

## Bazı Tarım Bitkileri Kullanılarak Arıtma Çamurundan Kurşun Kirliliğinin Şelat Destekli Fitoremediasyon Yöntemiyle Giderilmesi

Dudu Duygu KILIÇ<sup>1\*</sup>

Aslıhan İPEK<sup>1</sup>

**ÖZET:** Fitoremediasyon, toprak, yer altı, yer üstü sularının hatta havadaki kirleticilerin ortadan elemine edilmesinde bitkilerin kullanıldığı bir yöntemdir. Bu çalışmada, *Allium cepa* L. (soğan), *Chenopodium quinoa* Willd. (kinoa) ve *Brassica napus* L.(kanola) türleri kullanılarak arıtma çamurundan Pb elementinin fitoremediasyon yöntemi ile temizlenmesi araştırılmıştır. Ayrıca fitoremediasyon kapasitesini arttırmak üzere kompleks yapıcı şelat ilave edilip, bitkilerin element giderim performanslarındaki değişimler gözlenmiştir. Ağır metal gideriminde şelat desteği olarak EDTA, hümitik asit, 1-10 fenantrolin, nitro ve pridin kullanılmıştır. Tolerans İndeksi (Tİ) değerleri incelendiğinde şelat ilavesinin bitkilerin gelişimi ve kuru ağırlık miktarlarında değişikliğe neden olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada bitkilerin kök, gövde ve yapraklarında ağır metal biriktirme miktarları incelenmiş ve türlerin köklerinde biriktirmenin daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Özellikle hümitik asit, EDTA ve nitro şelatının kullanıldığı deneme saksılarında ağır metal biriktirme miktarı daha yüksek bulunmuştur. Taşıma Faktörü (TF) değerleri incelendiğinde EDTA, hümitik asit, piridin ve 1-10 feontralin şelatında *A. cepa*>*C. quinoa*> *B. napus*, nitro şelatında ise *C. quinoa*> *A. cepa*>*B. napus* bulunmuştur. En etkili birikim ise *A. cepa* ve *C. quinoa* türlerinde gerçekleşmiştir. Hiperakümülatör olarak bilinen *B. napus* nitro, piridin ve 1-10 fenantrolin şelatları eklendiği zaman bu özelliğini göstermediği belirlenmiştir. Türlerin Pb elementini köklerde biriktirme ve üst organlara taşınmasının şelat ekleme ile arttığı tespit edilmiştir. Buna göre, ağır metal alımını arttırmak için hümitik asit, EDTA ve nitro kullanılabileceğini göstermektedir.

**Anahtar kelimeler:** *Allium cepa*, *Chenopodium quinoa* ve *Brassica napus*, arıtma çamuru, fitoremediasyon, şelat

### Removal of Lead Pollution from Treatment Sludge by Chelate Supported Phytoremediation Method Using Some Agricultural Plants

**ABSTRACT:** Phytoremediation is a method that plants are used to eliminate the pollutants in soil, underground, surface water and even in weather. In this study, the removal of Pb element from treatment sludge by phytoremediation method using *Allium cepa*, *Chenopodium quinoa* and *Brassica napus* species was investigated. In addition, complex builder chelate was added to increase the phytoremediation capacity, and changes in the element removal performance of the plants were observed. EDTA, humic acid, 1-10 phenanthroline, nitro, pridin were used as chelate support in heavy metal removal. When Tolerance Index (TI) values were examined, it was determined that the addition of chelate caused a change in the growth of plants and dry weight. In the study, the amount of heavy metal deposition in the root, stem and leaves of the plants was investigated and it was determined that accumulation in the roots of the species was higher. According to the results obtained in the study, It was determined that the accumulation in the roots of the species is more. Especially in the test pots using humic acid, EDTA and Nitro chelate, the accumulation was higher. When TF values were examined, *A. cepa*>*C. quinoa*>*B. napus* in EDTA, the Humic acid, the pyridine and the 1-10 Phenanthroline chelate and *C. quinoa*>*A. cepa*>*B. napus* in nitro chelation were found. The most effective accumulation occurred in *A. cepa* and *C. quinoa* species. It was determined that *B. napus*, known as the hyperaccumulator, did not show its property when nitro, pyridine and 1-10 phenanthroline chelates were added. It was determined that accumulation of Pb in the roots and transportation of the element to the upper organs by the Species increases with chelate addition. Accordingly, it is revealed that humic acid, EDTA and nitro can be used to increase heavy metal intake. As a result, in order to use the augmentation mud in agriculture, it needs to be purified from the substances that can damage the living things. Chelate assisted phytoremediation method can be used to remove heavy metal contamination and increase heavy metal uptake from the soil.

**Keywords:** *Allium cepa*, *Chenopodium quinoa* ve *Brassica napus*, treatment sludge, fitoremediasyon, chelate

<sup>1</sup> Dudu Duygu KILIÇ (Orcid ID: 0000-0001-6425-6062), Aslıhan İPEK (Orcid ID: 0000-0003-0563-8874), Amasya Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü, Amasya, Türkiye

\*Sorumlu yazar/Corresponding Author: Dudu Duygu KILIÇ, drduygukilic@gmail.com

\* Makalenin bir bölümü 21-22 Nisan 2018 tarihinde Mardin’de düzenlenen International Journal On Mathematic, Engineering & Natural Sciences. Kongresinde sözlü bildiri olarak sunulmuştur.

## GİRİŞ

Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliğine göre arıtma çamuru, kentsel atıksu arıtma tesislerinden çıkan ham veya stabilize olmuş çamuru; olarak tanımlanmıştır (Anon, 2006). Arıtma çamurları, su ve atıksu arıtma tesislerinin işletilmesi sırasında oluşan bir yan üründür. Arıtma çamuru çoğunlukla organik madde ve besin yüklü organik katılardan oluşan ve arıtma tekniğine bağlı olarak kıvamlı bulamaç yada kuru formda değişebilen konsantre katılar süspansiyonudur (Topcuoğlu, 2003). Ancak içeriği şehirselleşen ya da fabrika atık suyunun içeriğine bunların arıtılma şekline ve yöntemine göre değişmekle birlikte içerdikleri yüksek oranda N, P, ve K gibi besin maddeleri ile ağır metaller çevre kirliliğine neden olabilmektedir (Kumar, 2018). Arıtma çamurlarını uzaklaştırma yöntemleri arasında; tarımda kullanma, ormancılık ve verimsiz arazilerin ıslahı, depolama, yakma, kompostlamada katkı maddesi olarak kullanma, göl ve denizlere deşarj şeklinde olmaktadır (Tüfekçi ve ark., 2008). Çevre kirliliğine neden olan ağır metallerin başında kurşun gelmektedir. Kurşun; hava, su ve toprak gibi yollarla; besinlere, besin döngüsü yoluyla da canlılara geçebilir (Kahvecioğlu ve ark., 2004; Aslanhan, 2012). Doğal olarak tüm topraklarda bulunan Pb tarım alanlarında konsantrasyonu  $100 \text{ mg kg}^{-1}$ , ekstrakte edilebilir miktarı ise  $4 \text{ mg kg}^{-1}$  aştığında potansiyel olarak bitki ve insan sağlığı bakımından bir sorun oluşturmaktadır (Chapman, 1971; Durust ve ark., 2004; Pak, 2011). Toprakta ve suda antropojenik kökenli olan çevresel toksinleri azaltmak ve kullanılabilir duruma geri getirmek amacıyla pek çok yöntem geliştirilmiştir bunlardan biri de fitoremediasyondur. Mekanik temizleme yöntemine göre oldukça ekonomik ve çevre dostu olan bu yöntemde hiperakümülatör bitkiler kullanılır. Fitoremediasyon yöntemi ise son zamanlarda gelişmekte olan bir teknolojidir ve maliyet verimi, uzun dönem uygulanabilirliği

sebebiyle kirlenmiş sahalar için uygulanabilmektedir (Laghlimi ve ark., 2015). Toprak üstü organlarında topraktaki metal konsantrasyonundan 50 ila 500 kat daha fazla metal biriktirebilen bitkiler hiperakümülatör olarak adlandırılmaktadır (Clemens, 2006; Özay ve Mammadov, 2013). Yaklaşık 450 bitki türü (angiospermlerin sadece %0.2'si) hiperakümülatör olarak tanımlanmıştır (Reeves, 2006). Asteraceae, Brassicaceae, Fabaceae Lamiaceae bu özelliğe sahip familyalara örnek olarak verilebilir. Fitoremediasyon yönteminde bitkilerin akümülatör özelliklerini arttırmak amacıyla toprağa şelat ilavesi yapılmaktadır. Şelat ilavesi topraktaki metallerin toprak içerisindeki hareketlerini arttırmak ve bitki bünyesi tarafından alınmasını kolaylaştırmaktır (Adiloğlu ve ark., 2015). Araştırmada kullandığımız şelatlar hümik asit, EDTA, 1-10 fenantrolin, nitro, pridindir. EDTA, dietilentritrilopentaasetik asit (DTPA), nitrilotriasetik asit (NTA), piridin-2,6-dikarboksilik asit (PDA) gibi sentetik şelatlama maddeleri, hem toprakta Pb'nin bulunabilirliğini hem de köklerden sürgüne translokasyonu arttırmak için önerilmiştir (De la Rosa ve ark., 2004; Ehsan ve ark., 2007; Andra ve ark., 2009; Lambrechts ve ark., 2011; Zaier ve ark., 2014). Piridin, nitro ve 1-10 -fenantrolin ligandı ve türevlerinin metal şelatlayıcı özellikleri analitik kimyada, bioorganik araştırmalarda ve koordinasyon kimyasında sıklıkla kullanılmaktadır (Duman 2007). Hümik asit ise bitki ve hayvan artıklarının parçalanmasından ve yeniden sentezlenmesinden meydana gelir. Humusun en aktif maddesi olup metallerle bağ oluşturma, ağır metallerin toksik etkisini azaltıcı etkisi vardır. (Meisel ve ark., 1977; McGarthy, 2001; Gerzabek ve ark., 1990; Waldigri ve ark., 1996).

Bu çalışmada, *Allium cepa* L. (soğan), *Chenopodium quinoa* Willd. (kinoa) ve *Brassica napus* L. (kanola) türleri kullanılarak arıtma

çamurundan Pb elementinin fitoremediasyon yöntemi ile temizlenmesi araştırılmıştır.

## MATERYAL VE YÖNTEM

Deneme Amasya ili, Merzifon ilçesinde kurulmuştur. Yapılan araştırma bir saha çalışması simülasyonu olduğu için açık bir alanda kurulmuş ve çalışma burada yürütülmüştür. Samsun Atıksu Arıtma Tesisinden arıtma çamuru elde edilmiştir. Her bir bitki türü için, tam şansa bağlı deneme desenine göre 3 tekerrülü olmak üzere; 5 adet şelat ve bir adet kontrol grubu saksısı olacak şekilde, saksılara 2000 g arıtma çamuru konulmuştur. Üç bitki türü için ayrı ayrı olmak üzere saksılara *A. cepa* türü için ticari 1 numara arpacık tohumu 10 adet, *C. quinoa* (TİTİCACA) ve *B. napus* (LİCORD) türlerinin tohumları ise 20 adet ekilmiştir. Bitkiler vejetatif büyümelerini tamamlamalarından sonra (8 hafta) toprağa her birinden 5 mmol kg<sup>-1</sup>şelat eklenmiştir. Şelat eklenmesinden dört hafta sonra bitkiler hasat edilmiştir. Hasat edilen bitki örnekleri etüvde 70 °C'de kurutulmuş ve ardından öğütülerek analizlere hazır hale getirilmiştir. Bitkilerde kök, gövde ve yaprakta ağır metal analizi yapılmıştır. Kurşun ağır metal analizleri, mineralizasyonu mikrodalga çözümüleme sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, belirli miktardaki örnek cam bir kap içerisine konularak üzerine yeterince % 65'lik nitrik asit ilave edilip ve 50 °C'de 2 saat süre ile karıştırılmak suretiyle parçalanmıştır. Metal miktarları İndüktif Eşleşmiş Plazma-Optik Emisyon Spektrometri (ICP-OES) yöntemi ile belirlenmiştir. Yaprak kuru madde miktarının belirlenmesi için, her bir türe ait bireylerden belirli sayıda en gelişmiş ve en büyük yapraklar seçilmiş ve materyal olarak bu yapraklar kullanılmıştır. Hasat sırasında seçilen 4'er bitki hassas terazide tartılıp gram olarak yaş ağırlıkları belirlenmiş daha sonra 65°C'de etüvde 48 saat kurutulduktan sonra kuru ağırlıkları da g olarak belirlenmiştir (Kaçar, 2008). Yaprakların kuru madde miktarı,

kuru ağırlığın yaş ağırlığa oranının yüzdesi olarak hesaplanmıştır. Bitki boyu, cetvel ile toprak üzerinden ölçülmüştür.. Bitkilerin ağır metalleri tolere etme ve biriktirme kabiliyetini belirlemek amacıyla translokasyon faktörü (TF) ve biyokonsantrasyon faktörü (BCF) kullanılmıştır (Yoon ve ark., 2006).

Biriktirme Faktörü (BCF) = Hasat edilen bitkideki ağır metal derişimi/Toprak ağır metal derişimi

Taşıma Faktörü (TF)=Sürgün ağır metal derişimi/Kök ağır metal derişimi

Bitki büyüme indeksi olarak tolerans indeksi (Tİ), kök ve yeşil aksam uzunluğu, kök ve yeşil aksam yaş ve kuru maddesi gibi bitki büyüme parametrelerini esas alır ve şu şekilde hesaplanır (Wilkins, 1978).

Tolerans İndeksi Tİ (%) = (Metal Uygulanan Bitki Büyüme Parametreleri/ Kontrol Bitki Büyüme Parametreleri) x 100

## BULGULAR VE TARTIŞMA

Amasya ilinin ilçesi olan Merzifon 710 m rakıma sahip olup 35°-36° doğu boylamı ile 40.36'-40°.-55' kuzey enlemleri arasında yer almakta olup Merzifon ilçesinin yıllık ortalama sıcaklığı 11.5°C iken yıllık ortalama yağış miktarı 418 mmdir. Yılın en kurak ay ortalaması 13 mm yağışla Ağustos ayı iken en fazla yağış ortalaması 59 mm yağış ile Mayıs ayında görülmektedir. Kuru ağırlık tolerans İndeksi (Tİ) değerleri incelendiğinde arıtma çamurunda yetiştirilen *B. napus* türü için en iyi gelişim 1-10 fenantrolin içeren saksılarda gerçekleşmiştir. *C. quinoa* ve *A. cepa* türlerinde ise şelat ilavesinin, kuru ağırlık miktarında önemli bir düşüşe neden olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 1). Bitki gelişiminin ve kuru madde miktarı azalışının, ağır metal ve mikro element alınabilirliklerinin artmasına bağlı olarak besin elementleri alımı arasındaki dengenin bozulmasının bir sonucu olduğu kabul edilmektedir (Chen ve ark., 2000, Turan ve Angın 2004, Turgut ve ark., 2004,

Turan ve ark., 2007). Şelat uygulanan topraklarda faydalı besin maddelerinin alımı ile birlikte ağır metal miktarın alımın artması bitkinin kök, gövde yaprak kuru madde miktarının azalmasına sebep olduğu çalışmada bildirilmiştir (Nascimento ve ark., 2006). Bazı

çalışmalarda ise sentetik şelat maddesinin eklenmesinin bitki büyümesinde belirgin bir ters etkiye sahip olabileceğini belirtmektedir (Lai ve Chen 2005; Quartacci ve ark., 2006, Ben Rejeb ve ark., 2013; Zaier, 2014).

**Çizelge 1.** Arıtma çamuru kullanılan şelat karışımlarında yetiştirilen türlerinin, hasat öncesi bitki organlarının uzunlukları, yaş ağırlıkları, kuru ağırlıkları ve tolerans indeksi (Tİ) değerlerinin ortalamaları

	Kök Boyu (cm)	Kök (Tİ)	Gövde Boyu	Gövde (Tİ)	Yaprak Boyu	Yaprak (Tİ)	Yaş ağırlık	Yaş Ağırlık Tİ	Kuru ağırlık	Kuru ağırlık Tİ	
<i>B. napus</i>	EDTA	12*±0.01**	100	38±0.758	95	21±0.4	91	2.38±0.05	91	0.64±0.002	94
	Nitro	11±0.02	92	42±0.548	105	22±0.012	96	2.44±0.020	93	0.66±0.001	97
	Piridin	11±0.02	92	39±0.424	98	22±0.125	96	2.75±0.012	105	0.73±0.001	107
	1.10 Fenantrolin	13±0.01	108	40±0.415	100	25±0.356	109	3.05±0.020	117	0.78±0.002	115
	Hümkik asit	12±0.05	100	40±0.523	100	26±0.200	113	2.42±0.056	93	0.59±0.002	87
	Kontrol	12±0.03	100	40±0.113	100	23±0.120	100	2.61±0.024	100	0.68±0.005	100
<i>C. quinoa</i>	EDTA	7±0.02	100	14±0.123	108	4±0.130	100	1.33±0.023	96	0.21±0.002	36
	Nitro	6±0.01	86	13±0.362	100	5±0.262	125	1.68±0.065	122	0.28±0.005	47
	Piridin	6±0.01	86	15±0.147	115	3±0.120	75	1.47±0.055	107	0.26±0.002	44
	1.10 Fenantrolin	7±0.02	100	13±0.389	100	3±0.125	75	1.22±0.012	88	0.18±0.003	31
	Hümkik asit	8±0.05	114	11±0.256	85	4±0.125	100	1.19±0.01	86	0.14±0.005	24
	Kontrol	7±0.05	100	13±0.317	100	4±0.37	100	1.38±0.02	100	0.59±0.001	100
<i>A. cepa</i>	EDTA	4±0.03	100	..	..	12±0.852	109	2.01±0.03	111	0.22±0.001	37
	Nitro	5±0.02	125	..	..	12±0.260	109	1.72±0.012	95	0.18±0.001	31
	Piridin	4	100	..	..	110±0.136	100	1.79±0.015	99	0.19±0.002	32
	1.10 Fenantrolin	4	100	..	..	11±0.332	100	1.64±0.013	91	0.13±0.003	22
	Hümkik asit	5	125	..	..	10±0.140	91	1.88±0.025	104	0.22±0.001	37
	Kontrol	4	100	..	..	11±0.502	100	1.81±0.026	100	0.59±0.001	100

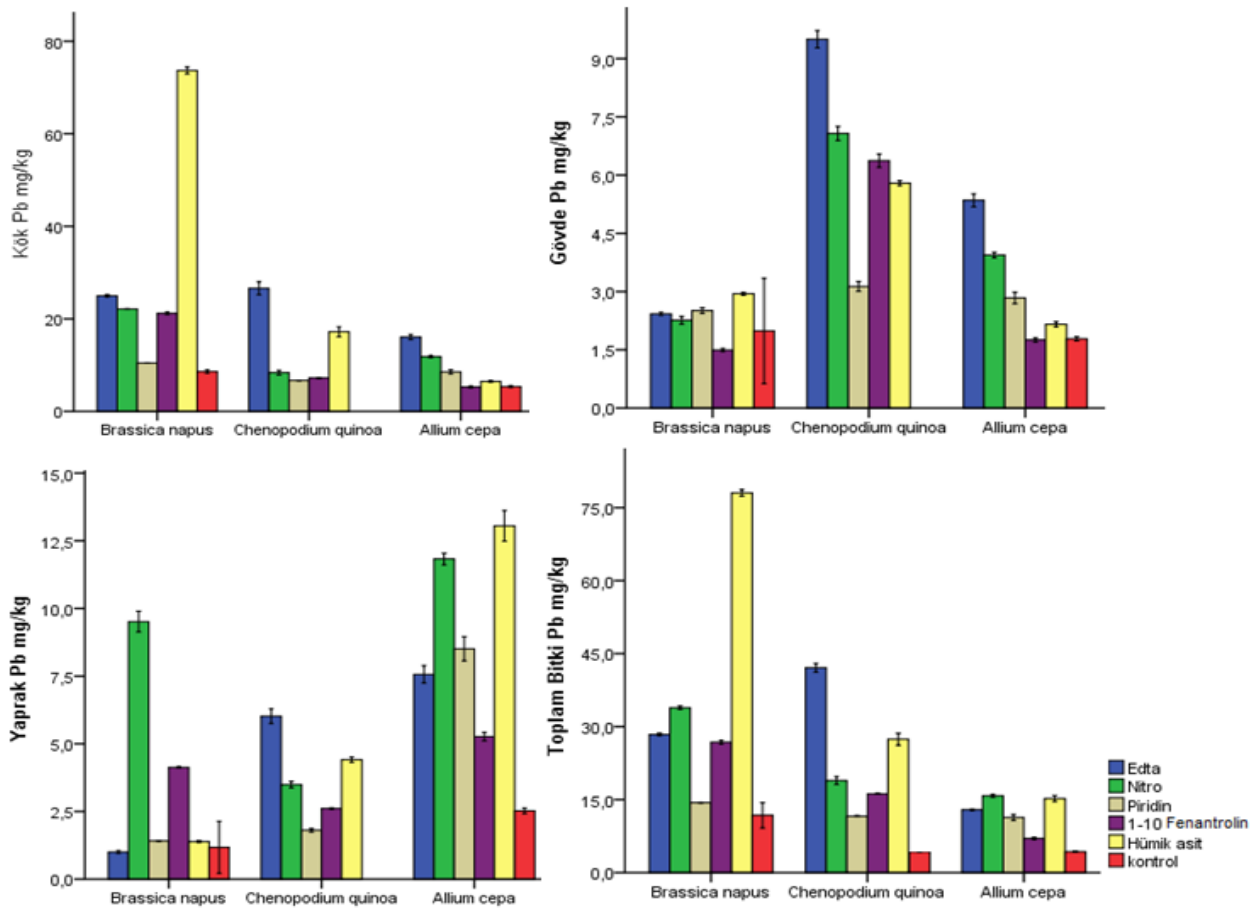
(\*Ort±\*\*SE: Ortalama ± Standart Hata)

*B. napus* türünün köklerindeki en yüksek Pb birikimi Hümkik asit (73.68 ±0.30) şelatında, en düşük birikim Piridin şelatında (10.44±0.01), *C. quinoa* türünün köklerindeki en yüksek birikim EDTA (26.60±0.56) şelatında, en düşük birikim piridin (06.67±0.005) şelatında, *A. cepa*'da en yüksek birikim EDTA (16.05±0.21)'da olup en düşük birikim 1-10 Fenantrolin (5.27±0.755)'de bulunmuştur (Şekil 1). *B. napus* türünün gövdelerindeki en yüksek Pb birikimi Hümkik

asitte (2.945± 0.01) en düşük birikim ise 1-10 Fenantrolin (1.4950± 0.01) şelatı içeren saksılarda gerçekleştirmiştir. *C. quinoa* gövdesinde EDTA en yüksek Pb birikim (9.500± 0.09) olup en düşük birikim ise Piridin şelatında (3.130± 0.05) bulunmuştur. *A. cepa* türünde ise en yüksek birikim EDTA şelatında (5.351 ±0.067) gerçekleşmiştir (Şekil 1). *B. napus* türünün yapraklarına ait Pb değerleri incelendiğinde en yüksek birikim nitro şelatında

( $9.515 \pm 0.155$ ), en düşük birikim ise EDTA şelatında ( $1.01 \pm 0.02$ ) görülmüştür. *C. quinoa* türünde yapraklarında en yüksek birikim EDTA şelatı ( $6.02 \pm 0.11$ ) en düşük birikim Piridin şelatı ( $1.80 \pm 0.02$ ) ilave edilen saksılarda tespit edilmiştir. *A. cepa* türünde en yüksek birikim Hümik asit ( $4.41 \pm 0.04$ ) en düşük birikim ise 1-10 Fenantrolin verilen ( $2.26 \pm 0.06$ ) saksılarda

tespit edilmiştir (Şekil 1). Bitkide toplam Pb birikimine göre *B. napus* türünde en yüksek birikim hümik asit ilave edilen arıtma çamurunda ( $78.02 \pm 0.275$ ), *C. quinoa*'da ise EDTA ( $42.120 \pm 0.360$ ), *A. cepa*'da ise hümik asit ( $15.206 \pm 0.255$ ) ve nitro ( $15.766 \pm 0.115$ ) ilave edilen saksılarda bulunmuştur.



**Şekil 1.** Arıtma çamurunda yetiştirilen türlere ait kök, gövde, yaprak ve toplam bitkide bulunan Pb ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) değerleri

Bütün türlerde en düşük birikim piridin ( $11.350 \pm 14.366$ ) ve 1-10 fenantrolin ( $7.02 \pm 16.197$ ) içeren saksılarda bulunmuştur (Şekil 1). Çalışmada elde edilen sonuçlar doğrultusunda türlerin köklerinde biriktirmenin, yaprak ve gövdeye göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Özellikle hümik asit, EDTA ve nitro şelatının kullanıldığı deneme saksılarında biriktirmenin daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Kirlenmemiş topraklarda yetişen farklı bitkilerdeki Pb konsantrasyonu  $0.05$  ve  $20 \mu\text{g g}^{-1}$  arasında değişmektedir (Bowen, 1979; Kabata-Pendias ve

Pendias, 2001). Bitkilerdeki Pb konsantrasyonunun 0.03 ila 70 mg kg<sup>-1</sup> arasında değişmekte olduğunu ve kök dokularında daha yüksek birikim gözlemlendiğini bildirilmiştir (Carranza-Alvarez ve ark.,2008; Kumar ve ark., 2013). Araştırmada üç türde de kök bölgesinde biriktirme daha fazla bulunmuştur. Türlerin Pb elementini köklerde biriktirme ve üst organlara taşınması şelat ekleme ile arttığı tespit edilmiş olup bitkilerin büyüme özellikleri göz önüne alındığında, ağır metal alımını artırmak için hümik asit, EDTA ve nitro kullanılabileceği ortaya çıkmaktadır.

Ayrıca yapılan birçok çalışmada da EDTA'nın Pb için yüksek bağlayıcı kapasitesinin olduğu (Blaylock ve ark., 1997; Tai ve ark., 2007; Najep ve ark., 2017; Garcla ve ark., 2017) ve EDTA şelatının uygulama dozlarının artması ile Pb alımını arttırdığı belirlenmiştir (Lai ve Chen, 2005). Hümik asitlerin toprağa eklenmesi bitkilerin topraktan

ağır metal alımını arttırdığı bildirilmiştir (Li ve Shuman, 1996; Halim ve ark., 2003; Evangelou ve ark., 2004) Çalışmamızda da benzer sonuçlar elde edilmiştir. Hümik asitin bitkilerde ağır metal biriktirme yeteneğinin geliştirmesinin nedeninin toprak pH'sını düşürmesi düşünülmektedir. Vargas ve ark.,(2016) *Chrysopogon zizanioides* türü ile yaptıkları çalışmada ise ticari humik asitin 10–20 g kg<sup>-1</sup> oranlarında uygulanması bitkiler tarafından Cu alımını ve köklerdeki birikimi geliştirdiğini ancak Zn'nin bitki tarafından alınmasını da sınırladığını bildirmiştir. Deney sonucunda arıtma çamurunda en düşük kurşun değerlerine bakıldığında *B. napus* türünün yetiştirildiği saksılarda 1-10 fenantrolin (37.765±0.175), *C. quinoa* türünün yetiştirildiği saksıda nitro (20.10±0.02) ve *A. cepa* türünün bulunduğu saksılarda piridin (23.635±0.355) olarak ölçülmüştür (Çizelge2).

**Çizelge 2.** Deney öncesi ve sonrası saksılarda bulunan arıtma çamurunda Pb (mg kg<sup>-1</sup>) değerleri

Şelat	Pb			
	<i>B. napus</i>	<i>C. quinoa</i>	<i>A. cepa</i>	
Deney öncesi Arıtma çamuru	220.353*±2.223**	219.435±1.250	217.369±2.632	
EDTA	70.925±0.225	60.175±0.022	43.795± 0.105	
Hümik asit	74.5050±0.565	58.73± 0.311	4.377±0.105	
Deney sonrası Arıtma çamuru	Nitro	51.765±0.165	20.10±0.02	34.655±0.075
Piridin	90.155±0.55	36.415±0.095	23.635±0.355	
1-10 Fenantrolin	37.765±0.175	58.73±0.31	44.275±0.205	
Kontrol	180.23±0.5889	192.23±0.25	196.23±0.105	

(\*Ort±\*\*SE: Ortalama ± Standart Hata)

BCF, bitkilerde metal birikim etkinliğinin değerlendirilmesi için, TF ise bitkinin köklerinden üst organlarına metallerin yerini değiştirme kapasitesini değerlendirmek için kullanılır. *B. napus* türünde hümik asit şelatında ve kontrol grubunda BCF değeri 1'den büyük diğer şelatlarda ise BCF değeri 1' den küçüktür.*C. quinoa* türünde EDTA şelatında ve kontrol grubunda BCF değeri 1'den büyük diğer

şelatlarda BCF değeri 1 den küçüktür. *A. cepa* türünde ise bütün şelatlarda BFC değeri 1'den küçüktür. Taşıma faktörlerine göre *B. napus* ve *C. quinoa* türlerinden en yüksek değer nitro şelatı eklenen saksılarda iken *A. cepa* türünde ise en yüksek değer piridin ve 1-10 fenantrolin şelatları eklenen saksılarda bulunmuştur (Çizelge 3).

**Çizelge 3.** Denemede kullanılan türlerin arıtma çamuru karışımlarında Pb için biyokonsantrasyon faktörü (BCF) ve taşıma faktörü (TF) değerleri

Şelat	N	BCF			TF		
		B. napus	C. quinoa	A. cepa	B. napus	C. quinoa	A. cepa
EDTA	9	0.406*±0.0002**	1.244±0.942	0.524±0.397	0.137±0.008	0.583±0.019	0.804±0.013
Hümkik asit	9	1.047±0.0004	0.8171±0.469	0.187±0.059	0.058±0.0006	0.594 ±0.011	2.350±0.012
Nitro	9	0.654±0.004	0.547±0.132	0.325±0.026	0.532±0.005	1.268±0.016	1.200±0.520
Piridin	9	0.159±0.001	0.369±0.088	0.353±0.0110	0.376±0.004	0.739±0.003	1.512±0.04
1-10 Fenantrolin	9	0.709±0.004	0.290±0.0245	0.199±0.139	0.266±0.0001	1.244±0.019	1.511±0.001
Kontrol	9	1.335±0.007	2.333±0.020	1.017±0.060	0.137±0.001	0.584±0.020	0.483±0.009

(\*Ort±\*\*SE: Standart Hata)

Şelat eklenen saksılarda yetişen bitkilerin Pb değerlerinin yüksek çıkma nedeninin kullanılan şelatlaştırıcı kimyasallar ile metallerin kompleks oluşturmaları ve bu komplekslerin bitkinin üst organlarına doğru daha kolay taşınabilmeleri olduğu düşünülmektedir. TF değerleri incelendiğinde EDTA, hümkik asit, piridin ve 1-10 fenantrolin şelatlarının kullanıldığı saksılarda *A. cepa*>*C. quinoa*> *B. napus*, nitro şelatının kullanıldığı saksılarda ise *C. quinoa*> *A. cepa*>*B. napus* bulunmuştur. En etkili birikim ise *A. cepa* ve *C. quinoa* türlerinde gerçekleşmiştir. Kirkham (2000) *Helianthus annuus* kullanarak EDTA şelatı ile arıtma çamurundan Cd, Pb, Cr elementlerinin alınımı araştırmış ve EDTA ilavesinin bitki tarafından Pb ağır metal alınımı arttırdığını ifade etmiştir. Hiperakümülatör olarak bilinen *B. napus*'un nitro, piridin ve 1-10 fenantrolin şelatları eklendiği zaman bu özelliğini göstermediği belirlenmiştir. Aşırı biriktirici (hiperakümülatör) bitkilerde TF>1 olması her zaman esastır. TF değerine göre *A. cepa* türü her üç şelatta ve *C. quinoa* türü ise nitro ve 1-10 fenantrolin şelatları eklenen topraklarda yetiştirildiği zaman hiperakümülatör özellik göstermektedir. Kumar ve Chopra (2018) *Trapa natans* türünü kullanarak yaptıkları çalışmada Pb nin, kök bölgesinde daha çok biriktiğini ve türün arıtma

çamurlarında kirlilik yükünü azaltmak için kullanılabileceğini ifade etmişlerdir. Placek ve ark. (2016) *Pinus silvestris*, *Picea abies* ve *Quercus robur* türlerini kullanarak arıtma çamurundan Cd, Zn ve Pb ağır metallerinin fitoremediasyonu üzerinde yaptıkları çalışmada çam ve ladinin kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Pulford ve ark.,(2002) arıtma çamurunu iyileştirmek için *Salix* türlerinin de kullanılabileceğini de ifade etmişlerdir.

## SONUÇ

BCF değerine göre *B. napus* türünün hümkik asit, *C. quinoa* türünün ise EDTA ilave edilen deneme saksılarında en yüksek Pb birikimi yaptığı tespit edilmiştir. Türlerin Pb elementini köklerde biriktirme ve üst organlara taşınmasının şelat ekleme ile arttığı tespit edilmiştir. Buna göre, ağır metal alınımı artırmak için şelat desteği olarak hümkik asit ve EDTA kullanılabileceğini göstermektedir. Sonuç olarak arıtma çamurunu tekrar kullanabilmek için içindeki canlılara zarar verebilecek maddelerden arındırılması gerekmektedir. Bunun için fitoremediasyon yöntemi de kullanılabilir.

**TEŞEKKÜR**

Bu çalışma Amasya Üniversitesi BAP birimi tarafından (FMB-BAP 17-0246) desteklenmiştir, teşekkür ederiz.

**KAYNAKLAR**

- Adiloğlu S, Adiloğlu A, Açıkgöz FE, Yeniaras T, Solmaz Y, 2015. Labada (*Rumex patens* L.) Bitkisinin Kurşun Kirliliğinin Gideriminde Kullanım Kapasitesinin Araştırılması. *Fen Bilimleri Dergisi*, 3 (2).
- Andra SS, Datta R, Sarkar D, Saminathan SKM, Mullens CP, Bach SBH, 2009. Analysis of phytochelatin complexes in the lead tolerant vetiver grass (*Vetiveria zizanioides* (L.) using liquid chromatography and mass spectrometry. *Environ Pollut.* 157:2173–2183.
- Anonim 2006. <http://mevzuat.basbakanlik.gov.tr> (Erişim tarihi 25.05.2018).
- Aslanhan E, 2012. Çevresel Kirliliklerin Takibinde Kullanılacak Yeni Biyomonitör Bitkiler. Ahi Evran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi Kimya Anabilim Dalı, Kırşehir.
- Ben Rejeb K, Ghnaya T, Zaier H, Benzarti M, Baioui R, Ghabriche R, Wali M, Lutts S, Abdelly C., 2013. Evaluation of the Cd<sup>2+</sup> phytoextraction potential in the xerohalophyte *Salsola kali* L. and the impact of EDTA on this process. *Ecol Eng* 60:309–315.
- Bowen HJM, 1979. *Environmental Chemistry of the Elements*. Academic Press, New York.
- Carranza-Álvarez C, Alonso-Castro AJ, Alfaro-De La Torre, MC, García-De La Cruz R F, 2008. Accumulation and distribution of heavy metals in *Scirpus americanus* and *Typha latifolia* from an artificial lagoon in San Luis Potosí, México. *Water, air, and soil pollution*, 188(1-4): 297-309.
- Chapman H D, 1971 *Proc. Intern. Symp. Soil Fert. Evaln.* New Delhi 1:927-947
- Chen YX, Lin Q, Luo YM, He YF, Zhen SJ, Yu YL, Tian GM, Wong MH 2003. The role of citric acid on the phytoremediation of heavy metal contaminated soil. *Chemosphere*, 50: 807–811.
- Clemens, S. 2001. Molecular Mechanisms of Plant Metal Tolerance and Homeostasis, *Planta* 212:475–486.
- De la Rosa G, Jose R PV, Milka M, Jason GP, Irene CA, Jorge LGT, 2004. Cadmium uptake and translocation in tumbleweed (*Salsola kali*), a potential Cd-hyperaccumulator desert plant species: ICP/OES and XAS studies. *Chemosphere* 55:1159–1168.
- Duman H, 2007. 1-10 fenantrolin türevi bir Schiff bazı ve geçiş metal komplekslerinin sentezi spektroskopik ve termal analizi (Doctoral dissertation). Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Durust N, Durust Y, Tuğrul D, Zengin M, 2004. Heavy metal contents of pinus radiata trees of İzmit (Turkey). *Asian J. of Chemistry*, Vol: 16 (2): 1129- 1134.
- Ehsan S, Prasher SO, Marshall W 2007. Simultaneous mobilization of heavy metals and polychlorinated biphenyl (PCB) compounds from soil with cyclodextrin and EDTA in admixture. *Chemosphere* 68: 150–158.
- Evangelou MW, Daghan H, Schaeffer A, 2004. The influence of humic acids on the phytoextraction of cadmium from soil. *Chemosphere*, 57(3): 207-213.
- García S, Zornoza P, Hernández LE, Esteban E, Carpena RO, 2017. Response of *Lupinus albus* to Pb-EDTA indicates relatively high tolerance. *Toxicological & Environmental Chemistry*, 99(9-10): 1378-1388.
- Gerzabek M.H, Ullah SM 1990. Influence of Fulvic and Humic Acids on Cd and Ni-Toxicity to *Zea Mays* (L.). *Boden Cultur*, 41(2): 115-124.



- Halim M, Conte P, Piccolo A, 2003. Potential availability of heavy metals to phytoextraction from contaminated soils induced by exogenous humic substances. *Chemosphere*, 52(1): 265-275.
- Kabata-Pendias A, Pendias H, 2001. Trace Elements in Soils and Plants. CRC Press, Inc., Boca Raton, FL, USA.
- Kaçar B, İnal A, 2008. Bitki Analizleri, Nobel Yayın No: 1241, Fen Bilimleri, 63, Nobel Yayın Dağıtım Ltd. Şti., Ankara.
- Kahvecioğlu Ö, Kartal G, Güven A, Timur S, 2004. Metallerin Çevresel Etkileri-III. GTÜ Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 15s.
- Kirkham MB, 2000. EDTA-facilitated phytoremediation of soil with heavy metals from sewage sludge. *International Journal of Phytoremediation*, 2(2): 159-172.
- Kumar N, Bauddh K, Kumar S, Dwivedi N, Singh DP, Barman SC, 2013. Accumulation of metals in weed species grown on the soil contaminated with industrial waste and their phytoremediation potential. *Ecological engineering*, 61: 491-495.
- Kumar V, Chopra AK, 2018. Phytoremediation potential of water caltrop (*Trapa natans* L.) using municipal wastewater of the activated sludge process-based municipal wastewater treatment plant. *Environmental technology*.39(1):12-23.
- Küçükhemek M, Gür K, Uyanöz R, Çetin Ü, 2005. Arıtma Çamuru ve Çiftlik Gübresinin Çim Bitkisi Verimine ve Renk Özelliğine Etkisi, I. Ulusal Arıtma Çamurları Sempozyumu, 23-25 Mart, İzmir.
- Laghlimi M, Baghdad B, El Hadi H, Bouabdli A. 2015. Phytoremediation mechanisms of heavy metal contaminated soils: A review, *Open Journal of Ecology*, 5: 375-388.
- Lai, H. Y., & Chen, Z. S. (2005). The EDTA effect on phytoextraction of single and combined metals-contaminated soils using rainbow pink (*Dianthus chinensis*). *Chemosphere*, 60(8):1062-1071.
- Lambrechts T, Gustot Q, Couder E, Houben D, Iserentant A, Lutts S, 2011. Comparison of EDTA-enhanced phytoextraction and phytostabilisation strategies with *Lolium perenne* on a heavy metal contaminated soil. *Chemosphere* 85:1290–1298.
- Li Z, Shuman LM, 1996. Heavy metal movement in metal-contaminated soil profiles. *Soil Science*, 161(10), 656-666.
- McGrath SP, Zhao FJ, Lombi E, 2001. Plant and rhizosphere processes involved in phytoremediation of metal-contaminated soils. *Plant and Soil*, 232, 207-214.
- Meisel T, Lakatos B, Mady G, 1977. Biopolymer-Metal Complex Systems. VII. Ion Exchange and Redox Capacity of Peat Humic Substances. *Agrokémia és Talajtan*, 26(3/4): 269-280.
- Najeeb U, Ahmad W, Zia MH, Zaffar M, Zhou W, 2017. Enhancing the lead phytostabilization in wetland plant *Juncus effusus* L. through somaclonal manipulation and EDTA enrichment. *Arabian Journal of Chemistry*, 10: 3310-3317.
- Nascimento CWAD, Xing B, 2006. Phytoextraction: a review on enhanced metal availability and plant accumulation. *Scientia agricola*, 63(3): 299-311.
- Özay C, Mammadov R, 2013. Ağır metaller ve süs bitkilerinin fitoremediasyonda kullanılabilirliği. *BAÜ Fen Bil. Enst. Dergisi Cilt 15(1): 67-76.*
- Pak O, 2011. Kırklareli Sınırları İçerisindeki Otoban Kenarlarında Bulunan Tarım Arazilerinde Bazı Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması. Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ.

- Placek A, Grobelak A, Kacprzak M, 2016. Improving the phytoremediation of heavy metals contaminated soil by use of sewage sludge. International journal of phytoremediation. 18(6):605-618.
- Pulford ID, Riddell-Black D, Stewart C. 2002. Heavy metal uptake by willow clones from sewage sludge-treated soil: the potential for phytoremediation. International Journal of Phytoremediation. 4(1): 59-72.
- Quartacci MF, Argilla A, Baker AJM, Navari-Izzo F, 2006. Phytoextraction of metals from a multiply contaminated soil by Indian mustard. Chemosphere 63:918-925.
- Reeves R. 2006. Hyperaccumulation of trace elements by plants. In: Morel JL., Echevarria G., Goncharova N. (eds) Phytoremediation of Metal-Contaminated Soils. NATO Science Series, vol 68. Springer, Dordrecht
- Tai Y, Yang Y, Li Z, Yang Y, Wang J, Zhuang P, Zou B. 2017. Phytoextraction of 55-year-old wastewater-irrigated soil in a Zn-Pb mine district: effect of plant species and chelators. Environmental technology, 1-13.
- Topcuoğlu B, Önal MK, Arı N, 2003. Toprağa Uygulanan Kentsel Arıtma Çamurunun Domates Bitkisine Etkisi: I. Bitki Besinleri ve Ağır Metal İçerikleri. Mediterranean Agricultural Sciences, 16(1): 87-96.
- Turan M, Esringu A, 2007. Phytoremediation based on canola (*Brassica napus* L.) and Indian mustard (*Brassica juncea* L.) planted on spiked soil by aliquot amount of Cd, Cu, Pb, and Zn. Plant Soil and Environment, 53(1): 7.
- Turan M., Angın I. (2004). Organic chelate assisted phytoextraction of B, Cd, Mo and Pb from contaminated soils using two agricultural crop species. Acta Agr. Scand., Sec. B, Soil Plant Sci., 54: 221-231.
- Turgut C, Pepe MK, Cutright TJ, 2004. The effect of EDTA and citric acid on phytoremediation of Cd, Cr, and Ni from soil using *Helianthus annuus*. Environ. Pollut., 131: 147-154.
- Tüfekçi S, Gülbaba AG, Tokgönül F, 2008. Tarsus Eysel Arıtma Çamurunun Okaliptüs ve Kızılcım Fidanları Üretiminde Kullanılması. Çevre ve Orman Bakanlığı Yayın No: 368 ISBN:978-605-393-042-6 DOA Yayın No: 49.
- Vargas C, Pérez-Esteban J, Escolástico C, Masaguer A, Moliner A, 2016. Phytoremediation of Cu and Zn by vetiver grass in mine soils amended with humic acids. Environmental Science and Pollution Research, 23(13), 13521-13530.
- Waldigri M, Pera A, Agnolucci M, Frassinetti S, Lunardi D, Vallini G, 1996. Effects of compost-derived humic acids on vegetable biomass production and microbial growth within a plant (*Cichorium intybus*) soil system: a comparative study. Agriculture, Ecosystems And Environment, 58, (2-3): 133-144.
- Wilkins DA, 1978. The measurement of tolerance to edaphic factors by means of root growth. New Phytologist, 80(3): 623-633.
- Yoon J, Cao X, Zhou O, Ma LQ, 2006. Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. Sci Total Environ 368:456-464.
- Zaier H, Ghnaya T, Ghabriche R, Chmingui W, Lakhdar A, Lutts S, Abdelly C, 2014. EDTA-enhanced phytoremediation of lead-contaminated soil by the halophyte *Sesuvium portulacastrum*. Environmental Science and Pollution Research, 21(12): 7607-7615.