
Araştırma Makalesi / Research Article

Ahlat Sazlıklarındaki, *Phragmites australis* (Cav.) Trin. Ex Steudel, *Typha angustifolia* L., *Lythrum salicaria* L. Bitkilerinin ve Bunları Çevreleyen Sedimentlerde Ağır Metal Konsantrasyonlarının Belirlenmesi

Şükrü HAYTA*, Yekda ERKAN

*Bitlis Eren Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü
(ORCID: 0000-0003-1008-487X) (ORCID: 0000 0001 5609 119X)*

Öz

Bu çalışmada, Ahlat Sazlıklarının baskın türleri olan *Phragmites australis*, *Typha angustifolia* ve *Lythrum salicaria* bitki türleri ve bu bitkileri çevreleyen sedimentlerde ağır metal konsantrasyonlarının belirlenmesi üzerinde durulmuştur. Elde edilen sonuçlar ile sahada fitoremediasyon yöntemi uygulanarak sulak alanlardaki ağır metal kirleticilerinin bitki bünyesine alımı ve sucul ortamın kendini iyileştirme çabasının tespit edilmesi için yapılan çalışmalara katkı sağlanması amaçlanmıştır. Çalışmamızda bu bitkilerin ağır metal tolere edebilme kapasiteleri belirlenerek bölgedeki metal kirlilik seviyesi tespit edilmeye çalışılmıştır. Çalışmada kullanılan *Phragmites australis*, *Typha angustifolia* ve *Lythrum salicaria* bitkileri üzerinde: Mg, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb ve Ca metallerini tolere edebilme kapasitelerine bakılmış ve bu bitkilerin metalleri akümüle etme seviyeleri belirlenmiştir. Toprak analizleri sonucunda Mg, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb ve Ca elementlerinin ortalama konsantrasyonları sırasıyla 480.05, 2.285, 89.47, 1721.5, 2.707, 0.942, 6.611, 0.067, 1.07, 69.255mg kg⁻¹ olarak tespit edilmiştir.

Ahhtar kelimeler: Ahlat Sazlığı, ağır metaller, fitoremediasyon, hiperakümülatör bitki.

Determination The Heavy Metal Concentrations of *Phragmites australis* (Cav.) Trin. Ex Steudel, *Typha angustifolia* L., *Lythrum salicaria* L. Plants And Surrounding Sediments In The Ahlat Reeds

Abstract

In this study, determination the heavy metal concentrations of Ahlat Reeds' dominant species of which were *Phragmites australis*, *Typha angustifolia* and *Lythrum salicaria* and the sediments surrounding these plants were emphasized. It is aimed to give contribution to both studies carried out in order to determine the effect of heavy metal pollutant intake into the plant body in the wetlands and to improve the remediation capacity of aquatic environment by applying phytoremediation method with the obtained results. In this study, we tried to determine the metal pollution level in the region by determining the heavy metal tolerance capacity of these plants. Metal (Mg, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb and Ca) tolerance capacity of plants used in this study (*Phragmites australis*, *Typha angustifolia* and *Lythrum salicaria* plants) were investigated and accumulation capacity of these plants were determined. According to soil analysis results, average concentrations of Mg, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb and Ca elements were determined as 480.05, 2.285, 89.47, 1721.5, 2.707, 0.942, 6.611, 0.067, 1.07, 69.255mg kg⁻¹ respectively.

Keywords: Ahlat reed, Heavy metals, Phytoremediation, Hyperaccumulator plant.

1. Giriş

Nüfus hareketliliğine paralel olarak artan sanayi ve teknolojik gelişmeler, beraberinde su kirlenmesi ve toprak kirlenmesini de meydana getirmektedir. Su kirliliği ve toprak kirliliği tüm dünya genelinde büyük

* Sorumlu yazar: sukruhayta@hotmail.com

Geliş Tarihi: 27.02.2019 , Kabul Tarihi: 26.04.2019

çevre problemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Kirlilik; “herhangi bir şeyin bulunmaması gereken alanda normalden fazla bulunması” şeklinde tanımlanabilir [1]. Antropojenik faktörler arasında yer alan fosil yakıtların yakılması, madencilik, rafineri atıkları, endüstriyel ve evsel atıklar, ulaşım ve tarım faaliyetleri kirlenmenin ana etkenlerini oluşturmaktadır [2-3]. İnsan kaynaklı etkenler sonucu su kütlelerinde; ötrofikasyon, asidifikasyon, alüvyon birikmesi ve ağır metal kirliliği gibi farklı şekillerde kirlilikler ortaya çıkabilmektedir [4].

Canlı organizmalar için hayati bir önem taşıyan suyun yeryüzündeki miktarının tatlı su olarak kullanılabilir oranı yaklaşık % 0,3 lük kısmıdır. Bu su rezervi ise yaklaşık 250 ülke tarafından paylaşılmaktadır [5]. Kullanılabilir su kaynaklarının kısıtlılığına rağmen hızlı nüfus artışı ve endüstriyel faaliyetlere paralel olarak suya olan ihtiyaç her geçen gün artarken, hava ve toprakla iç içe olan su ekosistemleri doğal ve antropojenik kaynaklardan (evsel, endüstriyel, madencilik ve tarımsal aktiviteler gibi) çevreye salıverilen ağır metaller ile sürekli kirlenmektedir. Ağır metallerin yayılım hızı, doğal proseslerle uzaklaştırılandan daha fazladır. Bu sebeple, ağır metallerin çevrede birikimi sürekli artmaktadır [6]. Ağır metaller, organik kirleticilerin aksine biyolojik yollarla konsantrasyon ya da toksisitesini azaltan parçalanma işlemine uğramadıkları için toprak, su, dip sediment ve canlı organizmalarda birikirler. Bunlar besin zinciri yoluyla bir organizmadan başka bir organizmanın yapısına geçmekte ve insana kadar ulaşabilmektedir. Besin zinciriyle girdikleri canlı yapılardan atılmadıkları için canlıların bünyesinde birikir ve etkili dozlara ulaştıklarında toksik etki yaparlar [7-10]. En önemli sorun ağır metallerin besin zincirine girme ve kullanma suyuna karışma olasılığıdır. Dünyadaki en önemli çevresel problemlerden biri de sudaki ağır metal kirliliğidir [6].

Kirliliği oluşturan maddelerin bir başka sınıflandırılması organik ve inorganik kirleticiler olarak da yapılmaktadır. Ağır metaller ve iz elementler, inorganik kirleticilerin başında gelmektedir. EPA’ nın 1993 yılı öncelikli kirleticiler listesinde 129 kirleticisi vardır. Bunlardan 13 tanesi metal, diğerleri organik bileşikler, pestisitler, poliklorobifeniller ve birkaç metal olmayan inorganik bileşiklerdir. Bu metaller; Kadmiyum, Kurşun, Antimon, Arsenik, Berilyum, Krom, Bakır, Civa, Nikel, Selenyum, Gümüş, Talyum ve Çinkodur. Bu metaller dünyanın birçok yerinde çevre koruma örgütleri tarafından öncelikli kirleticiler listesine alınmışlardır [11].

Ağır metaller çevrede doğal olarak iz düzeyinde, cansız alemde, kayaçlar ile toprak ve suda, canlı alemde ise bitki ve hayvanlarda bulunmaktadır. Su kütlelerindeki ağır metal zenginleşmesine kayaların aşınması, volkanik hareketler gibi doğal fiziksel ve kimyasal süreçler sebep olmakla birlikte sistemdeki artışların en önemli kısmını insan kaynaklı faaliyetler oluşturur [12].

Özellikle endüstriyel faaliyetler sonucu (enerji ve yakıt üretimi, madencilik, aşırı pestisit, gübre kullanımı vb.) çevreye yayılan ağır metal miktarı oldukça fazladır [13-14]. Toprakta 1 ila 100.000 mg kg⁻¹ aralığında metal konsantrasyonu değişim göstermektedir. Topraktaki ağır metal birikiminin yüksek seviyelere ulaşması tarım alanlarında ürün verimi ve kalitesini, toprak kalitesinin bozulmasını tetiklemektedir [15]. Bu sonuçlar ile beraber insan ve diğer canlı organizmaların yaşam alanları ve hayatları önemli ölçüde tehlike altına girmektedir [16].

Birçok literatürde de konu edildiği gibi ağır metaller kullanılarak kirlenmiş bölgelerin temizlenmesinde kullanılan klasik yöntemler oldukça masraflıdır [17-18]. Dolayısıyla, günümüzde kullanılan remediasyon teknikleri yerine az maliyetli ve çevre dostu olan fitoremediasyon tekniği üzerinde çalışmalar artırılmıştır [19-20].

Bu teknik sahip olduğu özellikler ve potansiyel olarak klasik remediasyon teknikleri ile karşılaştırıldıklarında, ekonomik olarak daha avantajlı olup; her türden kirleticiler için uygulanabilir [21-23]. Fitoremediasyon işleminde, bitkilerin ne çeşit ve hangi konsantrasyonda ağır metal akümüle ettiğinin bilinmesi oldukça önemlidir. Ağır metalleri absorblama, akümüle etme ve tolere etme yetenekleri her bitki türüne göre farklılık göstermekle birlikte, bitkilerde ağır metal alımında, toprak pH değerinin bilinmesi de oldukça önemlidir [24]. Su ve sediment örneklerinin incelenmesi tek başına, sucul ortamlardaki kirleticilerin ve kirlenme miktarının belirlenmesinde yeterli değildir. Alandaki sucul bitkilerin de deneylerde kullanılması sonuçların güvenilirliği bakımından önemlidir [25]. Dolayısıyla bu çalışmaya konu olan Ahlat Sazlıklarında, belirlenen noktalarda sediment örneği yanında bölgedeki biyomonitör bitkilerinden; *Phragmites australis* (kamuş), *Typha angustifolia* (hasır otu) ve *Lythrum salicaria* (Hevhulma) bitkileri de materyal olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada, Ahlat Sazlıklarında bulunan *Phragmites australis* (kamuş), *Typha angustifolia* (hasır otu) ve *Lythrum salicaria* (Hevhulma) bitki türlerinin ve bu bitkileri çevreleyen sedimentlerde ağır metal konsantrasyonlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada kullanılacak *Phragmites australis* (kamuş), *Typha angustifolia* (hasır otu) ve

Lythrum salicaria (Hevhulma) bitkileri üzerinde: Ca, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Pb ve Cd metallerini tolere edebilme kapasitelerine bakılarak bu bitkilerin metalleri akümüle etme seviyeleri belirlenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Araştırma ve Çalışma Alanı

Çalışma alanı olan Ahlat Sazlığı ulusal öneme haiz sulak alandır. Bitlis İli Ahlat İlçesi'nin güneybatısında bulunan Ahlat Sazlıkları, Van Gölü'nün kuzeybatı sınırında yer almakta olup Bitlis, Van, Ahlat ve Tatvan yerleşim merkezlerine sırası ile 59 km, 180 km, 6 km ve 37 km uzaklıktadır. Sulak alan, Bitlis-Ahlat karayolu kıyısında bulunmaktadır. Karayolu sazlığın bir kısmını ikiye ayırmaktadır. Alan Van Gölünün kıyısında yer almakta ve sazlıktan akan tatlısu göle karışmaktadır. Alana Erciş-Ahlat ve Patnos-Ahlat karayolu güzergahından da varılabilmektedir (Şekil 1, Şekil 2).



Şekil 1. Çalışma Alanı (Ahlat Sazlıkları)



Şekil 2. Çalışma Alanı (Ahlat Sazlıkları)

2.2. Kullanılan Bitkiler

Çalışma alanı olarak Bitlis İlinin sulak alanı kabul edilen Ahlat Sazlıkları seçilmiştir. Ahlat Sazlıkları'nda yetişen *Phragmites australis* (kamış), *Typha angustifolia* (hasır otu) ve *Lythrum salicaria* (Hevhulma) bitkileri ve bu bitkileri çevreleyen sedimentlerde ağır metal konsantrasyonlarının belirlenmesi üzerinde durulmuş ve bu bitkilerin hiperakümülatör seviyeleri belirlenmeye çalışılmıştır.

2.2.1. *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. (Kamış)

Phragmites australis Poaceae familyasına ait bir türdür. *Phragmites australis*; 2–4 m boyunda dik, bazen de 6 m. ye kadar uzayabilen, genellikle de stolonlu, creeping rizomlara sahip çok yıllık bir bitkidir (Şekil 3). Akarsular ve bataklıklarda, göllerde, göletlerde, hendeklerde ve ıslak arazilerde yetişir. Stolonlu rizomlar 10 m veya daha fazla uzunluğa ulaşabileceğinden, kökünü sökmek veya yok etmek oldukça zordur. Yapraklar gövdeye bitişik ince bir saçak ile yaprak tabanındaki belirgin kanat benzeri uzantıları taşıyan düzgün bir kılıfla gövdeye tutunmuştur. Çiçekler çok büyüktür; 20-60 cm uzunluğunda çok dallı çiçeklenme gösterir ve genellikle mor renklidir. *P. australis*' in çiçeklenme dönemi Temmuz ve Ekim aylarındadır [26].

Ekonomik önemi olan bir türdür. Halk tarafından beyaz kamış, kamış otu ve süpürge kamışı olarak bilinir. Atlar ve sığırlar için iyi bir besin kaynağıdır. Anadolu'da damları örtmek için kullanılır. Rizomları yenilebilir, yaprakları sebze olarak kullanılır. Süslemecilikte, sepet ve sandal yapımında değerlendirilir. %50 oranında selüloz içerir ve 0.8–3.0 mm uzunluğunda, 5.0–30.5 um kalınlığında fibrillere sahiptir.



Şekil 3. *Phragmites australis* (Kamış)

2.2.2. *Typha angustifolia* L. (Hasır Otu)

Typha angustifolia Typhaceae familyasına ait bir türdür. *Typha angustifolia*, yüksekliği 3 veya daha fazla metre uzayabilen, dik, uzun ömürlü tatlı su kenarlarında yaşayan sucul bir bitkidir (Şekil 4). Hava kanalları bulunan süngersi bir kesite sahip, şerit benzeri lineer kuyruklu yapraklara sahiptirler. Yeraltı sapı kalın olan rizomları bulunur [27]. *Typha angustifolia* sulak alanlarda, saz çayırlarında, yavaş hareket eden akarsularda, nehir kıyılarında ve göl kıyılarında bulunabilir. Tesis, yol kenarı hendekleri, rezervuarlar ve diğer bozulmuş ıslak toprak alanları gibi su seviyeleri geniş dalgalanma gösteren alanlarda bulunur. *T. angustifolia*'nın çiçeklenme dönemi Mayıs sonu ve Haziran aylarıdır. Bazen iklim ve çöplerden etkilenen toprak ve su sıcaklıklarına bağlı olarak Temmuz ayının sonunda da gerçekleşebilir. Meyveler Ağustos ve Eylül aylarında olgunlaşır [28]. *Typha angustifolia* kolonileri genellikle vejetatif üreme ile korunur. Çok yıllık bir kök stoğu, ümeden sorumlu ana organdır [29].

Bitki dokuları, bazı metallerin nispeten yüksek konsantrasyonlarını depolayabilir. *Typha angustifolia*'nın bir iç bakır ve nikel tolerans mekanizması var gibi görünüyor. Ağır metal toleransı için evrimsel bir seçim olması muhtemel değildir, fakat bu olayın daha çok türlerin doğasında olduğunu söylemek daha doğru olur [30].



Şekil 4. *Typha angustifolia* (Hasır Otu)

2.2.3. *Lythrum salicaria* L. (Hevhulma)

Lythrum salicaria (hevhulma), yazın mor renkli çiçekler açan ve 2 metreye kadar uzayabilen çok yıllık otsu bir bitkidir (Şekil 5). Islak ya da nemli toprağı ve güneşli ya da yarı gölgeli bölgeleri tercih eder. Dona dayanıklıdır (-25 °C'ye kadar). Dere kıyısı ve sulak alanlarda görülür. Killi, kumlu ve tınlı topraklara uyumludur. Stemler kırmızı mor arasındadır. Yapraklar lanseolat, tüylü ve sapsızdır. Çiçekler morumsu kırmızı, altı petalli, on iki stamenlidir. Aynı zamanda çiçekleri hermafrodittir. Üç farklı çiçek tipi ile tozlaşabilir. Haziran, temmuz, ağustos aylarında çiçek açar. Tohumları olgunlaştığında yapraklar parlak kırmızıya döner. Birçok farklı yaprak türü vardır, bu yüzden sayısız alttür ve varyete tespiti yapılmıştır. İçeriğinde glikozit, flavon, uçucu yağ ve sarı madde içerir.



Şekil 5. *Lythrum salicaria* (Hevhulma)

2.3. Ağır Metal Analizi

Çalışma alanı olarak seçilen Bitlis İlinin sulak alanı kabul edilen Ahlat Sazlıklarının florasında yer alan ve bu çalışmaya konu olan üç bitki türü çiçeklenme döneminde doğal yaşam alanlarından toplanmıştır. Aynı zamanda bu bitkileri çevreleyen sedimentler ve toprak numuneleri de uygun bir şekilde araziden alınmıştır. Bu numuneler *Phragmites australis* (Phrag1), *Typha angustifolia* (Typh1), ayrıca yine bu bölgede yoğun olarak tespit ettiğim *Lythrum salicaria* (Lh1), 1. İstasyondaki toprak örneği (T1), 2. İstasyondaki toprak örneğidir (T2). Bu numunelere ait koordinatlar (Şekil 6)' da harita üzerinde gösterilmiştir. Toplanan bu türler teşhis edilmek amacıyla Çevre Mühendisliği Laboratuvarına getirilmiştir. Flora of Turkey adlı eser ve Botanik kılavuzu yardımıyla bu türlerin teşhisi yapılmıştır. Teşhisleri yapılan bu türlerin yaprak, gövde, çiçek, kök gibi kısımları ön işlem yapmak üzere ayrılmıştır. Buradaki amacımız bitkinin sahip olduğu toprak altı ve toprak üstü organlarında birikim gösteren ağır metal içeriklerinin ayrı ayrı tespit edilmesi ve bu organlar arasında karşılaştırılma yapılabilmesidir. Yaprak, gövde, çiçek, kök gibi kısımlarına ayrılan bu bitkiler öncelikle laboratuvardaki çeşme suyuyla yıkanmıştır. Daha sonra ELGA PURELAB-Q DV25 marka saf su cihazından geçirilen bu parçalar geçirilen bu parçalar kurutulmak üzere ayrı ayrı filtre kağıtları üzerine serilmiştir. Kurutulduktan sonra MST55 marka Etüv cihazında her bir bitki parçası filtre kağıtlarına sarılı bir biçimde 50 °C' de 24 saat bekletilmiştir. 24 saat sonunda bu bitki numuneleri ayrı ayrı ağzı kapalı poşetlere konulup dolaplara kaldırılmıştır. Ayrıca bu türlerin toplandığı alanda birbirinden farklı görülen 2 alandan toprak numuneleri alınmıştır. Yine bu toprak numuneleri ön işlem yapmak üzere Çevre Mühendisliği Laboratuvarına getirilmiştir. Uygun bir yerde bu toprak numuneleri filtre kağıtlar üzerine serilerek iki hafta boyunca havalandırılmıştır. Toprak numuneleri ön işlem ve analizleri yapmak üzere plastik ağzı kapalı poşetlere alınmış ve dolaplara konulmuştur. Numuneler ilk olarak mikrodalga cihazında yakma işlemine tabi tutulmuş, 0,5 gr numune alınarak üzerine 6 mL % 65 lik HNO₃ ve 2 mL %30 luk H₂O₂ eklenmiştir. Yakılan numuneler ICP-MS cihazında okuma yapılabilmesi için 50 kat %2 lik HNO₃ ile seyreltilmiştir (200 uM numune+ 9800 uM %2 lik HNO₃). ICP-MS cihazında yapılan okumada mikrodalgadaki seyreltmede kullanılan peroksit ve nitrik asit te ayrıca blank olarak yakma işlemine tabi tutulup special blank olarak okutulmuş ve bu değer ICP okumasında sonuçlardan düşülerek hesaplama yapılmıştır. Yapılan 50 katlık seyreltmelerde ICP cihazında hesaplanarak sonuçlar excel dosyasına aktarılmıştır.



Şekil 6. Araziden alınan örneklerin harita konumu üzerinde istasyonlarının gösterilmesi

3. Bulgular ve Tartışma

Çalışmamızda Ahlat Sazlıkları çevresinde en fazla yayılış gösteren ve sulak alan bitkileri olan 3 tür *Phragmites australis* (kamış), *Typha angustifolia* (hasır otu) ve *Lythrum salicaria* (Hevhulma) ile bunları çevreleyen toprak örnekleri, ICP*MS cihazı kullanılarak Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Ni, Pb ve Zn ağır metal konsantrasyonları belirlendi (Tablo 1, Tablo 2). Ayrıca bu bitkilerin hangi ağır metalleri biriktirebilme yetenekleri olduğu tespit edilmeye çalışıldı.

Lythrum salicaria bitkisinin kökünde ağır metal konsantrasyonundaki azalma eğilimi Mg>Ca>Mn>Fe>Zn>Cu>Ni>Cd, gövdede Ca>Mg>Fe>Zn>Mn>Cu>Pb>Ni>Cd>Cr, yaprakta Ca>Mg>Fe>Mn>Zn>Cu>Ni>Cd ve çiçekte Ca>Mg>Fe>Mn>Zn>Cu>Ni>Pb>Cd tespit edildi. Cr bu bitkinin kök, yaprak ve çiçek, Pb ise kök ve yaprakta yaptığımız analizler sonucunda tespit edilemedi. *Typha angustifolia* bitkisinin kökünde ağır metal konsantrasyonundaki azalma eğilimi Mg>Fe>Zn>Mn>Ca>Cr>Cu>Ni>Cd>Pb, gövdede Mg>Fe>Mn>Ca>Cr>Zn>Ni>Cu>Pb>Cd, ve yaprakta Mg>Ca>Mn>Fe>Zn>Cu>Ni>Cd>Pb tespit edildi. Cr bu bitkinin yaprak kısmında yaptığımız analizler sonucunda tespit edilemedi.

Phragmites australis bitkisinin kökünde ağır metal konsantrasyonundaki azalma eğilimi Mg>Ca>Fe>Zn>Mn>Cu>Cr>Ni>Cd>Pb, gövdede Mg>Ca>Mn>Zn>Fe>Cu>Ni>Cd>Pb, ve yaprakta Mg>Fe>Ca>Zn>Mn>Cu>Pb>Cd tespit edildi. Cr bu bitkinin gövde ve yaprağında, Ni ise yaprakta yaptığımız analizler sonucunda tespit edilemedi.

Cd, topraklarda oldukça hareketlidir ve alım mekanizmaları iyi bilinmemekle birlikte bitkiler için kolaylıkla kullanılabilir [31]. Chaney (1989) [32], tarafından bildirilen Cd nin fitotoksik aralığı (5-700 mg kg⁻¹) değerleri arasında değişkenlik gösterir. Buna karşılık Allen (1989) [33], kirlenmemiş ortamlarda bitkilerdeki Cd içeriğinin 0,01-0,3 mg kg⁻¹ olduğunu savunmaktadır. FAO/WHO'nun bitkilerde kabul ettiği Cd sınır değeri 0,5 mg kg⁻¹'dir. Allen (1989)'e [33] göre, bitkilerde bulunmasına izin verilebilen Cr konsantrasyonu 0,05 – 0,5 mg kg⁻¹, sedimentlerde ise sınır değerler 10 – 200 mg kg⁻¹'dir. FAO/WHO'nun bitkilerde kabul ettiği Cr sınır değeri 0.5 mg kg⁻¹'dir. *Typha angustifolia* bitkisinin kök (1,732 mg kg⁻¹) ve gövde (2,923 mg kg⁻¹) kısmındaki Cr miktarı sınır değerlerinin üzerinde analiz edilmiştir. Allen (1989)'e [33] göre, sediment ve bitki örneklerinde bulunması gereken Cu konsantrasyonu 2,5 – 25 mg kg⁻¹'dir. FAO/WHO'nun bitkilerde kabul ettiği Cu sınır değeri 5 mg kg⁻¹'dir. Allen (1989)'e [33] göre Mn aralığı 50-500 mg kg⁻¹ bitkiler için toksik olarak kabul edilir, sedimentlerde ise 5 – 500 mg kg⁻¹'dir. Allen'e (1989) [33] göre, bitkilerde bulunması gereken Ni konsantrasyonu 0,5 – 5 mg kg⁻¹, sediment örneklerinde ise 5 – 500 mg kg⁻¹ 'dır [25].

FAO/WHO'nun bitkilerde kabul ettiği Ni sınır değeri 5 mg kg⁻¹'dir. Allen (1989)'e [33] göre, sucul ortam sedimentlerinde kurşun konsantrasyonunun normal değerleri 2 – 20 mg kg⁻¹, bitkilerde ise 0,05-3 mg kg⁻¹ dir [25]. FAO/WHO'nun bitkilerde kabul ettiği Pb sınır değeri 2 mg kg⁻¹'dir. Allen (1989)'e [33] göre, bitkilerde Zn için normal konsantrasyon 10-100 mg kg⁻¹, sedimentte ise 1-40 mg kg⁻¹ aralığındadır [25,34]. FAO/WHO'nun bitkilerde kabul ettiği Zn sınır değeri 50 mg kg⁻¹'dir. Allen (1989)'e [33] göre, sedimentlerde bulunması gereken Fe konsantrasyonu 50-1000 mg kg⁻¹, kirlenmemiş ortamlardaki bitkiler için ise 40-500 mg kg⁻¹'dir [25]. FAO/WHO'nun bitkilerde kabul ettiği Fe sınır değeri 30 mg kg⁻¹'dir.

Kirlenmiş ve kirlenmemiş ortamlarda yetişen *Phragmites australis* ve *Typha angustifolia* ile ilgili yapılan çalışmalarda bu bitkinin metal kirliliğine toleranslı olduğu tespit edilmiş; farklılık sadece iklimsel ve diğer ekolojik faktörlerden kaynaklandığı belirtilmiştir [35-36]. Sawidis vd. (1995) [37] göre *P. australis*' in kökleri ve rizomları, korteks parankima hücrelerinin hücreler arası geniş hava boşluklarına sahip olduğundan dolayı çok miktarda ağır metal biriktirebilir. *P. australis*, metal içeren kentsel ve endüstriyel atık suların arıtılması için inşa edilmiş sulak alanlarda da yaygın olarak kullanılmaktadır [38-40]. Nicholls ve Mal (2003) [41], Pb ve Cu kombinasyonlarının yüksek (1000 mg kg⁻¹) ve düşük konsantrasyonlarında (500 mg kg⁻¹), *Lythrum salicaria* bitkisinin yaprak ve gövdesinin hızlı bir şekilde öldüğünü göstermişlerdir.

Bitki türlerinin yayılış gösterdiği 2 farklı istasyondan alınan toprak örneklerindeki ağır metal konsantrasyonları, Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliğinde [42] verilen topraktaki ağır metal sınır değerlerinin altında tespit edildi (Tablo 3). Yalnızca 1 nolu istasyondaki Fe miktarı bu sınır değerlerinin üzerinde tespit edilmiştir. Toprakta ekstrakte edilebilir Fe miktarı 0,2 mg/kg'ın altında ise az, 0,2- 4,5 mg/kg arasında orta ve 4,5 mg/kg'dan fazla ise genellikle yüksek ve toksik olarak değerlendirilmektedir

[43]. Elde ettiğimiz analiz sonuçlarına bakıldığında toprakta tespit edilen Fe miktarı 1. istasyonda oldukça yüksek olduğundan toksik etki gösterebilir.

Tablo 1. Çalışma alanındaki *Lythrum salicaria*, *Typha angustifolia*, *Phragmites australis* bitkilerinin organlarındaki ağır metal değerleri

TÜRLER	ORGANLAR	Mg	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	Ca
<i>Lythrum salicaria</i>	Kök	82,79	Tespit edilemedi	11,5	9,527	0,02945	0,2494	0,5726	0,003766	Tespit edilemedi	30,090
	Gövde	169,7	0,04479	4,113	28,11	0,1632	0,7524	5,391	0,06151	0,3737	177,500
	Yaprak	119	Tespit edilemedi	3,664	13,74	0,07968	0,4039	1,098	0,000942	Tespit edilemedi	124,000
	Çiçek	282,1	Tespit edilemedi	7,479	36,44	0,2097	0,3008	3,424	0,002511	0,03452	455,200
<i>Typha angustifolia</i>	Kök	177,6	1,732	5,455	15,01	0,7658	1,426	9,544	0,02197	0,002055	2,1
	Gövde	216,7	2,923	110,3	126,5	0,8856	0,2035	2,202	0,008474	0,05249	51,840
	Yaprak	330,9	Tespit edilemedi	56,97	25,21	0,06188	0,2651	1,5	0,04687	0,007628	251,300
<i>Phragmites australis</i>	Kök	133,6	0,07428	2,669	8,475	0,04005	0,8058	3,589	0,03578	0,008429	108,700
	Gövde	180	Tespit edilemedi	7,382	6,835	0,02098	0,7796	7,262	0,01883	0,01223	122,500
	Yaprak	79,72	Tespit edilemedi	2,43	13,51	Tespit edilemedi	0,5462	11,47	0,003138	0,01532	11,62

Tablo 2. Ahlat Sazlıklarında 1. ve 2. istasyonlara ait topraklar numunelerinin ağır metal içerikleri (ppm)

TÜRLER	Mg	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	Ca
Toprak (T1) Ahlat	376,4	Tespit edilemedi	3,261	31,91	0,1435	0,9833	6,929	0,008474	0,02374	369,000
Toprak (T2) Ahlat	495,9	1,335	64,74	1,292	1,538	0,6905	4,847	0,03787	0,7317	96,040

Tablo 3. Topraktaki ağır metal sınır değerleri (mg/kg) (Anonim 2005)

Ağır Metal	pH 5-6 (mg/kg kuru toprak)	pH>6 (mg/kg kuru toprak)
Pb	50	300
Cd	1	3
Ni	30	75
Cr	100	100
Co	80	80
Cu	50	140
Fe	4,5	4,5
Zn	150	300
Mn	70	70

4. Sonuç ve Öneriler

P. australis'in kökleri ve rizomları, korteks parankima hücrelerinin hücreler arası geniş hava boşluklarına sahip olduğundan dolayı çok miktarda ağır metal biriktirebilir. Dolayısıyla bu bitki özellikle ağır metal içeren kentsel ve endüstriyel atık suların arıtılmasında tercih edilebilir. Çalışmada kullanılan bu üç bitki biyo-denetleyici olarak kullanılabilir ve ağır metallerden dolayı ortam koşullarındaki değişikliklerin saptanmasında yararlı olabilirler. Bu nedenle, biyo-izleme programları için su ve sediment ile ilgili çevre kalitesinin nicel değerlendirmesini sağlamada yardımcı olabilirler. Araştırmamız sonucunda çalışma alanından toplanan bu 3 bitki türünün dokularında biriktirdiği Mg, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb ve Ca elementlerinin yoğunluklarının toksisiteye neden olacak seviyelere ulaşmadığı görülmüştür. Ancak incelediğimiz bitki türleri arasında Cr ağır metali bakımından hiperakümülyasyon özelliği diğerlerine göre en yüksek olan tür *Typha angustifolia* bitkisidir. Ayrıca bu bitki türü FAO/WHO'nun bitkilerde kabul ettiği Cr sınır değerinin üzerinde olduğu görülmüştür. Dolayısıyla *Typha angustifolia* bitkisi Cr bakımından kirlenmiş toprakların temizlenmesinde denenebilir.

Teşekkür

Bu çalışma 2017/13 nolu proje kapsamında Bitlis Eren Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projeleri Koordinatörlüğüne (BEBAP) tarafından desteklenmiş olup ikinci yazarın yüksek lisans tezinden özetlenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Philips D.H., Rainbow P.S. 1994. Biomonitoring of trace aquatic contaminants. Fenviron, 87, London.
- [2] Bergman H.L., Kimerle R.A., Maki A.W. 1986. Environmental hazard assesment of effluents. Pergamon Press. New York.
- [3] Chen Y.C., Chen M.H. 2001. Heavy metal concentrations in nine species of fishes caught in coastal waters of Ann-Ping. S.W. Taiwan. Journal of Food and Drug Anal., 9 (2): 107-114.
- [4] Henderson-Sellers B., Markland H.R. 1987. "Decaying lakes," The origins and control of cultural eutrophication, John Wiley and Sons Publication. New Jersey. [5]
- [6] Kocataş A. 1996. Ekoloji ve Çevre Biyolojisi, Ege Üniv. Su Ürünleri Fak. Yayınları No: 51, Ege Üniv. Basımevi. İzmir.
- [7] Rai U.N., Tripathi R.D., Vajpayee P., Vidyanath J., Ali M.B. 2002. Bioaccumulation of toxic metals (Cr, Cd, Pb and Cu) by seeds of *Euryale ferox* Salisb (Makhana). Chemosphere, 46: 267–272.
- [8] Rainbow P.S. 1995. Biomonitoring of Heavy Metal Availability in the Marine Environment. Mar Poll Bull., 31: 183-192.
- [9] Serfor-Armah Y., Nyarko B.J.B., Osae E.K., Carboo D., Seku F. 2001. Rhodophyta Seaweed Species as Bioindicators for Monitoring Toxic Element Pollutants in the Marine Ecosystem of Ghana. Wat, Air, and Soil Poll., 127: 243-253.
- [10] Taylan Z.S., Özkoç H.B. 2007. Potansiyel ağır metal kirliliğinin belirlenmesinde akuatik organizmaların bio kullanılabilirliği. BAÜ FBE Dergisi, 9 (2): 17-33.
- [11] Farooq M., Anwar F., Rashid U. 2008. Appraisal of Heavy Metal Contents in Different Vegetables Grown in the Vicinity of an Industrial Area. Pak. J. Bot., 40 (5): 2099-2106.
- [12] Novotny V, 1995. Diffuse Source of Pollution by Toxic Metals and Impact on Waters, Heavy Metals Problems and Solutions, Salamons, W., Förstner, U and Mader, P. (Eds.). Springer Verlag., 412-413. [13]
- [14] Akbıyık F. 2012. Felent Çayı'nda mikro ve makro elementlerin biyotik ve abiyotik öğelerde birikimlerinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- [15] Halim M., Conte P., Piccolo A. 2003. Potential Availability of Heavy Metals to Phytoextraction from Contaminated Soils I by Exogenous Humic Substances. Chemosphere, 52: 265.
- [16] Samarghandi M.R., Nouri J., Mesdaghinia A.R., Mahvi A.H., Nasser S., Vaezi F. 2007. Efficiency Removal of Phenol, Lead and Cadmium by Means of UV/TiO₂/H₂O₂ Processes. Int J of Environ Sci and Tech., 4: 19-25.
- [17] Long X.X., Yang X.E., Ni W.Z. 2002. Current Status and Perspective on Phytoremediation of Heavy Metal Polluted Soils. J of App Eco., 13: 757-762.
- [18] Blaylock M.J., Huang J.W. 2000. Phytoextraction of Metals. In: Raskin, I. ve Ensley, B.D. (eds.), Phytoremediation of Toxic Metals: Using Plants to Clean-up the Environment. Wiley. New York.
- [19] Salt D.E., Blaylock M., Kumar P.B.A., Dushenkov V., Ensley B.D., Chet I., Raskin I. 1995. Phytoremediation: A Novel Strategy for the Removal of Toxic Metals From the Environment Using Plants. Bio/Tech., 13: 468-474.
- [20] Glass D.J. 2000. The 2000 Phytoremediation Industry. Glass Associates, Needham, MA.
- [21] Arshad M., Silvestre J., Pinelli E., Kallerhoff J., Kaemmerer M., Tarigo A. 2008. A Field Study of Lead Phytoextraction by Various Scented Pelargonium Cultivars. Chemosphere, 71: 2187-2192.
- [22] Shi W. Y., Shao H.B., Li H., Shao M.A., Du S. 2009. Co-Remediation of the Lead Polluted Garden Soil by Exogenous Natural Zeolite and Humic Acids. J of Hazard Mat., 167: 136-140.
- [23] Salt D.E., Smith R.D., Raskin I. 1998. Phytoremediation. Annual Review. P Phys and Plant Mol Bio., 49: 643 – 668.
- [24] Lasat M.M. 2002. Phytoextraction of Toxic Metals: A Review of Mechanisms. J of Environ Qua., 31: 109 – 120.
- [25] Glick B.R. 2003. Phytoremediation: synergistic use of plants and bacteria to clean up the environment. Biotech Advan., 21: 383 – 393.

- [26] Lehoczky É., Németh T., Kiss Z., Szalai T. 2002. Heavy metal uptake by ryegrass, lettuce and white mustard plants on different soils. 7th WCSS, August 14– 21, Thailand.
- [27] Demirezen D. 2002. Sultan Sazlığı ve Çevresindeki Sucul Ekosistemlerde Ağır Metal Kirliliğinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [28] Davis P.H. 1965. Flora of Turkey and the East Aegean Islands vol. 1-9. Edinburgh: Edinburgh University Press.
- [29] Motivans K., Apfelbaum S. 1987. Element stewardship abstract for *Typha* spp., North American cattails. The Nature Conservancy.
- [30] Keddy, P.A., Ellis T.H. 1985. Seedling recruitment of 11 wetland plant species along a water level gradient: shared or distinct responses? Can. J. Bot 63:1876-1879.
- [31] Apfelbaum S.I. 1985. Cattail (*Typha* spp.) management. Natural Areas Journ. 5 (3): 9-17.
- [32] Demirezen D., Aksoy A. 2004. Accumulation of heavy metals in *Typha angustifolia* (L.) and *Potamogeton pectinatus* (L.) living in Sultan Marsh (Kayseri, Turkey). Chemosphere, 56: 685-696.
- [33] Madejón P., Marañón T., Murillo J.M., Robinson B. 2004. White poplar (*Populus alba*) as a biomonitor of trace elements in contaminated riparian forests. Environ. Pollut., 132: 145–155.
- [34] Chaney R.L. 1989. Toxic element accumulation in soils and crops: protecting soil fertility and agricultural food chains. In: Bar-Yosef B, Barrow N.J, Goldshmid J. (Eds.), Inorganic Contaminants in the Vadose Zone. Springer-Verlag, Berlin, 140–158.
- [35] Allen S.E. 1989. Analysis of Ecological Materials. 2nd. ed., Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- [36] Duman F. 2001. Sarımsaklı - Karasu’da yetişen *Phragmites australis* (Cav.) Trin ex.steud ve *Typha angustifolia* L. Bitkileri ve Bunları Çevreleyen Sedimentlerde Ağır Metal Tayini, Y. Lisans Tezi, E. Ü. Fen Bil. Enst., Kayseri.
- [37] McKee J., Richards A.J. 1996. Variation in seed production and germinability in common reed (*Phragmites australis*) in Britain and France with respect to climate, New Phytologist, 155, 233-243.
- [38] McNaughton S.J., Folsom, T. C., Lee T., Park F., Price C., Roeder D., Schmitz J., Stockwell C. 1974. Heavy metal tolerance in *Typha latifolia* without the evolution of tolerant races, Ecology, 55: 1163-1165.
- [39] Sawidis T., Chettri M. K., Zachariadis G. A., Stratis J. A. 1995. Heavy metals in aquatic plant and sediments from water system in Macedonia , Greece , Ecotoxicol. Environ. Safety, 32: 73-80.
- [40] 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. Environ. Pollut., 144: 967–975.
- [41] Lesage E., Rousseau D.P.L., Meers E., Tack F.M.G., De-Pauw N. 2007. Accumulation of metals in a horizontal subsurface flow constructed wetland treating domestic wastewater in Flanders, Belgium. Sci. Total Environ., 380: 102–115.
- [42] Vymazal J., Svehla J., Kröpfelová L., Chrástný V. 2007. Trace metals in *Phragmites australis* and *Phalaris arundinacea* growing in constructed and natural wetlands. Sci. Tot Env., 380: 154–162.
- [43] Nicholls A.M., Mal T.K. 2003. Effects of lead and copper exposure on growth of an invasive weed, *Lythrum salicaria* L. (Purple Loosestrife). Ohio Journal of Science, 103: 129–133
- [44] Anonim 2005. Resmi Gazete. Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği. 31/05/2005 tarihli, 25831 sayılı.
- [45] Lindsay W.L., Norvell W.A. 1978. Development of a DTPA Soil Test for Zinc, Iron, Manganese and Copper. Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 421- 428.