu konuda yetkililer, bilim insanları ve çevre halkı önemli derecede sorumludur.

Teşekkür

Bu çalışma Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FYL-2019-7384 nolu proje ile desteklenmiştir.

Yazar Katkısı

Selda TEKİN-ÖZAN: (a) Fikir, (b) Çalışma tasarısı, yöntemi, (c) Literatür taraması, (e) Kaynak sağlama, (f) Veri toplama, işleme, (g) Analiz, yorum, (h) Metin yazma, (i) Eleştirel inceleme

Etik Beyanı

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederim.

Çıkar Çatışması

Yazar çıkar çatışması bildirmemiştir.

KAYNAKLAR

- Agoramoorthy, G., & Pandiyan, J. (2016). Toxic pollution threatens migratory shorebirds in India. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(15), 15771–15772. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7021-6>
- Al-Homaidan, A. A., Al-Otaibi, T. G., El-Sheikh, M. A., Al-Ghanayem, A. A., & Ameen, F. (2020). Accumulation of heavy metals in a macrophyte *Phragmites australis*: implications to phytoremediation in the Arabian Peninsula wadis. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192, 1-10. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-8177-6>
- Ali, H., Khan, E., & Ilahi, I. (2019). Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous heavy metals: environmental persistence, toxicity, and

- bioaccumulation. *Journal of Chemistry*, 2019:1-14. <https://doi.org/10.1155/2019/6730305>
- Atabey, E. (2022). *Mermer ocakları Burdur'u çölleştiriyor*. Temiz Mekan. <https://www.temizmekan.com/mermer-ocaklari-burduru-collestiriyor/>
- Backer, A. J. M., & Brooks, R. R. (1989). Terrestrial higher plants which hyper accumulate metallic elements. A review of their distribution, ecology and phytochemistry. *Biorecovery*, 1(2), 81-126.
- Baldantoni, D., & Bellino, A. (2021). On the capability of the epigeous organs of *Phragmites australis* to act as metal accumulators in biomonitoring studies. *Sustainability*, 13, 7745. <https://doi.org/10.3390/su13147745>
- Baldantoni, D., Alfani, A., Tommasi, P.D., Bartoli, G., Santo, V.D. (2004). Assessment of macro and microelement accumulation capability of two plants. *Environmental Pollution*, 130(2), 149-156. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2003.12.015>
- Baron J., Legret M. & Astruc M. (1990). Study of interactions between heavy metals and sewage sludge: determination of stability constants and complexes formed with Cu and Cd. *Environmental Technology*, 11, 151-162. <https://doi.org/10.1080/09593339009384850>
- Başıyigit, B., & Tekin-Özan, S. (2013). Concentrations of some heavy metals in water, sediment and tissues of pikeperch (*Sander lucioperca*) from Karataş Lake related to physico-chemical parameters, fish size, and seasons. *Polish Journal of Environmental Studies*, 22(3), 633-644.
- Baytop, T. (1997). *Türkçe Bitki Adları Sözlüğü*. Türk Dil Kurumu Yayınları.
- Bidar, G., Pruvot, C., Garcon, G., Verdin, A., Shirali, P., & Douay, F. (2009). Seasonal and annual variations of metal uptake, bioaccumulation and toxicity in *Trifolium repens* and *Lolium perenne* growing in a heavy metal-contaminated field. *Environmental Science and Pollution Research*, 16, 42-53. <https://doi.org/10.1007/s11356-008-0021-4>
- Blaylock, M.J., Salt, D.E., Dushenkov, S., Zakharova, O., Gussman, C., Kapulnik, Y., Ensley, B.D., & Raskin, I. (1997). Enhanced accumulation of Pb in Indian mustard by soil-applied chelating agents. *Environmental Science and Technology*, 31(3), 860-865.
- Bock, R. (1979). *A handbook of decomposition methods in analytical chemistry*. Scranton: International Textbook Co.
- Boese, B. L., & Lee, H. (1992). *Synthesis of methods to predict bioaccumulation of sediment pollutants*. Environmental Research Laboratory.
- Bolat, K., & Kara, Ö. (2017). Bitki besin elementleri: kaynakları, işlevleri, eksik ve fazlalıkları. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 19(9), 218-228. <https://doi.org/10.24011/barofd.251313>
- Bonanno, G., & Giudice, R. L. (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. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2009.11.002>
- Bonanno, G., & Vymazal, J. (2017). Compartmentalization of potentially hazardous elements in macrophytes: Insights into capacity and efficiency of accumulation. *Journal of Geochemical Exploration*, 181, 22-30. <https://doi.org/10.1016/j.jgexplo.2017.06.018>
- Borowiak, K., Kancierz, 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. <https://doi.org/10.1515/aep-2016-0032>
- Bragato, C., Brix, H., & Malagoli, M. (2006). Accumulation of nutrients and heavy metals in *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel and *Bolboschoenus maritimus* (L.) Palla in a constructed wetland of the Venice lagoon watershed. *Environmental Pollution*, 144(3), 967-975. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2006.01.046>
- Burdur'daki Karataş Gölü Kurudu (2025). Virahaber. Erişim adresi: <https://www.virahaber.com/burdurdaki-karatas-golu-kurudu-62232h.htm>
- Campbell, N. A., & Reece, J. B. (2021). *Biology*. (12. Baskı) Pearson Benjamin Cummings.
- Censi, P., Spoto, S. E., Saiano, F., Sprovieri, M., Mazzola, S., Nardone, G., Di Geronimo, S.I., Punturo, R., & Ottonello, D. (2006). Heavy metals in coastal water systems. A case study from the northwestern Gulf of Thailand. *Chemosphere*, 64(7), 1167-1176. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.11.008>
- Chaplygin, V., Dudnikova, T., Chernikova, N., Fedorenko, A., Mandzhieva, S., Fedorenko, G., Sushkova, S., Nevidomskaya, D., Minkina, T., Sathishkumar, P., & Rajput, V.D. (2022). *Phragmites australis* cav. as a bioindicator of hydromorphic soils pollution with heavy metals and polyaromatic hydrocarbons. *Chemosphere*, 308, 136409. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136409>
- Charlesworth, S., De Miguel, E., & Ordóñez, A. (2011). A review of the distribution of particulate trace elements in urban terrestrial environments and its application to considerations of risk. *Environmental Geochemistry and Health*, 33, 103-123. <https://doi.org/10.1007/s10653-010-9325-7>
- Çetin, B. (2009). The use of wetland of Karataş (Bahçeözü) Lake (Burdur-Karamanlı) and a geographical look at the emerging problems. *New World Science Academy*, 4(4), 157-174.
- Demirezen, D., & Aksoy, A. (2006). Common hydrophytes as bioindicators of iron and manganese pollutions. *Ecological Indicators*, 6(2), 388-393.
- Doğan, M. (2011). Akvatik makrofitlerde ağır metal akümüasyonu. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 4(2), 33-36.
- Doğru, A., Altundağ, H., & DüNDAR, M.Ş. (2021). Bitkilerde ağır metal hiperakümüasyonu ve fitoremediasyon. *Journal of Agricultural Biotechnology*, 2(2), 32-55.
- Duman, F. (2005). *Sapanca ve Abant Gölü su, sediment ve sucul bitki örneklerindeki ağır metal*

- konsantrasyonlarının karşılaştırmalı olarak incelenmesi [Doktora tezi, Ankara Üniversitesi]
- Duman, F., Obalı, O., & Demirezen, D. (2006). Seasonal changes of metal accumulation and distribution in shining pondweed (*Potamogeton lucens*). *Chemosphere*, 65(11), 2145-2151. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.06.036>
- Duman, F., Çiçek, M., & Sezen, G. (2007). Seasonal changes of metal accumulation and distribution in common club rush (*Schoenoplectus lacustris*) and common reed (*Phragmites australis*). *Ecotoxicology*, 16(6), 457-463. <https://doi.org/10.1007/s10646-007-0150-4>
- Duman, F., Urey, E., & Koca, F. D. (2015). Temporal variation of heavy metal accumulation and translocation characteristics of narrow-leaved cattail (*Typha angustifolia* L.). *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 17886-17896. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4979-4>
- Duncan, D. B. (1955). Multiple Range and Multiple F Tests. *Biometrics*, 11(1), 1-42.
- Ege, I. (2019). Burdur-Karamanlı arasında taş ocaklarındaki zamansal değişimin CBS teknolojisi ve uzaktan algılama ile incelenmesi. B. Gonencgil, T. A. Ertek, I. Akova & E. Elbaşı (Ed.), *1st Istanbul International Geography Congress Proceedings Book* (s. 563–570). İstanbul, Türkiye: İstanbul University Press. <https://doi.org/10.26650/PB/PS12.2019.002.055>
- Eid E. M., Shaltout, K. H., Al-Sodany, Y. M., Haroun, S. A., Galal, T. M., Ayad, H., Khedher, K.M., & Jensen, K. (2021). Temporal potential of *Phragmites australis* as a phytoremediator to remove Ni and Pb from water and sediment in Lake Burullus, Egypt. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 106, 516-527. <https://doi.org/10.1007/s00128-021-03120-y>
- Eid, E.M., Shaltout, K.H., Al-Sodany, Y.M., Haroun, S. A., Galal, T.M., Ayed, H., Khedher, K.M., & Jensen, K. (2020). Common reed (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel) as a candidate for predicting heavy metal contamination in Lake Burullus, Egypt: A biomonitoring approach. *Ecological Engineering*. 148, 105787. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.105787>
- Ekeocha, C., & Anunuso, C. (2016). Comparative analysis of index of geoaccumulation of heavy metals in some selected auto mechanic soils in Abuja, Nigeria. *Journal of Chemical Society of Nigeria*, 41(2), 96-102.
- Ellis, K. V., White, G., & Adn Warn, A. E. (1989). *Surface Water Pollution and Its Control* Antony, Machillan.
- Fan, H., Chen, S., Li, Z., Liu, P., Xu, C., & Yang, X. (2020). Assessment of heavy metals in water, sediment and shellfish organisms in typical areas of the Yangtze River Estuary, China. *Marine Pollution Bulletin*, 151, 110864. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110864>
- Fisher, R.A. (1928). The general sampling distribution of the multiple correlation coefficient. *Proceeding of the Royal Society A*, 121(788), 654–673.
- Hamidian, A. H., Jafari Ozumchelouei, E., & Atashgahi, M. (2024). Assessment of Metal Pollution in Sediments and Their Bioaccumulation in *Phragmites australis* from Shoor River, Iran. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*. <https://doi.org/10.1080/15320383.2024.2420182>
- Heidarzadeh, M., Abdi, N., Farahani, J.V., Ahmadi, A., & Toranjzar, H. (2020). The effect of *Typha latifolia* L. on heavy metals phytoremediation at the urban and industrial wastewater entrance to the Meighan wetland, Iran. *Journal of Applied Research in Water and Wastewater*, 14, 167-171.
- Henry, J.R. (2000). An overview of the phytoremediation of lead and mercury. *National Network of Environmental Management Studies (NNEMS) Fellow*, 1–31.
- Hu, H. (2000). Exposure to metals. *Primary Care*, 27(4), 983-996. [https://doi.org/10.1016/s0095-4543\(05\)70185-8](https://doi.org/10.1016/s0095-4543(05)70185-8)
- İşildar, H. T., & Erçoşkun, Ö. Y. (2021). Göller Yöresinde Sürdürülebilirlik ve Dirençlilik. *Journal of Management Theory and Practices Research*, 2(2), 89-116.
- Karataş Gölü, 2025. Vikipedi. Erişim adresi: https://tr.wikipedia.org/wiki/Karata%C5%9F_G%C3%B6l%C3%BC
- Kaya, D. C. Ç., (2021). *Beyşehir, Eğirdir, Çivril, Suğla, Karataş, Kovada ve Gölhisar göllerinin su, sedimen ve balık (Carassius gibelio) örneklerinde bazı ağır metal konsantrasyonlarının belirlenmesi* [Doktora tezi, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi]
- Kazancı, N., Girgin S. Ç., Dügel M., Oğuzkurt D., Mutlu B., Dere Ş., Barlas M., & Özçelik M. (1999). *Türkiye İç Suları Araştırmaları Dizisi IV: Köyceğiz, Beyşehir, Eğirdir, Akşehir, Eber, Çorak, Kovada, Yarıslı, Bafa, Salda, Karataş, Çavuşçu Gölleri, Küçük ve Büyük Menderes Deltası, Güllük Sazlığı, Karamuk Bataklığı'nın Limnolojisi, Çevre Kalitesi ve Biyolojik Çeşitliliği*. Form Ofset.
- Kır, İ., Tekin-Özan, S., & Barlas, M. (2006). Heavy metal concentrations in organs of Rudd, *Scardinus erythrophthalmus* L., 1758 populating Lake Karatas-Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, 15(1), 25-29.
- Klink, A. (2017). A comparison of trace metal bioaccumulation and distribution in *Typha latifolia* and *Phragmites australis*: implication for phytoremediation. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 3843-3852. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-8135-6>
- Kumari, M., & Tripathi, B.D. (2015). Efficiency of *Phragmites australis* and *Typha latifolia* for heavy metal removal from wastewater. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 112, 80–86. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.10.034>
- Kurt, B. (2006). *Türkiye'nin Önemli Doğa Alanları*. Ankara: Doğa Derneği.
- Kuruyan Karataş Gölü tekrar su tutmaya başladı, 2025. Doğruhaber. Erişim adresi: <https://dogruhaber.com.tr/haber/826271-kuruyan-karatas-golu-tekrar-su-tutmaya-basladi>
- Laing, G.D., Tack, F.M.G. & Verloo, M.G. (2003). Performance of selected destruction methods for the determination of heavy metals in reed plants (*Phragmites australis*). *Analytica Chimica Acta*, 497(1-2), 191-198.

- Lee, H. I. I. (1992). Models, muddles, and mud: Predicting bioaccumulation of sediment-associated pollutants. In: G.A. Burton (Eds.), *Sediment Toxicity Assessment* (pp. 267-289). Lewis Publishers, Boca Raton.
- Liu, J., Yin, P., Chen, B., Gao, F., Song, H., & Li, M. (2016). Distribution and contamination assessment of heavy metals in surface sediments of the Luanhe River Estuary, northwest of the Bohai Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 109(1), 633-639. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.05.020>
- Macek, T., Kotrba, P., Svatos, A., Novakova, M., Demnerova, K., & Mackova, M. (2008). Novel roles for genetically modified plants in environmental protection. *Trends in Biotechnology*, 26, 146-152. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2007.11.009>
- MEB. (2012). *Tarım Teknolojileri Su Kenarı ve Su İçi Süs Bitkileri Yetiştiriciliği*, 622B00182, 68 s, Ankara.
- Mendez, M. O., & Maier, R. M. (2008). Phytoremediation of mine tailings in temperate and arid environments. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 7, 47-59. <https://doi.org/10.1007/s11157-007-9125-4>
- Mostert, M. M. R., Ayoko, G. A., & Kokot, S. (2010). Application of chemometrics to analysis of soil pollutants. *Trends in Analytical Chemistry*, 29, 430-445. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2010.02.009>
- Mukhopadhyay, S., & Maiti, S. K. (2010). Phytoremediation of metal mine waste. *Applied Ecology and Environmental Research*, 8(3), 207-222.
- OpenAI. (2025). *Phragmites australis bitkisinin yapay zeka destekli çizimi* (Yapay zeka tarafından oluşturulmuş görsel). ChatGPT. <https://chat.openai.com>
- Orman ve Su İşleri Bakanlığı (2017). *Göller ve Sulak Alanlar Eylem Planı 2017-2023*.
- Oruçoğlu, K., & Beyhan, M. (2019). Göller Bölgesi Göllerinde Ağır Metal Kirliliğinin Değerlendirilmesi. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 3(1), 10-20. <https://doi.org/10.30516/bilgesci.449984>
- Özçelik, Ş. (2022). *Eğirdir Gölü'nün suyunda, sedimentinde ve göldeki Phragmites australis (Cav.) Trin. Ex. Steudel ile Typha angustifolia (L.) örneklerindeki ağır metal düzeylerinin belirlenmesi*. [Doktora tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi].
- Özçelik, Ş., & 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. *Environment Science and Pollution Research*, 30, 112194-112205. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-30226-z>
- Parveen, N., Zaidi, S., Danish, M., 2016. Support vector regression model for predicting the sorption capacity of lead (II). *Perspectives in Science*, 8, 629-631. <https://doi.org/10.1016/j.pisc.2016.06.040>
- Pbugmacher, S., Geissler, K., & Steinberg, C. (1999). Activity of Phase I and Phase II Detoxication Enzymes in Different Cormus Parts of *Phragmites australis*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 42(1), 62-66. <https://doi.org/10.1006/eesa.1998.1727>
- Plaster, E. J. (1992). *Soil Science and Management*. Delmar Publishers Inc.
- Prasad, M. N. V. (2003). Phytoremediation of metal-polluted ecosystems: Hype for commercialization. *Russian Journal of Plant Physiology*, 50(3), 764-780.
- Rascio, N. (1977). Metal accumulation by some plants growing on zinc-mine deposits. *Oikos*, 29, 250-253.
- Rezania, S., Park, J., Rupani, P. F., Darajeh, N., Xu, X., & Shahrokhishahraki, R. (2019). Phytoremediation potential and control of *Phragmites australis* as a green phytomass: an overview. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(8), 7428-7441. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04300-4>
- Sancer, O., & Tekin-Özan, S. (2016). Seasonal changes of metal accumulation in water, sediment and *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel growing in Lake Kovada (Isparta, Türkiye). *Süleyman Demirel Üniversitesi Journal of Science*, 11(2), 45-60.
- Sawidis, T., Chettri, M.K., Zachariadis, G.A. & Stratis, J.A. (1995). Heavy metals in aquatic plants and sediments from water systems in Macedonia, Greece. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 32, 73-80.
- Seçmen, Ö., & Leblebici, E. (2008). *Türkiye Sulak Alan Bitkileri ve Bitki Örtüsü*. Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Yayınları.
- Shine, J., Ryan, D., Limon, J., & Ford, T. (1998). Annual cycle of heavy metals in a tropical lake-Lake Chapala, Mexico. *Journal of Environmental Science Health, Part A*, 33, 23-43.
- Singh, S., Parihar, P., Singh, R., Singh, V.P. & Prasad, S.M. (2016). Heavy metal tolerance in plants: role of transcriptomics, proteomics, metabolomics, and ionomics. *Frontiers in Plant Science*, 6, 1143. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.01143>
- Takarina, N. D., & Pin, T. G. (2017). Bioconcentration factor (BCF) and translocation factor (TF) of heavy metals in mangrove trees of Blanakan fish farm. *Makara Journal of Science*, 21(2), 77-81. <https://doi.org/10.7454/mss.v21i2.7308>
- Tanyolaç, J. (2009). *Limnoloji* (6. Baskı), Hatipoğlu yayınları.
- Tekin-Özan, S., Özçelik, Ş., & Özan, C. (2022). The determination of heavy metals in Eurasian Watermilfoil (*Myriophyllum spicatum* L.) plant growing in the Eğirdir Lake. *Journal of Yalvaç Academy*, 7(1), 46-57.
- Tekin-Özan, S. (2023). *Karataş Gölü (Burdur)'nün suyunda, sedimentinde ve gölde yetişen kamış (Phragmites australis (Cav) Trin.Ex Steudel) bitkisinde ağır metal düzeylerinin belirlenmesi*. Proje Sonuç Raporu. Proje No: FYL-2019-7384. SDÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi.
- Tekin-Özan, S., Tunç, M., & Bakioğlu-Acar, B. (2024). Evaluation of some heavy metals and selenium pollution in Karataş Lake (Burdur/Türkiye) using various pollution indices and statistical analysis. *Marine Pollution Bulletin*, 199, 155927. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115927>
- Terry, N., & Bañuelos, G. (2000). *Phytoremediation of contaminated soil and water*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780367803148>

- Topal, M. (2021). Investigation of some heavy metal accumulation ability of *Phragmites australis* from Poultry Slaughterhouse Wastewaters. *Arabian Journal of Science and Engineering*, 46, 115-122. <https://doi.org/10.1007/s13369-020-04825-8>
- USEPA. (2001). *Methods for Collection Storage and Manipulation of Sediments for Chemical and Toxicological Analyses: Technical Manual: EPA 823-B-01-002*; US. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, D.C.
- Usero, J., Izquierdo, C., Morillo, J., & Gracia, I. (2004). Heavy metals in fish (*Solea vulgaris*, *Anguilla anguilla* and *Liza aurata*) from salt marshes on the southern Atlantic coast of Spain. *Environment International*, 29(7), 949-956.
- Vymazal, J., & Březinová, T. (2016). Accumulation of heavy metals in aboveground biomass of *Phragmites australis* in horizontal flow constructed wetlands for wastewater treatment: a review. *Chemical Engineering Journal*, 290, 232-242. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.12.108>
- Kuruyan Karataş Gölü tekrar su tutmaya başladı, 2025. Doğruhaber. Erişim adresi: <https://dogruhaber.com.tr/haber/826271-kuruyan-karatas-golu-tekrar-su-tutmaya-basladi>
- Wei, C.Y., Chen, T.B., & Huang, Z.C. (2002). Cretan bake (*Pteris cretica* L): an arsenic accumulating Plant. *Acta Ecologica Sinica*, 22, 777-782.
- Xu, J., Chen, Y., Zheng, L., Liu, B., Liu, J., & Wang, X. (2018). Assessment of heavy metal pollution in the sediment of the main tributaries of Dongting Lake, China. *Water*, 10(8), 1060. <https://doi.org/10.3390/w10081060>
- Vu, C. T., Lin, C., Nguyen, K. A., Shern, C. C., & Kuo, Y. M. (2018). Ecological risk assessment of heavy metals sampled in sediments and water of the Houjing River, Taiwan. *Environmental Earth Sciences*, 77, 388. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7573-5>
- Yabanlı, M., Yozukmaz, A., & Sel, F. (2014). Heavy metal accumulation in the leaves, stem and root of the invasive submerged macrophyte *Myriophyllum spicatum* L. (haloragaceae): An example of Kadın Creek (Muğla, Turkey). *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 57(3), 434-440. <https://doi.org/10.1590/S1516-8913201401962>
- Yadav, K. K., Gupta, N., Kumar, A., Reece, L. M., Singh, N., Rezaia, S., & Khan, S. A. (2018). Mechanistic understanding and holistic approach of phytoremediation: A review on application and future prospects. *Ecological Engineering*, 120, 274-298. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.05.039>
- Yalçuk, A., Pakdil, N.B., & Kantürer, O. (2014). Investigation of the effects of fish farms in Bolu (Turkey) on aquatic pollution. *International Journal of Agricultural and Food Research*, 3(1), 1-13.
- Yang, X., Feng, Y., He, Z., & Stoffella, P.J. (2005). Molecular mechanisms of heavy metal hyperaccumulation and phytoremediation. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 18, 339-353. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2005.02.007>
- Yarar, M., & Magnin, G. (1997). *Türkiye'nin önemli kuş alanları*. İstanbul: Doğal Hayatı Koruma Derneği Yayınları.
- Yarıcı, M. A., & Yağbasan, Ö. (2018). Burdur Gölleri Havzası'nın Morfolojik Özelliklerinin Belirlenmesinde Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Kullanımı. In *International Geography Symposium on the 30th Anniversary of TUCAUM*.
- Yavuz, O., & Sarıgül, N. (2016). Toprak ve sucul ortamlardaki ağır metal kirliliği ve ağır metal dirençli mikroorganizmalar. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(1), 44-51.
- Zayed, A., Gowthaman, S., & Terry, N. (1998). Phytoaccumulation of Trace Elements by Wetland Plants: I. Duckweed. *Journal of Environmental Quality*, 27(3), 715-721.
- Zhang, C., Shan, B., Tang, W., Wang, C., & Zhang, L. (2019). Identifying sediment associated toxicity in rivers affected by multiple pollutants from the contaminant bioavailability. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 171, 84-91. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.12.075>
- Zhang, F., Yan, X., Zeng, C., Zhang, M., Shrestha, S., Devkota, L. P., & Yao, T. (2012). Influence of traffic activity on heavy metal concentrations of roadside farmland soil in mountainous areas. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 9(5), 1715-1731. <https://doi.org/10.3390/ijerph9051715>
- Zhulidov, A. V. (1996). Heavy metals in Russian Wetlands. In: N. M. Van Straalen & D. A. Krivolutsky (Eds.), *Bioindicator Systems for Soil Pollution* (pp. 233-247). Kluwer Academic Publishers.