

Araştırma Makalesi
(Research Article)

Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg., 2018, 55 (3):265-270
DOI: 10.20289/zfdergi.358586

Abdullah EREN¹

¹ Mardin Artuklu Üniversitesi, Kızıltepe Meslek Yüksekokulu, Organik Tarım Bölümü, 47400, Mardin / Türkiye

sorumlu yazar: abduallaheren@artuklu.edu.tr

Kadmiyum Uygulamalarının Domuz Pıtrağı (*Xanthium strumarium* L.) Bitkisinin Gelişimi Üzerine Etkileri

The Effects of Cadmium Applications on Grown Rough Cocklebur (*Xanthium strumarium* L.)

Alınış (Received): 28.11.2017

Kabul tarihi: (Accepted): 15.02.2018

Anahtar Sözcükler:

Kadmiyum, fitoremediasyon, toprak kirliliği, domuz pıtrağı, ağır metal

Key Words:

Cadmium, phytoremediation, soil pollution, rough cocklebur, heavy metal

ÖZ

Amaç: Bu çalışmada, sırayla 0, 5, 10, 20 ve 40 mg kg⁻¹ kadmiyum (Cd) ile kirlenmiş topraklarda 6 hafta boyunca kontrollü koşullarda yetiştirilen domuz pıtrağı (*Xanthium strumarium* L.) bitkisinin Cd metalini temizleyebilme yani fitoremediasyon olanakları araştırılmıştır.

Materyal ve Metot: Artan dozlarda 0, 5, 10, 20 ve 40 mg Cd kg⁻¹ 3CdSO₄.8H₂O formunda uygulanarak 3 hafta inkübasyona bırakılan topraklarda 6 hafta süreyle domuz pıtrağı yetiştirilmiştir. Bitkiler hasat edilmeden önce klorofil ölçüm cihazı ile klorofil içerikleri ölçülmüştür. Hasat sonrası öğütülen bitki örnekleri nitrik asit (HNO₃) ile mikro dalga fırında çözünürleştirilerek Cd, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu ve Mn konsantrasyonları İndüktif Eşleşmiş Plazma-Atomik Emisyon Spektrometre (ICP-AES) cihazında ölçülmüştür. Bitki örneklerinde N ve indirgenmiş glutatyon analizi (GSH) yapılmıştır.

Bulgular: Denemede bitkilerin kontrole göre; klorofil düzeyleri (alt yaprak:29.1-25.4 SPAD birimi ve üst yaprak:31.6-27.3 SPAD birimi), bitkide Cd konsantrasyonu (0.01-14.3 mg kg⁻¹), ağır metal alımı (0.08-74.9 µg bitki⁻¹), indirgenmiş glutatyon (GSH) (235-283 µg mL⁻¹), makro (azot (N), fosfor (P), potasyum (K), kalsiyum (Ca) ve magnezyum (Mg)) ve mikro (demir (Fe), çinko (Zn), bakır (Cu) ve mangan (Mn)) besin elementi konsantrasyonları düşüş göstermiştir.

Sonuç: Sonuçlar domuz pıtrağı (*Xanthium strumarium* L.) bitkisinin gövdesinde Cd (>100 mg kg⁻¹) akümüle edemediğini ve fitoekstraksiyon yöntemi için uygun olmadığını göstermiştir.

ABSTRACT

Objective: In this study, the possibilities of clean up the Cd metal of the rough cocklebur (*Xanthium strumarium* L.) grown on controlled conditions for 6 weeks in soil contaminated with 0, 5, 10, 20 and 40 mg kg⁻¹ cadmium (Cd), respectively were investigated.

Material ve Methods: The rough cocklebur were cultivated for 6 weeks in soil, which was allowed to incubate for 3 weeks in the form of 0, 5, 10, 20 and 40 mg Cd kg⁻¹ as 3CdSO₄.8H₂O in increasing doses. Chlorophyll contents were measured with chlorophyll meter before plants were harvested. Concentrations of Cd, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu and Mn were measured in an Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometer (ICP-AES) by microwave digestion of the plant samples after harvesting with nitric acid (HNO₃). Total N and reduced glutathione analysis (GSH) were also performed on plant samples.

Results: According to the results of the experiment, levels of chlorophyll (lower leaf: 29.1-25.4 SPAD unit and upper leaf: 31.6-27.3 SPAD unit), cadmium concentration in the plant (0.01-14.3 mg kg⁻¹), heavy metal intake (0.08-74.9 µg plant⁻¹), reduced glutation (GSH) (235-83 µg mL⁻¹), macro (nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg)) and micro (iron (Fe), zinc (Zn), copper (Cu) and manganese (Mn)) concentrations have shown a decrease.

Conclusion: The results showed that rough cocklebur (*Xanthium strumarium* L.) did not accumulate Cd (> 100 mg kg⁻¹) in shoots and were not suitable for the phytoextraction method.

GİRİŞ

Küresel bir çevre sorunu haline gelen ve son yıllarda giderek artan ağır metal ve organik kirleticiler tarafından toprak kirliliği gün geçtikçe artmaktadır (Zhang ve ark., 2013).

Tarım alanlarında verimi artırmak amacıyla kullanılmakta olan özellikle fosforlu ve kompoze gübreler ile pestisitlerin toprağa aşırı ve bilinçsiz bir şekilde uygulanması, toprakta toksik metal yoğunluklarını artırmaktadır. Bu metallerin tarım bitkileri tarafından alınarak besin zincirine dahil edilmesi ya da topraktan yıkanarak hem yüzey hemde yeraltı su kaynaklarına ulaşması sonucu çok büyük bir çevresel tehlike olarak görülmektedir (Arda ve ark., 2015).

Toprak kirliliği tarım ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etki yaratan önemli bir çevre sorunudur. Toksik elementlerin uzaklaştırılması için kullanılan yöntemlerden biri olan fitoremediasyon teknolojisinin gün geçtikçe popüleritesi artmaktadır. Bazı bitkiler ağır metal detoksifikasyonu ile ilgili bazı mekanizmalara sahip olup, metal stresi altında bile canlı kalabilmektedir. Hiperakümülatör bitkiler yüksek konsantrasyonlarda metal iyonlarını bünyelerinde barındırmakta ve detoksifiye edebilmektedir (Hamutoğlu ve ark., 2012).

Fitoremediasyon yöntemi toprak ve sudaki organik ve inorganik kirleticilerin bitki kökleri tarafından alınarak, yeşil aksam taşınmasını veya inaktif hale getirilmesini ifade etmektedir (Dağhan ve Öztürk, 2015). Bu yöntemde kullanılacak bitkinin iklim ve toprak özelliklerinin sınırlayıcı olmaması, yüksek miktarda kök ve yeşil aksam üretebilmesi, bünyesine aldığı yüksek konsantrasyondaki ağır metal/metalleri tolere edebilme yeteneğine sahip olabilmelidir (Dağhan ve ark., 2012).

Xanthium strumarium L. bitkisi dünyanın birçok bölgesinde ve Türkiye'nin ise hemen hemen her bölgesinde ve farklı toprak şartlarında yetişebilen tek

yıllık bir bitkidir (Cesur ve Şenkal, 2016). Bu bitkinin biyokütlesi ve boyunun 1-2 m'ye kadar uzayabilmesi nedeniyle Cd fitoekstraksiyonu için en uygun yabancı otlardan biri olabileceği belirtilmiştir (Ogasawara, 2012). Bu bitkinin giderek artan toprak kirliliği sorununu çözmek amacıyla ağır metal birikim ve tolerans kapasitesinin belirlenmesi ve fitoremediasyon yönteminde kullanılması için uygun bir bitki olup olmadığının belirlenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmanın amacı, toprak kültürü ortamında iklim odasında kurulan saksılarda, Cd ağır metalinin 5 farklı dozunun (0, 5, 10, 20 ve 40 mg Cd kg⁻¹) *Xanthium strumarium* L. bitkisinin kuru ağırlık, klorofil miktarları, indirgenmiş glutatyon (GSH), Cd konsantrasyonu ve içeriği ile makro (N, P, K, Ca ve Mg) ve mikro besin elementleri (Fe, Zn, Cu ve Mn) alımına etkisi araştırılmıştır. *Xanthium strumarium* L. bitkisinin tek yıllık, doğada çok rahat yetişebilen ve bazı stres koşullarına dayanıklı olması ile yüksek biyokütle ve kök üretmesi gibi özellikleri göz önünde bulundurularak, bu bitkinin Cd hiperakümülatörü bir bitki olup olmadığı ve fitoekstraksiyon yönteminde kullanılabilirliği açısından önemi de araştırılmıştır.

MATERYAL ve YÖNTEM

Araştırmada bitki materyali olarak tek yıllık *Xanthium strumarium* L. bitkisi kullanılmıştır. Bu bitki su kenarlarında, tarla kültürlerinde, ağır, nemli ve bitki besin maddesince zengin topraklarda sık rastlanılan, iklim ve toprak seçiciliği fazla olmayan ayrıca tuza dayanıklı bir bitkidir (Uygur ve ark., 1986).

Deneme toprağı materyali olarak Amik Ovası'nın Paşaköy serisi toprağı kullanılmıştır (Kılıç ve ark., 2008). Araştırmada kullanılan toprağının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 1.'de verilmiştir.

Çizelge 1. Araştırmada kullanılan toprağının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Table 1. Some physical and chemical properties of the soil used in the study

Özellik	Paşaköy Serisi	Kaynaklar
Bünye	Killi	Bouyoucus, 1952
Tuz (%)	0.22	Soil Survey Staff, 1951
CaCO ₃ (%)	45.1	Loeppert ve ark., 1996
Organik Madde (%)	2.55	Kacar, 1995
Organik Carbon (%)	1.48	Kacar, 1995
Tarla Kapasitesi (%)	32.4	Alpaslan ve ark., 1998
Toplam N (%)	1.12	Bremner, 1965
Alınabilir P (mg P ₂ O ₅ kg ⁻¹)	19.1	Olsen ve ark., 1954
Alınabilir K (mg K ₂ O kg ⁻¹)	77.3	Richards, 1954
DTPA ile ekstrakte edilebilir Fe (mg kg ⁻¹)	24.4	Lindsay ve Norvell, 1978
DTPA ile ekstrakte edilebilir Cu (mg kg ⁻¹)	3.70	Lindsay ve Norvell, 1978
DTPA ile ekstrakte edilebilir Mn (mg kg ⁻¹)	69.7	Lindsay ve Norvell, 1978
DTPA ile ekstrakte edilebilir Zn (mg kg ⁻¹)	7.40	Lindsay ve Norvell, 1978
DTPA ile ekstrakte edilebilir Cd (mg kg ⁻¹)	0.04	Lindsay ve Norvell, 1978

Denemede uygulanacak Cd dozları Lindsay (1979) tarafından bildirilen ortalamalar ve üst limitler göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. Toprakta homojen bir dağılım sağlamak için saksılara ekim öncesinde artan dozlarda 0, 5, 10, 20 ve 40 mg Cd kg⁻¹ 3CdSO₄.8H₂O formunda uygulanarak 3 hafta inkübasyona bırakılmıştır. Ekimden önce, her saksıya NH₄SO₄ formunda 200 mg N kg⁻¹, KH₂PO₄ formunda 100 mg P kg⁻¹ ve 125 mg K kg⁻¹ ile Fe-EDTA formunda 2.5 mg Fe kg⁻¹ çözelti şeklinde uygulanmıştır. Deneme süresince saksılar tarla kapasitesi % 60-80 olacak şekilde deiyonize su ile sulanarak 6 hafta yetiştirilmiştir.

Deneme sonunda bitkiler toprak yüzeyinin yaklaşık 1 cm üzerinden hasat edilip saf suyla yıkanmış, ardından kurutma dolabında 65°C'de sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Daha sonra bitkilerin kuru ağırlıkları alınarak bitki analizleri için agat taşı bitki öğütme değirmeninde (Retsch RM 200) öğütülmüştür. Deneme sonuçları tüm bitki olarak değerlendirilmiştir. Öğütülen bitki örnekleri nitrik asit (HNO₃) ile mikro dalga fırında (MarsXpress CEM) çözünürleştirilerek Cd, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu ve Mn konsantrasyonları İndüktif Eşleşmiş Plazma-Atomik Emisyon Spektrometre (ICP-

AES) cihazında (Varian Series-II) ölçülmüştür. Bitki örneklerinde N analizi Kjeldhal yöntemine göre yapılmıştır (Bremner, 1965).

Bitkilere Cd uygulamasının etkisiyle yapraklarda değişen klorofil içerikleri, bitkiler hasat edilmeden önce klorofil ölçüm cihazı (Konica-Minolta SPAD-502) ile 3 yinelemeli olarak ölçülmüştür.

Bitkide doz artışına bağlı olarak Cd içeriği [kuru ağırlık (g bitki⁻¹) x konsantrasyon (µg g⁻¹)] hesaplanmıştır.

İndirgenmiş glutatyon analizi (GSH) Çakmak ve Marschner (1992)'a göre yapılmıştır.

Deneme sonucunda elde edilen veriler SPSS 22.0 istatistiksel analiz programı kullanılarak, faktöriyel deneme desenine göre değerlendirilmiş ve Bek (1986)'e göre Duncan testi uygulanarak gruplandırılmıştır.

ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Artan dozlarda Cd uygulamalarının *Xanthium strumarium* L. bitkisinde yaş ağırlık, kuru ağırlık, klorofil miktarları, GSH, Cd konsantrasyonu ve içeriği yönünden istatistiksel olarak önemli (p≤0.01) olduğu görülmektedir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Kadmiyumun *Xanthium strumarium* L. bitkisindeki, yaş ağırlık, kuru ağırlık, klorofil miktarları, GSH, Cd konsantrasyonu ve içerikleri üzerine etkileri

Table 2. The effects of Cd on the wet weight, dry weight, chlorophyll level, GSH, Cd concentrations and contents of the plant *Xanthium strumarium* L.

Çeşit	Doz Cd (mg kg ⁻¹)	Yaş ağırlık (g bitki ⁻¹)	Kuru ağırlık (g bitki ⁻¹)	Klorofil (SPAD Birimi)		GSH (µg mL ⁻¹)	Cd Konsantrasyonu (mg kg ⁻¹)	Cd içeriği (µg bitki ⁻¹)
				Alt Yaprak	Üst Yaprak			
<i>Xanthium strumarium</i> L.	0	56.3 a	7.77 a	29.1 a	31.6 a	235 b	0.01 e	0.08 e
	5	41.8 b	5.62 b	28.1 ab	28.2 b	248 b	6.33 d	35.5 d
	10	42.5 b	5.72 b	26.8 bc	26.0 c	259 ab	7.61 c	43.5 c
	20	44.5 b	5.73 b	26.2 c	27.4 bc	279 a	9.19 b	52.6 b
	40	37.2 c	5.24 b	25.4 c	27.3 bc	283 a	14.3 a	74.9 a
Doz	F	41.0**	43.4**	8.47**	15.6**	5.71**	230**	151**

(**) p≤0.01 hata sınırları içinde istatistiksel olarak önemli

Kadmiyum uygulamalarının *Xanthium strumarium* L. bitkisinde yaş ve kuru ağırlıklarında azalmalara neden olduğu, kuru ağırlık (7.77-5.24 g bitki⁻¹), yaş ağırlık (56.3-37.2 g bitki⁻¹) aynı şekilde klorofil miktarlarının da azaldığı görülmektedir (Çizelge 2). Benzer sonuç Dağhan ve ark. (2013)'ün transgenik ve transgenik olmayan tütün bitkilerinin Cd alım potansiyellerini karşılaştırdıkları bir çalışmada da elde edilmiştir. Araştırmacılar, bitkilerdeki doz uygulamalarına bağlı olarak Cd içeriğinin arttığını, ayrıca Cd metalinin bitkilerde kontrol grubuna göre biyokütle üzerine olumsuz etki oluşturduğunu belirtmişlerdir.

Klorofil düzeyleri; kontrol gruplarına göre alt yaprak 29.1-25.4 SPAD birimi ve üst yaprak 31.6-27.3

SPAD birimi arasında değişim göstermekle beraber artan Cd dozları karşısında düşüş göstermiştir. Kadmiyum dozlarının yaprakların klorofil miktarları üzerine etkileri istatistiksel olarak %1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Amirjani (2012), Cd'un buğday bitkisine etkisi üzerine yapmış olduğu araştırmada, buğdayın genel olarak olumsuz etkilendiği ve klorofil içeriği (klorofil-a, b ve a+b), artan Cd dozları ile klorofil miktarının düştüğünü belirtmiştir.

Artan dozlarda Cd, bitkide en düşük GSH konsantrasyonu kontrol grubu 235 µg mL⁻¹ ve en yüksek 283 µg mL⁻¹ ile 40 mg Cd kg⁻¹ uygulamasında olduğu görülmektedir (Çizelge 2). Tiryakioğlu ve ark. (2006), arpa bitkisinde artan dozlarda Cd uygulamasına bağlı olarak yeşil aksamda GSH bileşikleri düzeyinin önemli

oranda arttığını bildirmiştir. Ayrıca Öztürk ve ark. (2003), yapmış olduğu çalışmada, Cd dozlarına bağlı olarak, makarnalık buğdaylarda hem yeşil aksamda hem de köklerde kontrol grubuna göre GSH bileşikleri düzeyinin arttığı bildirilmiştir.

Kadmiyum dozlarındaki artışla birlikte *Xanthium strumarium* L. bitkisinin Cd konsantrasyonunda (0.01-14.3 mg kg⁻¹) artış göstermiştir (Çizelge 2). Alloway (1995)'e göre bitkilerin dokularında biriktirdikleri Cd konsantrasyonlarının kritik konsantrasyon (5-30 mg Cd kg⁻¹) aralığında olduğu belirlenmiştir. Eren ve Mert (2017), yapmış oldukları bir çalışmada, artan dozlarda Cd (5, 10, 20 ve 40 mg Cd kg⁻¹) uygulamalarının, andız otu (*Inula helenium*), fener otu (*Physalis angulata*) ve sıgırcıyruğu (*Verbascum thapsus*) bitkilerinde Cd konsantrasyonunun arttığını belirtmişlerdir.

Çizelge 3. Kadmiyumun *Xanthium strumarium* L. bitkisindeki N, P, K, Ca ve Mg konsantrasyonları üzerine etkisi
Table 3. The effects of Cd on the N, P, K, Ca and Mg concentrations of the plant *Xanthium strumarium* L.

Çeşit	Doz Cd (mg kg ⁻¹)	N (g kg ⁻¹)	P (g kg ⁻¹)	K (g kg ⁻¹)	Ca (g kg ⁻¹)	Mg (g kg ⁻¹)
<i>Xanthium strumarium</i> L.	0	31.8 a	10.5 a	56.3 a	30.0 a	1.05 a
	5	26.2 b	8.79 d	45.0 c	28.9 a	1.03 a
	10	26.3 b	9.51 b	51.4 b	25.0 b	1.02 ab
	20	29.0 ab	9.11 c	49.0 b	27.3 ab	0.98 b
	40	28.7 ab	8.60 d	48.7 b	27.7 ab	0.97 b
Doz	F	3.95*	77.8**	21.7**	5.16*	5.93**

(**) p≤0.01 hata sınırları içinde istatistiksel olarak önemli

(*) p≤0.05 hata sınırları içinde istatistiksel olarak önemli

Farklı doz uygulamalarının bitkilerin makro element (N, P, K, Ca ve Mg) konsantrasyonları üzerine etkisi kontrol grubuna göre azalma göstermiştir (Çizelge 3). Benzer sonuçlar bazı araştırmacılar tarafından da bildirilmiştir. Buğday fidelerinin yetiştirildiği bir ortama Cd ilave edilmesinin bitkilerin K ve nitrat (NO₃) alımını azalttığı ve sürgün gelişimini engellediği, Öktüren ve ark. (2007) tarafından

Bitkide doz artışına bağlı olarak Cd içeriğinin, en düşük kontrol grubunda 0,08 µg bitki⁻¹ ve en yüksek 74,9 µg bitki⁻¹ ile 40 mg Cd kg⁻¹ uygulamasında olduğu görülmektedir (Çizelge 2). Doz uygulamalarına bağlı olarak Cd içeriği artış göstermiş olup bitkide herhangi bir kloroz ya da nekroz gözlemlenmemiştir. Zhang ve ark. (2014) tarafından yapılan çalışmada da benzer sonuç elde edilmiştir. Araştırmacılar, iki farklı çim bitkisine Cd uygulamalarının (15, 30, 60 ve 100 mg Cd kg⁻¹) etkisini inceledikleri çalışmada, bitkilerin köklerinde ve yeşil aksamlarında yüksek miktarda Cd biriktirdiklerini tespit etmişlerdir.

Kadmiyum uygulamalarının *Xanthium strumarium* L. bitkisinde P, K, ve Mg alım miktarları yönünden istatistiksel olarak (p≤0.01) ve N ile Ca ise (p≤0.05) düzeyinde önemli bulunmuştur (Çizelge 3).

belirtilmiştir. Dağhan ve ark. (2013), Cd'un artan dozlarıyla yapmış oldukları bir çalışmada bütün bitkilerinde yeşil aksamın N, P ve K konsantrasyonlarında bir azalma olduğu bildirilmiştir.

Artan dozlarda Cd uygulamalarının *Xanthium strumarium* L. bitkisinde Fe, Zn, Cu, ve Mn miktarı yönünden istatistiksel olarak (p≤0.01) önemli olduğu görülmektedir (Çizelge 4).

Çizelge 4. Kadmiyumun *Xanthium strumarium* L. bitkisindeki Fe, Zn, Cu ve Mn konsantrasyonları üzerine etkisi
Table 4. The effects of Cd on the Fe, Zn, Cu and Mn concentrations of the plant *Xanthium strumarium* L.

Çeşit	Doz Cd (mg kg ⁻¹)	Fe (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)	Mn (mg kg ⁻¹)
<i>Xanthium strumarium</i> L.	0	53.2 a	16.2 a	46.3 a	121 a
	5	34.8 b	15.3 ab	46.0 ab	106 b
	10	30.3 c	13.3 b	45.0 ab	103 bc
	20	24.5 d	9.30 c	40.7 bc	98.2 cd
	40	24.0 d	7.13 d	36.0 c	93.0 d
Doz	F	83.8**	42.8**	7.80**	39.8**

(**) p≤0.01 hata sınırları içinde istatistiksel olarak önemli

Kadmiyum dozlarındaki artışın bitkilerde mikro element (Fe, Zn, Cu ve Mn) konsantrasyonları üzerine etkisinin kontrol grubu ile kıyaslandığında bir azalma gösterdiği saptanmıştır (Çizelge 4). Asri ve ark. (2007) tarafından bildirildiğine göre, 10 ve 50 µM Cd uygulanan bezelye bitkisinde Fe ve Mn konsantrasyonlarının kontrol grubuna göre azaldığını Hernández ve ark. (1998) tarafından belirtilmiştir. Wu ve ark. (2005), pamuk bitkisine 1 ve 10 mM Cd uygulaması ile bitkinin yeşil aksamalarında Fe, Cu ve Zn konsantrasyonlarının azaldığını tespit ettiklerini belirtmişlerdir.

SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada kullanılan Cd ağır metalinin artan dozları *Xanthium strumarium* L. bitkisinde, yaş ağırlık üretiminde %33,9 ve kuru ağırlık üretiminde ise %32,6'lık bir azalma göstermiştir. Bu azalmanın temel nedenleri arasında; bu elementin toksik seviyelerde bitki dokularında birikmesi veya bitkinin büyüme ve gelişmesini sağlayan metabolizmaların olumsuz etkilemesi ile ilgili olabileceği düşünülmektedir.

Kadmiyum ağır metalinin artan dozları bitkilerin yaş ağırlık, kuru ağırlık ve klorofil miktarlarında

düşüşe neden olduğu, GSH konsantrasyonuna etkisi ise kontrol grubuna göre artış gösterdiği, 235-283 µg mL⁻¹ arasında değişmiş olup en yüksek 40 mg Cd kg⁻¹ uygulamasında elde edilmiştir. Glutasyonun (γ-glutamilsistein glisin) indirgenmiş formu olan GSH, hücre içi ortamının en önemli antioksidan moleküllerinden olup, DNA ve protein sentezleri, enzim aktivitelerinin düzenlenmesi, hücre içi ve dışı transportlar gibi hücre fonksiyonları dışında başlıca antioksidan olarak hücre savunmasında (Çöteli ve ark., 2017), bitkilerde oksidatif strese karşı rolü olan en önemli metabolitlerden birisidir (Büyükc ve ark., 2012).

Kadmiyum içerikleri üzerine etkisinin ise arttığı, diğer elementlere etkisinin artan Cd dozları karşısında genel anlamda azaldığı belirlenmiştir. Kadmiyum elementinin etkisinin daha çok bitkilerin kök yapısını bozmasıyla ilgili iken, diğer elementlerde metabolik olaylara olan etkilerin de önemli olduğu kanaatine varılmıştır.

Domuz pıtrağı (*Xanthium strumarium* L.) bitkisinin Cd toksisitesine karşı, bitkilerin biyokimyasal ve fizyolojik tepkilerini araştırmada fitoremediasyon etkinliğinin artırılmasında önemli bir adım olacaktır.

KAYNAKLAR

- Alloway, B.J. 1995. Blackie Academic and Professional. Heavy metals in soils 2nd edition Chapman and Hall press, London, UK.
- Alpaslan, M., A. Güneş, ve A. İnal. 1998. Deneme tekniği. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayın No:1502, 455s.
- Amirjani, M.R. 2012. Effects of Cadmium on Wheat Growth and Some Physiological Factors. International Journal of Forest, Soil and Erosion (IJFSE), 2(1):50-58.
- Arda, H., İ.A. Helvacıoğlu, Ç. Meriç ve C. Tokatlı. 2015. İpsala İlçesi (Edirne) Toprak ve Pirinç Kalitesinin Bazı Esansiyel ve Toksik Element Birikimleri Açısından Değerlendirilmesi. Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi, 8(1):7-13.
- Asri, F.Ö., S. Sönmez ve S. Çıtak. 2007. Kadmiyumun çevre ve insan sağlığı üzerine etkileri. Batı Akdeniz Tarımsal Enstitüsü. Derim Dergisi. 24:32-39
- Bek, Y. 1986. Araştırma ve Deneme Metotları. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi. Ders Notu. Yayın No: 92, Adana.
- Bouyoucos, G.J. 1952. A recalibration of hydrometer for making mechanical analysis of soils. Agronomy Journal, 43:434-438.
- Büyükc, İ., S. Soydam-Aydın and S. Aras. (2012). Bitkilerin stres koşullarına verdiği moleküler cevaplar. Turkish Bulletin of Hygiene and Experimental Biology/Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji, 69(2).
- Bremner, J.M. 1965. Methods of soil analysis part 2. chemical and microbiological properties. in ed. American Society of Agronomy, Inc. Pub. Argon Series, No.9 Madison. Wisconsin, U.S.A.
- Cesur, C. ve B.C. Şenkal. 2016. Pıtrağ (*Xanthium strumarium* L.) Bitkisinin Kültüre Alınma Potansiyelinin İncelenmesi. KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi, 19(1):72-75.
- Çakmak, I. and H. Marschner. 1992. Magnesium deficiency and high light intensity enhance activities of superoxide dismutase, ascorbate peroxidase and glutathione reductase in bean leaves. Plant Physiology, 98:1222-1227.
- Çöteli, E., M. Alataş and N. Batan. (2017). *Syntrichia ruralis* ve *Syntrichia montana* (Pottiaceae) Taksonlarının Glutasyon. Anatolian Bryology, 3(1):25-30.
- Dağhan, H., N. Köleli, V. Uygur, M. Arslan, D. Önder, V. Gökşun ve Ağca. N. 2012. Kadmiyum ile kirlenmiş toprakların fitoekstraksiyonla arıtımında transgenik tütün bitkisinin kullanımının araştırılması. Toprak ve Su Dergisi, 1(1): 1-6.
- Dağhan, H., M. Arslan, V. Uygur ve N. Köleli. 2013. Transformation of tobacco with ScMTII gene-enhanced cadmium and zinc accumulation. Clean-Soil, Air, Water, 41(5):503-509.
- Dağhan, H., and M. Ozturk. 2015. Soil pollution in Turkey and remediation methods. In: K.R. Hakeem, M. Sabir, M. Ozturk, A. Mermut (Eds), Soil Remediation and Plants: Prospects and Challenges, September 2015, Academic Press., Elsevier, New York, pp. 287-312.
- Eren, A. ve M. Mert. 2017. Ağır metal (Ni, Cd ve Cu) uygulamalarının andızotu, fener otu ve sığırkuyruğu bitkilerinin büyüme ve gelişmesi üzerine etkisi. Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi, 4(1):50-58.
- Hamutoğlu, R., A. B. Dinçsoy, D. Cansaran-Duman ve S. Aras. 2012. Biyosorpsiyon, adsorpsiyon ve fitoremediasyon yöntemleri ve uygulamaları. Türkiye Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi, 69(4):235-253.
- Kacar, B. 1995. Bitki ve Toprağın Kimyasal Analizleri, III. Toprak Analizleri. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Eğitim, Araştırma ve Geliştirme Vakfı Yayınları, No:3, Ankara.
- Kılıç, Ş., N. Ağca, S. Karanlık, S. Şenol, M. Aydın, M. Yalçın, İ. Çelik, F. Evrendilek, V. Uygur, K. Doğan, S. Aslan ve M. A. Çullu. 2008. Amik ovasının detaylı toprak etütleri, verimlilik çalışması ve

- arazi kullanım planlaması, Devlet Planlama Teşkilatı (DPT) Projesi, Proje no: DPT-2002K120480, Hatay.
- Lindsay, W.L. and W.A. Norvell, 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal*, 42:421-428.
- Lindsay, W.L. 1979. *Chemical equilibria in soils*. Wiley and Sons, N.Y., p.449.
- Loeppert, R.H. and D. L. Suarez. 1996. Carbonate and gypsum. In *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical Methods*, 437-474. Edited by D.L. Sparks. Madison, Wisconsin, USA.
- Olsen, S.R., V. Cole, F.S. Watanabe and L.A. Dean. 1954. Estimation of Available Phosphorus in Soils by Extraction with Sodium Bicarbonate, U.S.D.A. Walkley, A. 1946. A Critical Examination of a Rapid Method for Determining Organic Carbon in Soils. *Soil Sci.* 63:251-263
- Ogasawara, M. 2012. Restoration of cadmium (Cd) pollution soils by use of weeds, soil health and land use management, Dr. Maria C. Hernandez Soriano (Ed.), ISBN: 978-953-307-614-0, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/soil-health-and-land-use-management/restoration-of-cadmium-cdpollution-soils-by-use-of-weeds>
- Öktüren, F.A., S. Sönmez ve S. Çıtak. 2007. Kadmiyumun çevre ve insan sağlığı üzerine etkileri. *Derim* 24(1):32-39
- Öztürk, L., S. Eker ve F. Özkutlu. 2003. Effect of cadmium on growth and concentrations of cadmium, ascorbic acid and sulphhydryl groups in durum wheat cultivars. *Turk J Agric For* 27 161-168.
- Richards, L.A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. United States Department of Agriculture Handbook 60, 94.
- Soil Survey Staff, 1951. *Soil survey manual*. U.S. department of agriculture, Handbook No,18. U.S Government Print Office. Washington.
- Tiryakioğlu, M., S. Eker, F. Özkutlu, S. Husted and I. Çakmak. 2006. Antioxidant defense system and cadmium uptake in barley genotypes differing in cadmium tolerance. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 20(3):181-189.
- Uygur, F.N., W. Koch ve H. Walter. 1986. Çukurova bölgesi buğday-pamuk ekim sistemindeki önemli yabancı otların tanımı. *PLTS* 4(1). Josef Margraf, Aichtal.
- Wu, H., F. Wu, G. Zhang and D.M. Bachir. 2005. Effect of cadmium on uptake and translocation of three microelements in cotton, *Journal of Plant Nutrition*. 27(11):2019-2032.
- Zhang, X., H. Wang, L. He, K. Lu, A. Sarmah, J. Li, ... and H. Huang. 2013. Using biochar for remediation of soils contaminated with heavy metals and organic pollutants. *Environmental Science and Pollution Research*, 20(12):8472-8483.
- Zhang, X., B. Gao and H. Xia. 2014. Effect of cadmium on growth, photosynthesis, mineral nutrition and metal accumulation of bana grass and vetiver grass. *Ecotoxicology and environmental safety*, 106, 102-108.