

Kurşun (Pb) ile kirlenmiş topraklarda ayçiçeği ve mısırın fitoekstraksiyonu üzerine EDTA ve DTPA'nın etkileri

Effects of EDTA and DTPA on phytoextraction of sun flower and maize using the soils contaminated by lead (Pb)

Klara GÜL

Ahmet Yesevi Uluslar arası Türk-Kazak Üniversitesi, Türkistan, Kazakistan

Sorumlu yazar (Corresponding author): K. Gül, e-posta (e-mail): klara-kaztur@hotmail.com

MAKALE BİLGİSİ

Alınış tarihi 13 Mayıs 2013
Düzeltilme tarihi 1 Temmuz 2013
Kabul tarihi 10 Temmuz 2013

Anahtar Kelimeler:

Bitkisel Ekstraksiyon
Kurşun
Zea mays
Helianthus annuus
EDTA
DTPA

ÖZ

Bitkisel ekstraksiyon, yüksek biyokütleli bitkilerin kullanımı vasıtasıyla kirlenmiş topraktan ağır metallerin kaldırılması için etkili bir yöntem olarak ileri sürülmüştür. Bu çalışma; artan konsantrasyonlarda (0, 4, 8 mmol kg⁻¹) uygulanan EDTA ve DTPA'nın, kurşun (Pb) ile kirlenmiş toprakta yetiştirilen Mısır (*Zea mays* L.) ve Ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) bitkilerinin bitkisel ekstraksiyonu üzerine etkisini, bitkisel ekstraksiyon yöntemi ile topraktan Pb'ü toprak üstü aksamalarında ne kadar biriktirdiğini ve kirlenmiş toprağın bu metallere ne kadar temizlendiğini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Denemede kullanılan toprak materyali KAYSERİ/YAHYALI'daki karbonat tipi Pb-Zn maden ocaklarına yakın tarım arazisinden alınmıştır. Mısır (*Z. mays*) ve ayçiçeği (*H. annuus*) bitkileri kontrollü sera koşullarında 10 hafta yetiştirilmiş ve hasattan 2 hafta önce EDTA ve DTPA uygulamaları yapılmıştır. Deneme sonunda çalışmada kullanılan toprağın ve bitkilerin Pb kapsamını belirlemek amacıyla toprağın toplam ve ekstrakte edilebilir ve bitkideki Pb konsantrasyonları belirlenmiştir. Toplam Pb içeriği 448.64 mg kg⁻¹ olan toprağa artan dozlarda EDTA ve DTPA uygulanması sonucu, toprakta yetiştirilen mısır (*Z. mays*) ve ayçiçeği (*H. annuus*) bitkilerinin gövdelerinde Pb konsantrasyonlarında artış gözlenmiştir. Bitkilerde Pb birikimindeki artış, toprağa EDTA ve DTPA ilave edilmesi ile toprak çözeltisinde Pb konsantrasyonunun artmasındandır. Mısır (*Z. mays*) ve ayçiçeği (*H. annuus*) bitkilerinin yüksek Pb konsantrasyonundan etkilenmediği saptanmıştır. Bitkilerin topraktan Pb'ü bünyelerine alarak biriktirmesinde ve topraktaki alınabilir Pb miktarına, toprak pH'sının ve EDTA ile DTPA'nın önemli etkilerinin olduğu bulunmuştur.

ARTICLE INFO

Received 13 May 2013
Received in revised form 1 July 2013
Accepted 10 July 2013

Keywords:

Phytoextracion
Lead
Zea mays
Helianthus annuus
EDTA
DTPA

ABSTRACT

Chemically enhanced phytoextraction has been proposed as an effective approach to removing heavy metals from contaminated soil through the use of high biomass plants. This research is to test the effect of the applications of EDTA and DTPA (0, 4, 8 mmol kg⁻¹) on the phytoextraction of maize (*Zea mays* L.) and sunflower (*Helianthus annuus* L.) grown in Pb contaminated soil. Experiment soil was provided by around from the Pb-Zn carbonate mines which are located near KAYSERİ/YAHYALI. Plants were grown controlled greenhouse conditions during 10 weeks. EDTA (ethylenediaminetetraacetic acid) and DTPA (diethylenetriaminepentaacetic acid) were applied to contaminated soil 2 week before harvest. For the purpose of determining the contents of lead of sample soil and plants, total soil and extractable and plant Pb concentrations have been defined. The results of EDTA and DTPA applications to a soil include total soil Pb 448.64 mg kg⁻¹ showed that shoots Pb concentrations of maize and sunflower increased. The surge of Pb accumulation in these plants was associated with the surge of Pb level in the soil solution due to the addition of chelates to the soil. It was observed that maize and sunflower was not affected by Pb concentration of high level. Soil pH, EDTA and DTPA were found to have influence on the potential capacity of plants to absorb soil Pb and soil extractable Pb.

1. Giriş

Topraklardaki ağır metal kirliliği, endüstri ve madencilik aktivitelerinin gelişmesiyle, atık suyla yapılan sulamaların ve

arıtma çamuru uygulamalarının yaygınlaşmasıyla küresel bir problem haline almıştır. Atmosferdeki toplam Pb miktarının %

80 kadarının petrol ve petrol ürünlerinden kaynaklandığı tahmin edilmektedir (Haktanır ve ark. 1995).

Bitkiler aracılığıyla topraklardan kirleticilerin uzaklaştırılmasını sağlayan bitkisel ekstraksiyon yöntemi son yıllarda geliştirilen tekniklerden bir tanesidir. Bitkisel ekstraksiyon bir toprak matriksinden metal kirleticilerin uzaklaştırmasını kolaylaştırmak için bitki kullanımını içeren bir uygulamadır. Bu uygulama, filizler ve köklerin bir kısmının hasat zamanı topraktan elementlerin yüksek miktarda toplanmasında ve taşınmasında bitkilerin kullanılması işlemidir. Bitkilerin kökleri topraktaki metal elementleri absorbe eder ve birikme sağladığında yeraltından yüze doğru elementleri taşır. Bitki yeterli bir şekilde geliştikten ve metal birikimi olduktan sonra bitkilerin yerüstündeki kısımları hasat edilir ve uzaklaştırılır. Bu yöntem vasıtasıyla metaller yeniden işlenip geri kazanılabilmektedir (Yong ve ark. 2006).

2. Materyal ve Metot

Denemede kullanılan toprak materyali, Kayseri'nin Yahyalı ilçesinde mısır (*Z. mays*) ve ayçiçeği (*H. annuus*) yetiştirilen tarım arazisinden alınmıştır. Yapılan araştırma tesadüf parselleri deneme desenine göre 4 paralelli olarak gerçekleştirilmiştir. Denemede test bitkisi olarak Mısır (*Zea mays* L.) "BORA" çeşidi ve Ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) "TEKİRDAĞ YERLİ" çeşidi kullanılmıştır. Fırın kuru toprak hesabıyla 5 kg toprak alabilen saksılara toprak örnekleri konulmuştur. Temel gübreleme topraktaki azot, fosfor ve potasyum miktarları saptandıktan sonra hesaplama yapılarak bitkilerin ihtiyacına göre uygulanmıştır (Çizelge 1).

Çizelge 1. Toprağa uygulanan gübre formları ve miktarları.

Table 1. Forms and quantities of fertilizer on soil.

Azot (100 mg kg ⁻¹)	Fosfor (60 mg kg ⁻¹)	Potasyum (75 mg kg ⁻¹)
10 ml NH ₄ NO ₃ /saksı *	10 ml KH ₂ PO ₄ /saksı**	

* NH₄ NO₃ gübresi ekim öncesi ve 4. haftada verilmiştir.

* NH₄ NO₃ fertilizler was given before cultivation and on fourth week.

** KH₂PO₄ gübresi sadece ekim öncesi uygulanmıştır.

** KH₂PO₄ fertilizler was given only before cultivation.

Her bir saksıya 5'er tane mısır tohumu ve 5'er tane ayçiçeği tohumu gelecek şekilde ekim yapılmıştır. Deneme bitkilerine 10 haftalık (hasattan 2 hafta önce) bir gelişme sonunda artan dozlarda EDTA ve DTPA uygulaması yapılmıştır. EDTA ve DTPA uygulamalarından 14 gün sonra deneme bitkileri hasat edilmiş ve yaş ağırlıkları belirlenmiştir. Bitki örnekleri yıkandıktan sonra nem içerikleri kimyasal analizler için 65 °C

sıcaklıkta kurutularak belirlenmiş ve kuru ağırlık üzerinden tartımlar alınmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

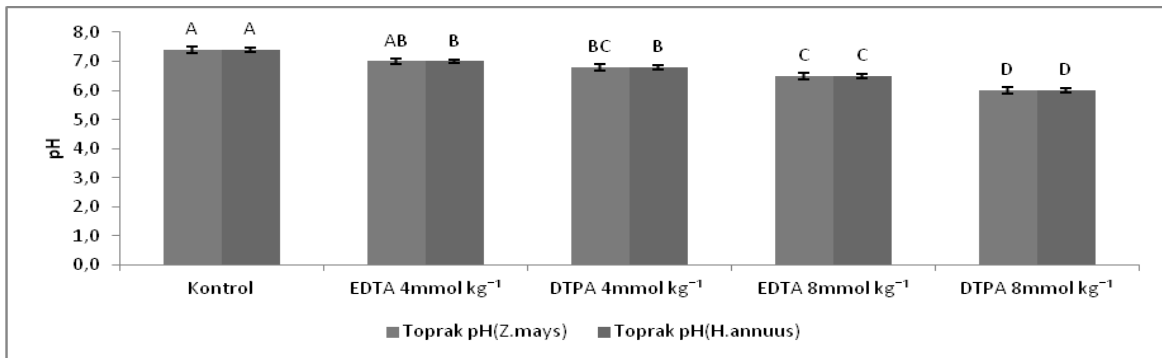
3.1. EDTA ve DTPA uygulanan toprakta yetişen mısır (*Z. mays*) ve ayçiçeği (*H. annuus*) bitkilerinin bitkisel ekstraksiyonuna toprak reaksiyonunun etkisi

Toprakların reaksiyonları EDTA ve DTPA uygulama düzeyleri arttıkça azalmıştır. En yüksek doz ile kontrol toprakları arasındaki fark 0.9 birimdir. Bunun nedeni: uygulanan DTPA'nın pH'sının 2.1-2.5 arasında olmasıyla açıklanabilir. Toprak pH'sının azalmasına bağlı olarak toprak çözeltisindeki Pb konsantrasyonu ve bitki gövdesindeki Pb birikimleri artmıştır. Pb asit yönde daha fazla yarayıslıdır ve hidrojen iyonları konsantrasyonu (pH) toprakların önde gelen özelliklerinden biri olup Pb yarayıslılığını artış yönünde etkilemiştir. Usta (1995), toksik metal kanyonlarının çözünürlüklerinin ve topraktaki konsantrasyonlarının asitleşme ile artış gösterdiğini belirtmiştir. Chlopecka ve ark. (1996), düşük pH'lı toprakların, Pb'un bitki köklerinden gövdeye taşınımı için daha iyi bir potansiyele sahip olduğunu ve optimum pH düzeyinin 5.0 civarında olup daha düşük değerlerin bitki gelişimini yavaşlatıldığını belirtmişlerdir. Yapılan korelasyon analiz sonucunda pH ile bitkideki Pb (gövde : r=-0.925; yaprak r=-0.902) arasında P<0.05 düzeyinde önemli bir negatif ilişki bulunmuştur (Şekil 1)

3.2. Kurşun ile kirlenmiş toprağa artan dozlarda uygulanan EDTA ve DTPA'nın toprakta toplam Pb ve alınabilir Pb konsantrasyonuna etkisi

Z. mays yetiştirilen toprakta EDTA 8 mmol kg⁻¹ uygulamasında toprakta toplam Pb miktarı kontrole göre 1.9 kat azalmış, bitkide Pb miktarı ise kontrole göre 10.7 kat artmıştır. Benzer şekilde *H. annuus* yetiştirilen toprakta EDTA 8 mmol kg⁻¹ uygulamasında toprakta toplam Pb miktarı kontrole göre 1.9 kat azalmış, bitkide Pb miktarı ise kontrole göre 19.2 kat artmıştır (Çizelge 2). Bunun nedeni: EDTA'nın en yüksek dozunda (8 mmol kg⁻¹) toprak pH'sında önemli derecede bir azalmanın olduğu ve bu alınabilir Pb miktarını ve bitki köklerinden gövdeye taşınımı arttırdığı buna paralel olarak toplam Pb miktarında da azalma olduğu düşünülmüştür. Ayrıca Pb⁺² iyonunun EDTA ile stabilize sabiti değerinin (LOG K = 18.0) yüksek olması (Bucheli-Witshel ve Egli 2001) bitkinin Pb alımını arttırmıştır.

Toplam Pb miktarının azalmasına bağlı olarak alınabilir Pb ve



Şekil 1 EDTA ve DTPA uygulamasının toprak pH'sına etkisi.

Figure 1 Effect of EDTA and DTPA applications on soil pH.

bitkinin topraktan kaldırdığı Pb miktarı da artmıştır. Yapılan korelasyon analiz sonucunda toplam Pb ile alınabilir Pb ($r=-0.999$, $r=-0.997$) arasında $P<0.01$ düzeyinde negatif bir ilişki bulunmuştur. Sentetik şelatların, topraklarda ve besin çözeltilerinde metal katyonların çözünürlüğünü ve gövde içindeki Pb taşınımını artırmak için kullanıldığı belirtilmiştir (Wallace ve ark. 1977, Checka ve ark. 1987).

Artan dozda uygulanan EDTA ve DTPA konsantrasyonları toprak çözeltilerindeki alınabilir Pb konsantrasyonunu önce arttırmış, ayrıca alınabilir Pb'nun hareketliliğini de artırarak, 2 haftalık bir süreçte gelişen bitkinin bünyesine taşımıştır. Bu durum, toprak çözeltilerindeki alınabilir Pb miktarının azalmasına neden olmuştur (Çizelge 2).

Yapılan bu denemede toprak çözeltilerindeki Pb miktarının azalışına bağlı olarak bitkilerin yaprağında ve gövdesinde topraktan kaldırdığı Pb miktarı artmıştır (Çizelge 2). Yapılan korelasyon analiz sonucunda toprak çözeltilerindeki alınabilir Pb ile mısırdaki Pb (gövde $r=-0.993$; yaprak $r=-0.972$) arasında $P<0.01$ düzeyinde önemli bir negatif ilişki; toprak çözeltilerindeki alınabilir Pb ile ayçiçeğinde Pb ($r=-0.973$) arasında $P<0.01$ düzeyinde önemli bir negatif ilişki olduğu bulunmuştur. Lombi ve ark. (2001), yaptıkları çalışmada, toprağa 10 mmol kg^{-1} EDTA uygulamasından 21 gün süre boyunca toprak çözeltilerindeki alınabilir Zn ve Pb konsantrasyonlarının yaklaşık iki kat arttığını ve kontrol ile kıyaslandığında ise kontrolün 31 katı kadar olduğunu belirtmişlerdir.

3.3 Mısır (*Z. mays*) ve ayçiçeği (*H. annuus*) yetiştirilen kirlenmiş (Pb-Zn) toprağa artan dozlarda uygulanan EDTA ve DTPA'nın bitkilerin gövde ve kök kuru madde miktarlarına etkisi

EDTA ve DTPA uygulama düzeyleri arttıkça, bitki gelişimi önemli bir şekilde olumsuz etkilenmiştir ve bitki ağırlıklarında azalma saptanmıştır. EDTA ve DTPA uygulanmayan bütün kontrol bitkilerinin ağır metal toksisitesi göstermeden normal gelişimlerine devam ettiği görülmüştür (Çizelge 3).

Yapılan bu denemede her iki bitkide de gövde yaş ağırlığının azalışına bağlı olarak gövde kuru ağırlığı da azalmıştır. Benzer şekilde kök yaş ağırlığının azalışına bağlı olarak da kök kuru ağırlığı da azalmıştır. Yapılan korelasyon analiz sonucunda mısır bitkisinin gövde yaş ağırlığı ile gövde kuru ağırlığı ($r=0.972$) arasında $P<0.01$ düzeyinde önemli bir pozitif ilişki; kök yaş ağırlığı ile kök kuru ağırlığı ($r=0.990$) arasında $P<0.01$ düzeyinde önemli bir pozitif ilişki bulunmuştur. Benzer şekilde ayçiçeği bitkisinin gövde yaş

ağırlığı ile gövde kuru ağırlığı ($r=0.994$) arasında $P<0.01$ düzeyinde önemli bir pozitif ilişki; kök yaş ağırlığı ile kök kuru ağırlığı ($r=0.998$) arasında $P<0.01$ düzeyinde önemli bir pozitif ilişki bulunmuştur. Hovsepyan ve Greipsson (2005), mısır (*Zea mays*) bitkisinin 5 mmol kg^{-1} EDTA uygulamasından sonra, bitki gövdesinde Pb konsantrasyonunun arttığını buna paralel olarak bitki ağırlığının azaldığını belirtmişlerdir.

Toksik metallerden etkilenen bitkilerin genel olarak biyokütle üretimi azalır. Bu kural yüksek biriktirme özelliğine sahip bitkiler için de geçerlidir (Hammer ve Keller 2003; Vervaeke ve ark. 2003; Mc Grath ve ark. 2006; Zhuang ve ark. 2007). Cooper ve ark. (1999), ayçiçeği bitkisinin çim ve bezelye bitkilerine nispeten düşük kuru madde birikimi gösterdiğini fakat en yüksek Pb konsantrasyonuna sahip olduğunu, dolayısıyla, en iyi şekilde uygulanan tarımsal çalışmalar ışığında, ayçiçeği, bitkisel ekstraksiyon amaçları için uygun perspektifler sağlayan, metala toleranslı ve yüksek ürün kazancı veren bir bitki olduğunu belirtmişlerdir.

3.4 Mısır (*Z. mays*) ve Ayçiçeği (*H. annuus*) bitkilerinin Pb içeriği

EDTA ve DTPA uygulama düzeyleri arttıkça bitkideki (gövde, yaprak, kök) Pb konsantrasyonları artmıştır. Bu çalışmada Pb'nun bitkisel ekstraksiyonunu artırmak için en uygun şelat bileşiği EDTA olmuştur ve artan dozlarında EDTA>DTPA şeklinde etkisini göstermiştir. Yapraktaki element konsantrasyonlarının, kökteki element konsantrasyonlarına oranıyla geçiş faktörü elde edilir. Geçiş faktörü ağır metallerin bitkide birikmesini değerlendirmede kullanılabilir. Geçiş faktörünün 1'den büyük olması kökten yapraklara doğru metallerin taşındığını gösterir (Kırat 2009). Mısır bitkisinin EDTA 8 mmol kg^{-1} dozunda geçiş faktörü 2.38, ayçiçeği bitkisinde EDTA 8 mmol kg^{-1} dozunda geçiş faktörü 1.92 olmuştur ve Pb'nun kökten yapraklara doğru taşındığını göstermiştir. Kalan dozlarda geçiş faktörü 1'den küçük olmuştur.

Mısır ve ayçiçeği bitki hücreleri tarafından Pb ortamdan başlangıçta hızlı şekilde absorbe edilmiştir ve belli bir zaman süreci sonunda hücre içerisindeki Pb konsantrasyonu çevredeki çözeltilere göre çok daha yüksek olmuştur. Bu önemli olgu Pb birikimi (accumulation) şeklinde ifade edilmektedir. Benzer şekilde Kacar ve ark. (2009), hücre içindeki metal konsantrasyonunun, dışarıdaki metal konsantrasyonuna oranı metalin birikim oranı (accumulation rate) şeklinde tanımlanmıştır.

Çizelge 2. Toprağa EDTA ve DTPA ilavesinin mısır (*Z.mays*) ve ayçiçeği (*H.annuus*) bitkilerinde toplam Pb, yararlı Pb ve bitkideki Pb miktarlarına etkileri*.

Table 2. Effects of adding EDTA and DTPA on total, beneficial and embedded Pb of *Z. mays* and *H. annuus**.

Uygulamalar (mmol kg ⁻¹)	Toprak (mg kg ⁻¹)		Mısır (mg kg ⁻¹)	Toprak (mg kg ⁻¹)		Ayçiçeği (mg kg ⁻¹)
	Toplam Pb	Alınabilir Pb	Bitkide Pb	Toplam Pb	Alınabilir Pb	Bitkide Pb
Kontrol	428.0 A	45.0 A	21.0 D	439.0 A	46.0 A	11.0 D
DTPA 4	380.0 AB	41.0 AB	66.0 C	394.0 AB	43.0 A	54.0 C
DTPA 8	358.0 BC	39.0 AB	90.0 BC	372.0 BC	41.0 A	77.0 C
EDTA 4	313.0 C	34.0 BC	135.0 AB	327.0 C	36.0 AB	122.0 B
EDTA 8	224.0 D	25.0 C	224.0 A	237.0 D	27.0 B	211.0 A

$P<0.01$

* Tablo 2, (dikey) dozlar arası karşılaştırmayı göstermektedir.

* Table 2, shows the comparisons among (vertical) doses.

Çizelge 3. EDTA ve DTPA uygulamalarının mısır ve ayçiçeği bitkilerinin kuru ve yaş madde miktarına etkisi*.

Table 3. Effects of EDTA and DTPA applications on the quantities of dry and wet materials of *Z. mays* and *H. annuus**.

Uygulamalar (mmol kg ⁻¹)	Mısır				Ayçiçeği			
	Gövde		Kök		Gövde		Kök	
	Yaş ağırlık (g bitki ⁻¹)	Kuru ağırlık (g bitki ⁻¹)	Yaş ağırlık (g bitki ⁻¹)	Kuru ağırlık (g bitki ⁻¹)	Yaş ağırlık (g bitki ⁻¹)	Kuru ağırlık (g bitki ⁻¹)	Yaş ağırlık (g bitki ⁻¹)	Kuru ağırlık (g bitki ⁻¹)
Kontrol	231.00 A	34.00 A	22.00 A	4.08 A	228.00 A	20.00 A	14.00 A	2.60 A
DTPA 4	209.00 B	31.00 B	21.00 A	3.91 AB	211.00 AB	18.00 AB	12.00 AB	2.25 AB
DTPA 8	193.25 BC	29.00 BC	18 AB	3.42 AB	206.00 AB	17.00 B	10.00 BC	1.98 BC
EDTA 4	190.25 C	30.00 BC	16.00 BC	3.33 B	200.00 BC	16.00 BC	10.00 BC	2.00 BC
EDTA 8	175.00 C	28.00 C	12.00 C	2.54 C	180.00 C	14.00 C	8.00 C	1.66 C

P < 0.01

* Tablo 3, dikey dozlar arası karşılaştırmayı göstermektedir.

* Table 3, shows the comparisons among vertical doses.

Bitki gövdesindeki Pb miktarında istatistiksel olarak en önemli artış EDTA uygulamasının en yüksek (8 mmol kg⁻¹) dozunda meydana gelmiştir. Pb bitkide kök < gövde < yaprak şeklinde birikmiştir ve bu bitkisel ekstraksiyonun başarılı bir şekilde gerçekleştiğini göstermiştir. Bu konu ile ilgili yapılan araştırmalarda EDTA uygulamasından sonra Pb'un, bitkinin alımı için yararlı olan Pb-EDTA bileşiği formunda bulunduğu belirtilmiştir (Vassil ve ark. 1998). Mısır (*Zea mays*), yonca (*Medicago sativa*) ve sorgum (*Sorghum bicolor*) hızlı gelişim oranları ve geniş biyo-kütle miktarlarından kaynaklanarak etkili bir bitkisel iyileştirme ürünü olarak bulunmuştur (USEPA 2000).

Bitki yaprağındaki Pb miktarında istatistiksel olarak en önemli artış EDTA uygulamasının en yüksek (8 mmol kg⁻¹) dozunda meydana gelmiştir Mısır ve ayçiçeği hızlı büyüyen ve yüksek biyokütle üreten bitkilerdir ve Pb'nun bitki gövdesinde birikiminin arttığı görülmüştür. Kontrole göre artan dozlara paralel olarak bitki kökündeki Pb miktarı artmıştır. Bitkilerin kökündeki Pb miktarının en yüksek artışı, istatistiksel olarak EDTA uygulamasının 4 mmol kg⁻¹ dozunda meydana gelmiştir (Çizelge 3-4). Pb⁺²'nin kök hücrelerine girmesine ve hücreden hücreye aktarılacak sap ve yaprağa taşınmasında EDTA'nın önemli düzeyde etkisi olmuştur. Karczewska ve ark. (2009), mısır (*Zea mays*) bitkisini kullanarak EDTA'nın toprağa uygulanması sonucunda toprak çözeltisinde Pb konsantrasyonunun arttığını buna bağlı olarak da ksileme Pb'nin taşınımının kolaylaştığını, kök dokuları tarafından Pb bağlanmasının ve köklerden gövdeye Pb taşınımının arttığını belirtmişlerdir. Şelatların asimile edildiği zaman, neredeyse tamamının köklerden sürgünlere taşındığı ve EDTA'nın karbon fraksiyonunu sınıflandırarak sonradan ksilem özsuyna taşınan metal-EDTA komplekslerini bitkinin alabileceği belirtilmektedir. (Vassil ve ark. 1998; Heidari ve ark. 2005).

Lin ve ark. (2009), ayçiçeği (*H.annuus*) bitkisinde Pb konsantrasyonunun yaprak > gövde > kök şeklinde arttığını ve en iyi sonucun EDTA 3.2 mmol kg⁻¹ uygulamasında olduğunu, ayrıca Huang ve ark. (1997), mısır bitkisinin EDTA uygulamasından sonra gövdesinde 3000 mg kg⁻¹ Pb biriktirdiğini, ayrıca Pb'nun hareketliliğinde en etkili EDTA'nın olduğunu ve EDTA uygulamasının mısır bitkisinde Pb'nun köklerden ksilemlere taşınımını arttırdığını belirtmişlerdir. Shen ve ark. (2002), Pb alımını arttıran şelatları EDTA > HEDTA > DTPA > NTA > sitrik asit olarak belirtmiştir.

4. Sonuç

Bu çalışmada, artan konsantrasyonlarda (0, 4, 8 mmol kg⁻¹) uygulanan EDTA ve DTPA'nın, Pb ile kirlenmiş toprakta yetiştirilen mısır (*Zea mays*) ve ayçiçeği (*Helianthus annuus*) bitkilerinin gelişimi, toprakta pH, toplam Pb, yarayışlı Pb kapsamları ile bitkiler tarafından alınabilir Pb formu (metal-EDTA, metal-DTPA) ve bitkideki Pb üzerine etkisi belirlenmeye çalışılmıştır.

Bitkilerin hasat edilebilen biyokütlelerinde topraktan kaldırılan metal konsantrasyonu, bitkinin biyokütlesi ile orantılıdır. Genel olarak mısır (*Zea mays*) ve ayçiçeği (*Helianthus annuus*) bitkilerinin yüksek biyokütleyle sahip oldukları buna bağlı olarak da yüksek Pb konsantrasyonuna ve artan EDTA, DTPA konsantrasyonlarına karşı tolerans gösterdikleri bulunmuştur. Araştırma sonucunda mısır ve ayçiçeği bitkilerinin hiperakümülatör bitki olmamalarına karşılık EDTA ve DTPA uygulaması ile artan Pb'nun bitkilerde önemli toksik, tamponlama etkisi görülmemiştir ve bitkilerde herhangi bir ölüme neden olmamıştır. Mısır (*Zea mays*) ve ayçiçeği (*Helianthus annuus*) bitkilerinin tek yıllık bitki olmaları dikkate alınmıştır, çünkü uzun ömürlü bitkilerden

Çizelge 4. Mısır ve ayçiçeği bitkileri tarafından Pb'un bitkisel ekstraksiyonu üzerine EDTA ve DTPA uygulamalarının etkisi (mg kg⁻¹)*.

Table 4. Effects of EDTA and DTPA on plant extraction of Pb by *Z. mays* and *H. annuus**.

Uygulamalar (mmol kg ⁻¹)	Mısır			Ayçiçeği		
	Kök Pb	Gövde Pb	Yaprak Pb	Kök Pb	Gövde Pb	Yaprak Pb
Kontrol	13.0 C	5.0 D	3.0 C	6.0 C	3.0 D	2.0 C
DTPA 4	40.0 B	14.0 CD	12.3 BC	34.0 B	11.0 CD	9.0 BC
DTPA 8	36.0 B	27.0 BC	27.0 BC	33.0 B	23.0 BC	21.0 BC
EDTA 4	61.0 A	36.8 B	37.0 B	58.0 A	33.0 B	31.0 B
EDTA 8	45.0 B	72.0 A	107.0 A	48.0 A	71.0 A	92.0 A

P < 0.01

* Tablo 4, dikey dozlar arası karşılaştırmayı göstermektedir.

* Table 4, shows the comparisons among vertical doses.

ziyade yıllık bitkiler, bitkisel ekstraksiyonun etkinliğini arttırmak için daha uygun görünmektedir. Yıllık bitkilerin kökleri kirlenmiş toprakların daha üst kısımlarında (0-20cm) yetişmekte ve kök yoğunluğu derine inildikçe azalmaktadır. Uzun ömürlülerin kök sistemi ise genellikle daha az kirli olan alt toprakları ve daha derin katmanları işgal etmektedir. Mısır (*Zea mays*) ve ayçiçeği (*Helianthus annuus*) bitkilerinin tek yıllık bitki olmaları dikkate alınmıştır, çünkü uzun ömürlü bitkilerden ziyade yıllık bitkiler, bitkisel ekstraksiyonun etkinliğini arttırmak için daha uygun görünmektedir. Yıllık bitkilerin kökleri kirlenmiş toprakların daha üst kısımlarında (0-20cm) yetişmekte ve kök yoğunluğu derine inildikçe azalmaktadır. Uzun ömürlülerin kök sistemi ise genellikle daha az kirli olan alt toprakları ve daha derin katmanları işgal etmektedir.

EDTA'nın en iyi desorp aracı olduğu ve Pb-EDTA kompleksi kuru ağırlık esasında %1'lik Pb bulunduran mısır gibi akümülatör olmayan geniş biyokütlelerde bu elementi kullanılabilir hale getirildiği görülmüştür. DTPA'nın bitki yetiştirilen saksı topraklarında ekstrakte edilebilir Pb miktarında istatistiksel olarak önemli bir artışa neden olduğu saptanmıştır. DTPA'nın biyolojik parçalanma süresi EDTA'nın biyolojik parçalanma süresinden daha uzun olduğundan Pb ile kirlenmiş alanların bitkisel iyileştirilmesinde EDTA'nın kullanılması önerilmektedir.

Bitkisel iyileştirmede toprak çözeltisinde artan ekstrakte edilebilir Pb'nun yeraltı suyuna girişi ihtimalini arttırabileceği yapılan araştırmalar ile belirtilmiştir. Çevresel kaygılardan dolayı bitkisel ekstraksiyonda mısır ve ayçiçeği bitkileri kullanıldığında EDTA'nın kullanımının en aza indirilmesi ve uygulamasından çok kısa bir süre sonunda bitkinin hasat edilmesi gerektiği önerilmektedir.

Kaynaklar

- Bucheli-Witschel M, Egli T (2001) Environmental fate and microbial degradation of aminopolycarboxylic acids. *FEMS Microbiology Reviews* 25: 69-106.
- Checka RT, Corey RB, Helmke PA (1987) Effects of ionic and complexed metal concentrations on plant uptake of cadmium and micronutrient metals from solution. *Plant and Soil* 99: 335-345.
- Chlopecka A, Bacon JR, Wilson MJ, Kay J (1996) Forms of cadmium, lead, and zinc in contaminated soils from southwest Poland. *Journal of Environmental Quality* 25: 69-79.
- Cooper EM, Sims JT, Cunningham SD, Huang JW, Berti WR (1999) Chelate-assisted phytoextraction of lead from contaminated soils. *Journal of Environmental Quality* 28: 1709-1719.
- Haktanır K, Arcak S, Erpul G, Tan A (1995) Yol kenarındaki topraklarda trafikten kaynaklanan ağır metallerin birikimi. *Journal of Engineering and Environmental Sciences* 19: 423-431.
- Hammer D, Keller C (2003) Phytoextraction of Cd and Zn with *Thlaspi caerulescens* in field trials. *Soil Use and Management* 19: 144-149.
- Heidari R, Khayami M, Farboodnia T (2005) Effect of pH and EDTA on Pb Accumulation in *Zea mays* seedlings. *Journal of Agronomy* 4: 49-54.
- Hovsepyan A, Greppsson S (2005) EDTA-enhanced phytoremediation of lead contaminated soil by corn. *Journal of Plant Nutrition* 28: 2037-2048.
- Huang JW, Chen J, Berti WR, Cunningham SD (1997) Phytoremediation of lead-contaminated soils: role of synthetic chelates in lead phytoextraction. *Environmental Science and Technology* 31: 800-805.
- Kacar B, Katkat V, Öztürk Ş (2009) Bitki fizyolojisi. Nobel Bilim ve Araştırma Merkezi Yayınları, Ankara.
- Karczewska A, Galka B, Kabala C, Szopka K, Kocan K, Dziamba K (2009) Effects of various chelators on the uptake of Cu, Pb, Zn and Fe by Maize and Indian mustard from silty loam soil polluted by the emissions from copper smelter. *Fresenius Environmental Bulletin* 10: 1967-1974.
- Kırat G (2009) Görgü (Yeşilyurt-Malatya) Pb-Zn yatakları ve çevresindeki metallerin bitkilere yansımaları. Doktora Tezi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Lin C, Liu J, Liu L, Zhu T, Sheng L, Wang D (2009) Soil amendment application frequency contributes to phytoextraction of lead by sunflower at different nutrient levels. *Environmental and Experimental Botany* 65: 410-416.
- Lombi E, Zhao FJ, Dunham SJ, McGrath SP (2001) Phytoremediation of heavy metal-contaminated soils: Natural hyper accumulation versus chemically enhanced phytoextraction. *Journal of Environmental Quality* 30: 1919-1926.
- McGrath SP, Lombi E, Gray CW, Caille N, Dunham SJ, Zhao FJ (2006) Field evaluation of Cd and Zn phytoextraction potential by the hyper accumulators *Thlaspi caerulescens* and *Arabidopsis*. *Environmental Pollution* 141: 115-125.
- United States Environmental Protection Agency (2000) Introduction to Phytoremediation. 600/R-99/107.
- Usta S (1995) Toprak Kimyası-Ders Kitabı. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Yayın No. 1387, Ankara
- Vassil AD, Kapulnik Y, Raskin I, Salt DE (1998) The role of EDTA in lead transport and accumulation in Indian mustard. *Plant Physiology* 117: 447-453.
- Vervaeke P, Luyssaert S, Mertens J, Meers E, Tack FMG, Lusta N (2003) Phytoremediation prospects of willow stands on contaminated sediment: a field trial. *Environmental Pollution* 126: 275-282.
- Wallace A, Romney E, Alexander G, Kinnear J (1977) Phytotoxicity and some interactions of the essential trace metals iron, manganese, molybdenum, zinc, copper, and boron. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 8: 741-750.
- Yong J, Cao X, Zhou Q, Ma LQ (2006) Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. *Science of the Total Environment* 368: 456-464.
- Zhuang P, Yang QW, Wang HB, Shu WS (2007) Phytoextraction of heavy metals by eight plant species in the field. *Water Air and Soil Pollution* 184: 235-242.