

Dallı Darı (*Panicum virgatum*)'nın Kurşun, Kadmiyum, Krom Toleransı ve Akümülyasyon Potansiyelinin Belirlenmesi

İdris ALACABEY¹, Şeyda ZORER ÇELEBİ^{1*}

ÖZET: Bu araştırmada, kurşun (Pb), kadmiyum (Cd) ve krom (Cr) ağır metallerinin dallı darı (*Panicum virgatum*)'nın gelişimi üzerine etkileri ile dallı darının bu metalleri akümülyasyon potansiyelinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Deneme tesadüf parselleri deneme desenine göre üç tekrarlamalı olarak iklim odasında saksılarda yürütülmüştür. Araştırmada dallı darının Trailblazer çeşidi Pb'nin 0, 30, 60, 90, 120 mg kg⁻¹, Cd'nin 0, 2.5, 5, 10, 20 mg kg⁻¹ ve Cr'nin 0, 40, 80, 120, 160 mg kg⁻¹ uygulandığı yetiştirme ortamlarında büyütülmüş ve gelişimleri incelenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre her üç ağır metalin uygulanan düşük konsantrasyonlarında bitki boyu, yaş ve kuru biomas kontrole göre çok az gerileme gözlenmiştir. Uygulanan en yüksek konsantrasyonlarda gelişme geriliği artmış ancak bitki ölümleri olmamıştır. Bitkinin ağır metal içerikleri artan konsantrasyonlara bağlı olarak artmıştır. Biyolojik alınabilirlik indeksi her üç ağır metalin bütün konsantrasyonlarında 1'in üzerinde bulunmuştur. Sonuç olarak Pb, Cd ve Cr ağır metalleri ile kirlenmiş toprakların temizlenmesinde dallı darının iyi bir aday bitki olduğu düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Akümülyasyon, dallı darı, kadmiyum, krom, kurşun

Determination of Switchgrass (*Panicum Virgatum*)'s Lead, Cadmium, Crom Tolerance And Accumulation Potential

ABSTRACT: In this study, it is aimed to determine the effects of heavy metals, namely, lead (Pb), cadmium (Cd) and crom (Cr), on the development of switchgrass (*Panicum virgatum*) and Pb, Cd, Cr accumulation potential of switchgrass. This experiment was conducted in three times replicates through completely randomized block design, in plastik pots in the climate room. In the study, Trailblazer species of switchgrass were grown in soils where 0, 30, 60, 90, 120 mg kg⁻¹ concentrations of Pb; 0, 2.5, 5, 10, 20 mg kg⁻¹ concentrations of Cd and 0, 40, 80, 120, 160 mg kg⁻¹ concentrations of Cr were applied, and their developments were investigated. According to the results of this study, in low concentrations of each three heavy metals applied, very little regression was observed in plant height, green and dry biomass with respect to control. In the highest concentrations applied, development retardation increased, however, plant deaths did not occur. Heavy metal contents of the plant had increased with increasing concentrations. Bioconcentration factor was found to be higher than 1 in all concentrations of each three heavy metals. In light of these results, it is thought that *Panicum virgatum* is a good prospective plant in cleaning of soils contaminated with Pb, Cd, and Cr.

Keywords: Accumulation, *panicum virgatum*, cadmium, crom, lead

¹ İdris ALACABEY (Orcid ID: 0000-0001-7916-3221), Şeyda ZORER ÇELEBİ (Orcid ID: 0000-0003-1278-1994), Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Van, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Şeyda ZORER ÇELEBİ, e-mail: seydzorer@yyu.edu.tr

* Bu çalışma İdris ALACABEY'in Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

GİRİŞ

Günümüzde canlıların sağlığını olumsuz yönde etkileyen problemlerden biri de çevre kirliliğidir. Dünya nüfusunun artışı, endüstriyel gelişmeler ve teknolojik gelişmelerin istenilmeyen bir sonucu olarak ortaya çıkan çevre sorunları giderek artan boyutlarda önemini korumaktadır (Baş ve Demet, 1992). Birçok ülkede özellikle yetmişli ve seksenli yıllarda yaşanan toprak kirliliği vakaları nedeniyle insanların ve diğer canlıların zarar görmüş olması toprak kirliliğinin giderek önem kazanmasına sebep olmuştur. Amerika'da Lovecanal ve Valley of Drums vakaları ile Almanya'da Biefeld, Barsbüttel ve Hamburg vakaları tarihe geçmiştir. Örneğin; tespitler Amerika'da 217 000, Almanya'da 362 689, Avusturya'da 80 000, Hollanda'da 600 000, Bulgaristan'da ise 45 000 hektar muhtemel kirlenmiş arazi bulunduğunu ortaya koymaktadır (Göksu ve Güngör, 2005).

Çevre Koruma Ajansı sunmuş oldukları rapora göre ağır metaller 129 öncelikli çevre kirleticileri arasında en önemli gruplardan birini oluşturmaktadır (Neilson ve ark., 2003). Topraklarda yoğunlukla belirlenen metal kirleticiler kurşun (Pb), civa (Hg), arsenik (As), krom (Cr), kadmiyum (Cd), bakır (Cu) ve nikel (Ni)'dir. Kurşunun bitkiler üzerindeki etkileri kök ve yeşil aksam gelişiminin engellenmesi ve klorozdur. Bitki tarafından çok düşük miktarda alınan Pb bile fizyolojik süreç üzerine olumsuz etki yapmaktadır (Sharma ve Dubey, 2005). Krom bitkilerde kök hücrelerinin bölünme ve uzamasını engelleyerek kök gelişimini sınırlar. Bu durum bitkilerin bitki besin maddesi ve suyun topraktan alınımını azaltarak bitki büyüme ve gelişmesini yavaşlatır (Khan ve ark., 2000).

Çeşitli sebeplerle ağır metal kirliliğine mağruz kalmış alanlarda sağlıklı bir bitkisel üretim yapmak mümkün değildir. Bu alanlarda bitkisel üretim yapabilmek için ağır metallerin uzaklaştırılması gerekmektedir. Ancak alınan bu önlemler genellikle ekonomik olmamaktadır. Bu aşamada ağır metallerle bulaşık alanlarda yapılacak tarımsal faaliyetlerde yetiştirilecek tür ve hatta çeşitlerden toleranslı olanların belirlenmesi bir çözüm yolu olarak değerlendirilebilir (Zenk, 1996). Fitoremediasyon alanı yeni bir ekolojik alan olmakla birlikte büyük potansiyele sahip bir imkandır. Fitoremediasyon daha ileri aşamasında, botanik bilimini, genetik mühendisliğini, toprak kimyasını ve mikrobiyolojisini, aynı zamanda tarımı ve çevre bilimini birleştiren, disiplinler arası bir çalışma alanı gerektirecektir (Hamutoğlu ve ark., 2012).

Bitkiler çeşitli kaynaklardan atmosfere salınan CO₂ gazının yaşamsal O₂ gazına dönüştürülmesi sürecinde aktif olarak yer alırlar. Bu bilgi ile pek çok bilim insanı, bitkilerin diğer kirleticiler için de bir temizleyici ajan olarak kullanılabileceği yönünde harekete geçmişlerdir. Bitkiler diğer yaşam biçimleri için birinci dereceden karbon kaynağıdır ve besin zincirine giren kirlilikler için taşıyıcı olarak görev yapabilirler (Ghosh ve Singh, 2005).

Fitoekstraksiyonda kullanılacak bitkilerin; hasat edilen toprak üstü bölgelerinde yüksek oranda metal biriktirebilmesi, biriken ağır metale tolerans gösterebilmesi gereklidir. Bu bitkilerin bu anlamda kullanılabilmesi için hızlı büyüyen, derin köklü, kolayca hasat edilen ve yüksek biyokütle üreten olması gerekmektedir. Yüksek miktarda ağır metal biriktirme özelliğine sahip olan hiperakümülatör bitkiler, kuru ağırlık esasına göre %0,1 den fazla Cr, Co ve Ni, %1 Zn ve Mn içerebilmektedir. Ancak, bu bitkilerin fitoekstraksiyon amacıyla kullanılmalarını sınırlayan yavaş büyüme ve az yeşil aksam üretme gibi istenmeyen durumlar söz konusudur. Ayrıca, bu tip bitkiler bir kaç elementi değil, yalnızca özel bir elementi bünyelerine alarak biriktirebilmektedirler. Fakat gen mühendisliğindeki gelişmelerle; fazla yeşil aksam üretebilen, çok sayıda ağır metali aynı anda absorbe edebilen, absorbe ettikleri ağır metalleri biriktirebilen ve biriken ağır metali tolere edebilen transgenik bitkiler geliştirilerek bu sorun ortadan kaldırılabilir (Eren, 2010). Chen ve ark. (2000), ağır metallerin topraklardan uzaklaştırılmasında Vetiver çimini değerlendirmiştir. Vetiver çimi uyum yeteneğinin yüksek olması ve güçlü kök sistemiyle

tanınmaktadır. Çalışmada bitkinin Cd, Pb ve Zn ile kirlenmiş bir toprakta büyüme ve gelişmesinde bir gerileme olmadığı gözlemlenmiş ve bitki gövdesinde yüksek konsantrasyonlarda Cd, Pb ve Zn olduğu tespit edilmiştir. Araştırma sonucunda Vetiver çiminin Cd, Pb ve Zn ile kirlenmiş topraklardan bu metallerin uzaklaştırılmasında etkili olabileceği ancak hasat edilen materyalin ne şekilde artırılacağıyla ilgili detaylı çalışmaların yapılması gerekliliği vurgulanmıştır.

Bu çalışmada değerlendirmeye alınan dallı darı derin ve iyi gelişmiş kök sistemine ve yüksek toprak altı ve toprak üstü biyokütle üretimine sahiptir. Özellikle yetiştirildiği toprakların organik maddesini artırması bile çok önemli sayılmaktadır. Bu bitkinin temel kullanım alanları arasında elektrik üretimi amaçlı termik santrallerde kömürle birlikte yakma, gazifikasyon ve taşıtların yakıt ihtiyacı için etanol üretiminde sayılabilir (Turnhollow, 1991; Samson ve Omielan, 1992; Sanderson ve ark., 1996). Aynı zamanda güçlü kök bölgesi ve yüksek biyokütle üretimi fitoremediasyonda bu bitki üzerine dikkatleri çekmektedir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Araştırma Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü iklim odasında yürütülmüştür. Araştırmada bitki materyali olarak kullanılan *Panicum virgatum*'un Trailblazer çeşidi, yayla tipi (upland) octoploid ploidi ve orjinini Nebraska'dan alan bir dallı darı çeşididir. Denemede toprak kirlenici kaynak olarak, kurşunun (Pb) $Pb(NO_3)_2$, kadmiyumun (Cd) $Cd(NO_3)_2$ ve kromun (Cr) $Cr(NO_3)_3$ formları kullanılmıştır. Deneme toprağının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Deneme yeri toprağının fiziksel ve kimyasal özellikleri*

Tekstür Sınıfı	Tuz (%)	Fosfor ($mg\ kg^{-1}$)	Potasyum ($mg\ kg^{-1}$)	Organik madde (%)	Kireç (%)	pH	Saturasyon
Killi-tınlı	0.04	3.95	49.61	1.7	28	7.1	64.2

*Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü laboratuvarı

Deneme, tesadüf parselleri deneme desenine göre 2 kg toprak alabilen saksılarda üç tekrarlamalı olarak yürütülmüştür. Araştırmada kullanılan topraklar 4 mm'lik eleklerde elenerek kurumaya bırakılmıştır. Daha sonra her saksı için 2 kg toprak, 0.1 g hassas terazide tartılarak hazır hale getirilmiştir. Her bir saksı için tartılan toprak numunelerine ağır metallerden Pb için 0, 30, 60, 90, 120 $mg\ kg^{-1}$, Cd için 0, 2.5, 5, 10, 20 $mg\ kg^{-1}$ ve Cr için 0, 40, 80, 120, 160 $mg\ kg^{-1}$ konsantrasyonları hesaplanıp karıştırılmıştır. İçerisinde ağır metallerin bulunduğu topraklar saksılara yerleştirilerek her bir saksıya 6 adet tohum gelecek şekilde ekim yapılmış ve saksılar %70 nem, 25/20 $^{\circ}C$ gündüz/gece sıcaklığı ve 16/8 saatlik gündüz/gece fotoperiyoda ayarlı iklim odasına yerleştirilmiştir. Ekim işleminden hemen sonra temel gübreleme olarak, her bir saksıya 300 $mg\ kg^{-1}$ azot, 150 $mg\ kg^{-1}$ fosfor ve 200 $mg\ kg^{-1}$ potasyum uygulanmıştır (Kacar ve İnal, 2008). Çimlenmeden sonra tüm saksılarda iyi çimlenmiş üç bitki kalacak şekilde seyreltme yapılmıştır. Bitkiler uygun aralıklarla eşit oranda saf su ile sulanmıştır. Ekim işleminden altı hafta sonra saksılardaki bitkilerin bitki boyları ölçülüp kaydedilmiş ve hemen ardından hasat edilmiştir.

Araştırmada bitki boyu (cm), yaş biomas (g bitki $^{-1}$), kuru biomas (g bitki $^{-1}$) belirlenmiştir. Kurutulan numuneler değirmen yardımı ile öğütülmüştür. Öğütülen numuneler mikrodalgada (Advanced Microwave Digestion System, Ethos Easy) $HNO_3:HClO_4$ (6:2 v/v) ile yaş yakma yapılmıştır. Yaş yakma sonucu elde edilen numunelerde gövde Pb, Cd ve Cr içerikleri ICP-OES (iCAP 6000 SERIES, ICP Spectrometer) cihazı ile belirlenmiştir.

Bitkinin kurşun kadmiyum ve krom tolerans indeksleri Pb, Cd veya Cr uygulanan bitkinin kuru ağırlığının uygulama yapılmayan bitkinin kuru ağırlığına bölünmesi ile aşağıda verilen yöntemle hesaplanmıştır (Das ve ark. 1997).

$$TI = (\text{kuru biomas Pb, Cd, Cr}) / (\text{kuru biomas kontrol}) \times 100$$

Biyolojik alınabilirlik indeksi bitki numunelerinin Pb, Cd ve Cr miktarları dikkate alınarak elementin bitkideki içeriğinin uygulama dozuna bölünmesi ile aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır (Monni ve ark., 2000).

$$BCF = (\text{Pb, Cr, Cd bitki}) / (\text{Pb, Cr, Cd uygulama dozu})$$

İstatistiksel analizler, IBM SPSS Statistics, Version 23.0 yazılımı (IBM Corp.) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Veriler ANOVA'ya tabi tutuldu ve ortalamalar arasındaki farklar Duncan testi kullanılarak belirlenmiştir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Farklı Dozlardakidaki Pb'nin Dallı Darının Gelişimi ve Ağır Metal Konsantrasyonu Üzerine Etkileri

Farklı Pb konsantrasyonlarının bitki boyu, yaş ve kuru biomas, bitkinin Pb içeriği tolerans indeksi ve biyolojik alınabilirlik indeksi üzerine etkileri önemli bulunmuştur. En yüksek bitki boyu kontrol ve Pb30 konsantrasyonlarında sırasıyla 23.7 ve 23.4 cm olarak ölçülmüştür. En yüksek yaş biomas kontrol ve Pb30 konsantrasyonlarında sırasıyla 0.53 ve 0.54 g olarak ölçülmüştür. En yüksek kuru biomas kontrol ve Pb30 konsantrasyonlarında sırasıyla 0.14 ve 0.13 g olarak ölçülmüştür. En düşük bitki boyu, yaş ve kuru biomas Pb120 uygulamasından belirlenmiştir. Bitkideki kurşun içeriği, en düşük Pb0 konsantrasyonunda 0.40 mg kg^{-1} olarak, en yüksek ise Pb120 uygulamasından 876 mg kg^{-1} olarak ölçülmüştür. En yüksek tolerans indeksi Pb30 konsantrasyonlarında 96, en düşük ise Pb120 uygulamasından 31 olarak belirlenmiştir. En düşük biyolojik alınabilirlik indeksi Pb30 konsantrasyonunda %2.34 olarak ölçülmüştür. En yüksek ise Pb120 uygulamasından %7.30 olarak belirlenmiştir (Çizelge 2).

Araştırma sonuçları pb'nin artan dozları karşısında bitki boyu, yaş ve kuru biomas azaldığını ancak yetiştirme süresince bitki ölümlerinin olmadığını gösterdi. Kurşun metalinin düşük dozlarında kontrolle benzer büyüme olduğu gözlenmiştir. Araştırmacılar, bazı ağır metallerin düşük dozlarda bitkiler için önemli mikro elementler olduğunu, fakat yüksek dozlarda bitki türlerinin çoğunun büyümesini engelleyebildiğini ve metabolik düzensizliğe sebep olabildiklerini bildirmişlerdir (Fernandes ve Henriques, 1991; Claire ve ark., 1991). Jana ve Barua (1987), *Lens culinaris* bitkisi ile yürütmüş oldukları çalışmada Pb'nin artan konsantrasyonlarının yaprak oluşumunu sekteye uğrattığını yapraklarda kloroz, nekroz ve solgunluğa neden olduğunu ve buna bağlı olarak bitki yaş ve kuru ağırlığında azalmalar meydana geldiğini bildirmişlerdir. Eren ve Dağhan (2014), transgenik ve transgenik olmayan tütün bitkilerinde farklı dozlardaki Pb uygulamalarının bitkilerde kontrol gruplarına göre, kuru ağırlıkta azalma, Pb (mg kg^{-1}) konsantrasyonunda ise artış olduğunu belirtmişler. Bioconcentration factor yüksekliği bitkilerin metalleri yüksek miktarda biriktirme potansiyelini gösterir (Chumbley ve Unwin, 1982; Cui, 2004). Bir hiperakümülatör bitkinin ağır metali yüksek miktarda absorbe edebilmesi yanında bioconcentration factor 1'in üzerinde olması gerekmektedir (McGrath ve Zho, 2003). Çalışmada Pb'nin bütün konsantrasyonlarında dallı darının bioconcentration factor 1'in üzerindedir. Çalışma sonuçları ortamdaki Pb miktarı arttıkça dallı darının gövde aksamında da Pb miktarının arttığını göstermektedir. Mısır ve ayçiçeği gibi yüksek düzeyde biomas içeren bitkilerin, önemli miktarlarda Pb toplayabildikleri, bu bitkilerin her yıl $180\text{-}530 \text{ kg ha}^{-1}$ Pb'yi uzaklaştırarak, 2500 mg kg^{-1} 'a kadar Pb ile kirlenmiş alanların, 10 yılda iyileştirilmesi olanağı olduğunu belirtmişlerdir (Salt

ve ark., 1998). Dallı darı yüksek biomas üreten bir bitkidir. Bu nedenle toprakların Pb ağır metalinden arındırılmasında kullanılmaya aday bir bitki olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 2. Farklı dozlarda uygulanan Pb'nin dallı darının gelişimi ve Pb konsantrasyonu üzerine etkisi

Pb dozları (mg kg ⁻¹)	Bitki boyu (cm)	Yaş biomas (g bitki ⁻¹)	Kuru biomas (g bitki ⁻¹)	Pb konsantrasyonu (mg kg ⁻¹)	Biyolojik alnabilirlik indeksi	Tolerans indeksi (%)
Kontrol	23.7 a	0.53 a	0.14 a	0.40 e		
30	23.4 ab	0.54 a	0.13 a	70 d	2.34 c	87 b
60	22.1 b	0.44 b	0.11 b	294c	4.91 b	66 c
90	16.9 c	0.36 c	0.09 c	608 b	6.76 a	31 d
120	15.2 d	0.21 d	0.04 d	876 a	7.30 a	96 a
F değeri	88.94**	172.3**	144.8**	951.2**	109.5**	164.2**

** P<0.01 düzeyinde önemlidir.

Farklı Dozlardaki Cd'nin Dallı Darının Gelişimi ve Ağır Metal Konsantrasyonu Üzerine Etkileri

Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'nin incelenen bütün kriterler üzerine etkisi önemli bulunmuştur. En yüksek bitki boyu kontrol uygulamasında 23.7 cm olarak ölçülmüştür. En düşük bitki boyu ise Cd20 uygulamasından 13.8 cm olarak belirlenmiştir. En yüksek yaş ve kuru biomas kontrol uygulamasından, en düşük ise Cd20 konsantrasyonundan ölçülmüştür. Artan dozlarda Cd uygulamasına paralel olarak bitki Cd içeriği de artmıştır. En yüksek tolerans indeksi Cd2.5 konsantrasyonunda 85 olarak, en düşük tolerans indeksi ise Cd10 ve Cd20 uygulamalarında sırasıyla 45 ve 38 olarak belirlenmiştir. En düşük biyolojik alınabilirlik indeksi Cd2.5 konsantrasyonunda %16.0 olarak belirlenmiştir. En yüksek biyolojik alınabilirlik indeksi ise Cd20 uygulamasında % 30.1 olarak belirlenmiştir (Çizelge 3).

Yapılan araştırmalar, bitkilerde ağır metal zararının ilk etkisinin köklerde görüldüğünü ve ağır metal alımı devam ettikçe gövde uzamasının da etkilendiğini bildirmişlerdir (Tester ve Leigh, 2001; Verma ve Dubey, 2003). Citterio ve ark. (2003), *Cannabis sativa* L. bitkisinde, Cd ve Ni uygulamalarının sürgün uzunlukları ile sürgün yaş ağırlıklarına olumsuz etki yaparak önemli azalmalara neden olduklarını tespit etmişlerdir. Quariti ve ark. (1997), tarafından yapılan bir çalışmada 0-50 mM CdCl₂ içeren besin çözeltilerinin 7 gün süre ile bitkilere uygulanması durumunda, Cd uygulamasının sürgün ve kök kuru ağırlık üretimi üzerinde baskılayıcı etkilerini belirlemişlerdir. Çalışmada uygulanan konsantrasyonların artması ile büyümede gerilemeler olduğu görüldü. Bununla birlikte bitkiler yetiştirme süresi boyunca büyümeye devam etmiştir. Fediuc ve Erdei (2002), tarafından yapılan araştırmada farklı iki kamış türünde Cd dozlarına göre, kök ve gövdede Cd konsantrasyonunun arttığını belirtmişlerdir. Eren (2018), *Xanthium strumarium* bitkisinde, artan dozlarda Cd uygulamalarının bitki Cd (mg kg⁻¹) konsantrasyonunda artış, yaş ağırlık ve kuru ağırlıklarda ise azalmalara neden olduğunu belirtmiştir. Aynı durum bizim çalışmada da gözlenmiştir. Gövde de artan konsantrasyonlara paralel olarak Cd içeriği de artmıştır. Bu sonuç dallı darının Cd akümülyasyonunda değerlendirilebileceğini kanıtlamaktadır.

Farklı Dozdaki Cr'nin Dallı Darının Gelişimi ve Ağır Metal Konsantrasyonu Üzerine Etkileri

Farklı konsantrasyonlarda krom ağır metaline maruz kalan dallı darının bitki boyu, yaş ve kuru biomas, bitkinin Cr içeriği, tolerans indeksi ve biyolojik alınabilirlik indeksi üzerine etkileri önemli bulunmuştur. En yüksek bitki boyu, yaş ve kuru biomas kontrol uygulamasından sırasıyla 23.7 cm, 0.53 g, 0.13 g olarak ölçülmüş. En düşük bitki boyu, yaş ve kuru biomas ise Cr160 uygulamasından sırasıyla 13.7 cm, 0.16 g, 0.05 g olarak ölçüldü. Artan konsantrasyonlarda Cr uygulaması ile bitki Cr konsantrasyonunda artış olmuş ve en yüksek Cr içeriği Cr160 uygulamasından 791 mg kg⁻¹ olarak

belirlenmiştir. En yüksek tolerans indeksi Cr40 ve Cr80 konsantrasyonlarında sırasıyla 72 ile 64 olarak ölçülmüştür. En düşük tolerans indeksi ise Cd120 ve Cd160 uygulamalarında sırasıyla 48 ve 38 olarak belirlenmiştir. Biyolojik alınabilirlik indeksi Cr'nin yüksek konsantrasyonlarında daha yüksek olmakla beraber tüm konsantrasyonlarda birden büyük olarak belirlenmiştir.

Çizelge 3. Farklı dozlarda uygulanan Cd'nin dallı darının gelişimi ve Cd konsantrasyonu üzerine etkisi

Cd dozları (mg kg ⁻¹)	Bitki boyu (cm)	Yaş biomas (g bitki ⁻¹)	Kuru biomas (g bitki ⁻¹)	Cd konsantrasyonu (mg kg ⁻¹)	Biyolojik alınabilirlik indeksi	Tolerans indeksi (%)
Kontrol	23.7 a	0.53 a	0.13 a	0.17 e		
2.5	19.1 b	0.39 b	0.11 b	40 d	16.0 d	85 a
5	19.1 b	0.31 c	0.08 c	104 c	20.9 c	60 b
10	16.4 c	0.25 d	0.06 d	257 b	25.7 b	45 c
20	13.8 d	0.18 e	0.05 d	602 a	30.1 a	38 c
F değeri	82.1**	102.3**	53.3**	844.4**	58.6**	32.1**

** P<0.01 düzeyinde önemlidir

Araştırma sonuçları, dallı darıda Cr'nin artan konsantrasyonları karşısında bitki boyu, yaş ve kuru biomas azaldığını göstermektedir. Khan ve ark. (2000), Cr'nin kök hücrelerinin bölünme ve uzamasını engelleyerek kök gelişiminin engellediği ve bu durumun topraktan alınan bitki besin maddesi ile suyun azalmasına yol açarak bitki büyüme ve gelişmesini azalttığını belirtmiştir. Kromun bitki büyümesi ve gelişimi üzerine olan toksik etkileri çimlenme işlevinin yanı sıra kök, gövde ve yaprak büyümesi ve buna bağlı olarak kuru madde üretimindeki değişimleri içermektedir (Shanker ve ark., 2005). Çalışmada dallı darının gövdesinde Cr'nin artan konsantrasyonları ile Cr içeriğinde arttığı gözlenmiştir. Dallı darının kontrole göre gelişiminde gerileme olmuştur. Bununla beraber büyüme devam etmiş ve bitki artan konsantrasyonları tolere etmiştir. Uygulanan bütün konsantrasyonlarda biyolojik alınabilirlik indeksi 1'in üzerinde belirlenmiştir. Brassicaceae familyasına ait *Brassica juncea* (Hint hardalı), *Brassica oleracea* var. *capitata* (lahana) ve *Brassica oleracea* var. *botrytis* (karnabahar) türlerinin toksisite belirtisi göstermeden ve dokularında yüksek miktarlarda Cr biriktirebildiği bildirilmiştir (Zayed ve Terry, 2003; Diwan ve ark., 2008).

Çizelge 4. Farklı dozlarda uygulanan Cr'nin dallı darının gelişimi ve Cr konsantrasyonu üzerine etkisi

Cr dozları (mg kg ⁻¹)	Bitki boyu (cm)	Yaş biomas (g bitki ⁻¹)	Kuru biomas (g bitki ⁻¹)	Cr konsantrasyonu (mg kg ⁻¹)	Biyolojik alınabilirlik indeksi	Tolerans indeksi (%)
Kontrol	23.7 a	0.53 a	0.13 a	0.28 e		
40	19.5 b	0.45 b	0.09 b	64 d	1.6 c	72 a
80	19.2 b	0.29 c	0.08 b	248 c	3.1 b	64 a
120	15.3 c	0.21 d	0.06 c	565 b	4.7 a	48 b
160	13.7 c	0.16 e	0.05 c	791 a	4.9 a	38 b
F değeri	55.7**	374.7**	45.5**	845.8**	213.4**	20.5*

* P<0.05 düzeyinde, ** P<0.01 düzeyinde önemlidir

SONUÇ

Ortamda bulunan ağır metaller karşısında bitkilerin farklı tepkileri olmaktadır. Bazı bitkiler yüksek ağır metal konsantrasyonları karşısında büyüme gelişmelerine devam edebilmekte ve bu ağır metalleri bünyelerine absorbe edebilmektedirler. Bu bitkiler son yıllarda toprakların ağır metallere maruz kalmasında önemli ıslah bitkileri olarak kullanılmaktadır. Yapılan çalışmanın sonuçları Trailblazer çeşidinin Pb, Cd, ve Cr'nin düşük konsantrasyonlarında çok önemli büyüme geriliği göstermediğini, artan konsantrasyonlarda büyümenin azalarak devam ettiğini göstermiştir. Pb 120 mg kg⁻¹, Cd 20 mg kg⁻¹, Cr 160 mg kg⁻¹ ağır metallerin çalışmada kullanılan en yüksek konsantrasyonları olup, bu

konsantrasyonlar karşısında bitki ölümleri olmamış ancak düşük konsantrasyonlu uygulamalara göre büyüme geriliği tespit edilmiştir. Yetiştirme ortamına uygulanan en yüksek ağır metal konsantrasyonlarında Trailblazer çeşidinin gövdesinde bulunan ağır metal konsantrasyonları da en yüksek miktarda bulunmuştur. Her üç ağır metal karşısında da dallı darının biyolojik alınabilirlik indeksi 1'in üzerinde bulunmuştur. Çalışmadan elde edilen sonuçlar ışığında dallı darının Pb, Cd ve Cr ile kontamine toprakların temizlenmesinde iyi bir Pb, Cd ve Cr akümülyatör bitki adayı olabilir. Bu konuda daha uzun süreli yetiştirme koşullarının denenmesi gereklidir.

TEŞEKKÜR

Bu projenin yürütülmesine 2015-FBE-YL279 No'lu proje kapsamında destekte bulunan Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar ve Proje Başkanlığına teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Baş AL, Demet Ö, 1992. Çevresel Toksikoloji Yönünden Bazı Ağır Metaller. *Ekoloji* 5, 42-46.
- Chen HM, Zheng CN, Tu C, Shen ZG, 2000. Chemical Methods and Phytoremediation of Soil Contaminated with Heavy Metals. *Chemosphere*, 41, 229-234.
- Chumbley CG, Unwin RJ, 1982. Cadmium and Lead Content of Vegetable Crops Grown on Land with a History of Sewage Sludge Application. *Environmental Pollution Series B, Chemical and Physical* 4(3), 231-237.
- Citterio S, Santagostino A, Fumagalli P, Prato N, Ranalli P, Sgorbati S, 2003. Heavy Metal Tolerance and Accumulation of Cd, Cr, and Ni by *Cannabis sativa* L. *Plant and Soil*, 256, 243-252.
- Claire LC, Adriano DC, Sajwan KS, Abel SL, Thoma DP, Driver JT, 1991. Effects of Selected Trace Metals on Germinating Seeds of Six Plant Species. *Water, Air, and Soil Pollution*, 59, 231-240.
- Cui YJ, Zhu YG, Zhai RH, Chen DY, Huang YZ, Qiu Y, Liang JZ, 2004. Transfer of Metals From Soil to Vegetables in an Area Near a Smelter in Nanning, China. *Environment International* 30(6), 785-791.
- Das P, Samantaray S, Rout GR, 1997. Studies on Cd Toxicity in Plants ; a Review. *Environ. Pollution*, 98, 29-36.
- Diwan H, Ahmad A, Iqbal M, 2008. Genotypic Variation in the Phytoremediation Potential of Indian Mustard for Chromium. *Environmental Management*, 41, 734-741.
- Eren A, 2010. Kurşun Kirliliği Görülen Toprakların Transgenik Tütün Bitkisi Kullanılarak Temizlenmesi. Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi (Basılmış).
- Eren A, Dağhan H, 2014. Transgenic tobacco-bearing p-cV-ChMTIIGFP gene accumulated more lead compared to wild type. *Polish Journal of Environmental Studies*, 23(2), 569-571.
- Eren A, 2018. *Xanthium Strumarium* L. Bitkisi Yetiştirilerek Kadmiyum ile Kirlenmiş Toprakların Temizlenme Olanağının Araştırılması. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 55(3), 265-270.
- Fediuc E, Erdei L, 2002. Physiological and Biochemical Aspects of Cadmium Toxicity and Protective Mechanisms in *Phragmites australis* and *Typha latifolia*. *Journal of Plant Physiology*, 159, 265-271.
- Fernandes JC, Henriques FS, 1991. Biochemical, Physiological and Structural Effects of Excess Copper in Plants. *The Botanical Review*, 57, 246-273 .
- Ghosh M, Singh SP, 2005. A Comparative Study of Cadmium Phytoextraction by Accumulator and Weed Species. *Environmental Pollution*, 133, 365-371.

- Göksu Ö, Güngör B, 2005. Toprak Kirliliğinin Önemi ve Kontrol Teknikleri. 6. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, Poster Sunumlar, Samsun.
- Hamutoğlu R, Dinçsoy AB, Cansaran Duman D, Saras S, 2012. Biyosorpsiyon, Adsorpsiyon ve Fitoremediasyon Yöntemleri ve Uygulamaları. Türk Hij. Den. Biyol. Derg, 69, 235–253.
- Jana TD, Barua B, 1987. Effects and Relative Toxicity of Heavy Metals on *Cuscuta reflexa*, Water, Air and Soil Pollution, 33, 23-27.
- Kacar B, İnal A, 2008. Bitki Analizleri, Cilt 1., Nobel yayınları, Ankara 892 s.
- Khan AG, Kuek C, Chaudhry TM, Khoo CS, Hayes WJ, 2000. Role of Plants, Mycorrhizae and Phytochelators in Heavy Metal Contaminated Land Remediation. Chemosphere, 41, 197-207.
- McGrath SP, Zhao FJ, 2003. Phytoextraction of Metals and Metalloids from Contaminated Soils. Curr. Opin. Biotechnol. 14, 277–282.
- Monni S, Salemaa M, Millar N, 2000. The Tolerance of *Empetrum nigrum* to Copper and Nickel. Environ. Pollution, 109, 221-229.
- Neilson JW, Artiola JF, Maier RM, 2003. Characterization of Lead Removal from Contaminated Soils by non Toxic Washing Agents. Journal of Environmental Quality, 32, 899-908.
- Quariti O, Gouia H, Ghorbal MH, 1997. Responses of Bean and Tomato Plants to Cadmium: Growth, Mineral Nutrition and Nitrate Reduction. Plant Physiology and Biochemistry, 35 (5), 347- 354.
- Salt, DE, Smith RD, Raskin I, 1998. Phytoremediation. Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol., 49, 643-668.
- Samson RA, Omielan JA, 1992. Switchgrass: A potential biomass energy crop for ethanol production Thirteenth North American Prairie Conference. Windsor, Ontario, Canada. 253-258.
- Sanderson MA, Reed RL, McLaughlin SB, Wulschleger SD, Conger BV, Parrish D J, Wolf DD, Taliaferro C, Hopkins AA, Ocumpaugh WR, Hussey MA, Read JC, Tischler CR, 1996. Switchgrass as a Sustainable Bioenergy Crop. Bioresource Technology, 56, 83-93.
- Shanker AK, Cervantes C, Loza-Tavera H, Avudainayagam S, 2005. Chromium Toxicity in Plants. Environment International, 31, 739-753.
- Sharma P, Dubey RS, 2005. Lead Toxicity in Plants. Brazilian Journal of Plant Physiol, 17 (1), 35-52.
- Tester M, Leigh RA, 2001. Partitioning of Nutrient Transport Processes in Roots. 1. Exp. Bot., 52, 445-457.
- Turhollow AF, 1991. Screening Herbaceous Lignocellulosic Energy Crops in Temperate Regions of the USA. Bioresource Technology, 36, 247-252.
- Verma S, Dubey RS, 2003. Lead Toxicity Induces Lipid Peroxidation and Alters the Activities of Antioxidant Enzymes in Growing Rice Plants. Plant Sci., 164, 645-655.
- Zayed A, Terry N, 2003. Chromium in the Environment: Factors Affecting Biological Remediation. Plant and Soil, 249, 139-56
- Zenk MH, 1996. Heavy Metal Detoxification in Higher Plants-a Review. Gene, 179, 21-30.