



Bakırla Kirlenmiş Toprakların *Xanthium strumarium* L. Bitkisi Kullanılarak Fitoremediasyonu

Abdullah EREN*

Artuklu Üniversitesi, Kızıltepe Meslek Yüksekokulu, Organik Tarım Bölümü, Artuklu-Mardin, TÜRKİYE

Geliş Tarihi/Received: 20.03.2018

Kabul Tarihi/Accepted: 26.06.2018

ORCID ID

orcid.org/0000-0003-1187-7978

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: abdullaheren@artuklu.edu.tr

Özet: Antropojenik aktivite sonucu çevreye dâhil olan ağır metaller, toprak kirliliğine ve toprak kalitesinin düşmesine neden olmaktadır. Ağır metallerin topraktan temizlenmesi için en uygun yöntemlerden biri olan fitoremediasyon yöntemi çevre dostu ve ekonomik bir yöntemdir. Bu çalışma, yapay olarak bakır (Cu) ile kirlenmiş topraktan, *Xanthium strumarium* L. (pıtrak) bitkisinin, fitoekstraksiyon etkinliğini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Farklı dozlarda (0, 100, 200, 400 ve 800 mg Cu kg⁻¹) Cu uygulanan toprakta 45 gün boyunca sera koşullarında pıtrak (*Xanthium strumarium* L.) bitkisi yetiştirilmiştir. Bitkilerin başta Cu konsantrasyonu olmak üzere klorofil içeriği, biyokütle üretimi, indirgenmiş glutatyon (GSH), bazı makro [azot (N), fosfor (P), potasyum (K), kalsiyum (Ca) ve magnezyum (Mg)] ve mikro [demir (Fe), çinko (Zn) ve manganez (Mn)] besin elementi konsantrasyonları ölçülmüştür. Bakır uygulanmış bitkiler kontrol (0 mg Cu kg⁻¹) bitkisi ile karşılaştırılmıştır. Artan dozda Cu uygulamaları, Cu ve GSH konsantrasyonları hariç diğer ölçülen parametrelerde bir azalmaya neden olmuştur. Sonuçlar, pıtrak bitkisinin, Cu ile kirlenmiş toprakların temizlenmesi için kullanılabileceğini ve fitoremediasyon yöntemine uygun olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Bakır, fitoremediasyon, toprak kirliliği, ağır metal, *Xanthium strumarium* L.

Phytoremediation of Copper Contaminated Soil Using *Xanthium strumarium* L. Plant

Abstract: The heavy metals introduced into the environment by anthropogenic activity cause soil pollution and a decrease in soil quality. The phytoremediation method, which is one of the most suitable methods for removing heavy metals from the soil, is an environmentally friendly and economical method. This study was conducted to determine the effectiveness of *Xanthium strumarium* L. plants for phytoextraction of copper (Cu) from the artificially contaminated soil. The cocklebur (*Xanthium strumarium* L.) plant was grown in copper (Cu) contaminated soil (0, 100, 200, 400 and 800 mg Cu kg⁻¹) under greenhouse conditions for 45 days. Copper concentration, chlorophyll content, biomass production, reduced glutathione (GSH), some macro [nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca) and magnesium (Mg)] and micro [iron (Fe), zinc (Zn) and manganese (Mn)] nutrient concentrations of the plants were measured. The Cu applied plants were compared with the control (0 mg Cu kg⁻¹) plant. Increasing doses of Cu have caused a reduction in other measured parameters, except Cu and GSH concentrations. The results show that the cocklebur plant can be used to clean Cu-contaminated soils and is suitable for the phytoremediation method.

Keywords: Copper, phytoremediation, soil pollution, heavy metal, *Xanthium strumarium* L.

1. Giriş

Topraklarda ağır metal kirliliği günümüzün en önemli çevre sorunlarından birisidir. Bir yandan

sanayinin hızla artması, diğer yandan insan nüfusunun artması sonucunda birçok atık maddenin toprağa karışması ile toprak kirliliği

oluşmaktadır (Güler ve Çobanoğlu, 1997; Sun ve ark., 2010). Özellikle tarım topraklarının ağır metallerle kirlenmesi bitkilerde ürün kaybının yanı sıra bu ürünleri tüketen canlılarda da ciddi sorunlara neden olmaktadır (Munzuroğlu ve Gür, 2000; Zeng ve ark., 2011).

Peryodik çizelgedeki yoğunluğu 5 g cm^{-3} 'ten daha yüksek olan metaller veya atom kütlesi 50 ve daha büyük olan elementler ağır metal olarak adlandırılırlar (Kahvecioğlu ve ark., 2003). Civa (Hg), kurşun (Pb), kadmiyum (Cd) ve hekvaleant krom (Cr [VI]) gibi ağır metaller en toksik etkili ağır metallere aittir. Ağır metaller arasında yer alan bakır (Cu), çinko (Zn) ve demir (Fe) gibi metaller canlılar için mutlak gerekli iken, bazıları (Nikel, Ni) gelişimi uyarıcı metallere aittir. Ancak yüksek dozlarda hepsi toksik etki yapmaktadır. Bu metallerin son elli yılda yaygın kullanımları ve çevrede artan seviyeleri ciddi bir endişe kaynağıdır (Lothe ve ark., 2016).

Bakır, flora ve faunanın büyümesi için mutlak gerekli olan bir mikro besin elementidir. Bitkilerde fotosentez, protein ve karbonhidrat metabolizması, azot (N) fiksasyonu, oksidasyon ve hücre duvarı metabolizması gibi birçok önemli fonksiyonu etkiler (Kabata ve Pendias, 2001). Dünya çapında toprakların ortalama toplam Cu içeriği 20 ila 30 mg kg^{-1} arasında değişmektedir (Alloway, 1995). Ancak yüksek miktarlarda Cu, toprak mikrobiyal aktivitesinin ve toprak verimliliğinin azalmasına, ürün veriminin azalmasına ve olası gıda zincirine katılarak canlı organizmalar üzerinde toksik etkilere neden olabilir (Lothe ve ark., 2016). Bu nedenle Cu ile kirlenmiş alanların uygun bir yöntemle temizlenmesi gerekmektedir.

Ağır metallerle kirlenmiş alanlar fiziksel, kimyasal ve fitoremediasyon gibi biyolojik yöntemlerle temizlenebilir. Fitoremediasyon, diğer yöntemlerden daha ucuz, kolay uygulanabilen, uygulama alanı geniş, çevre dostu bir yöntemdir (Terzi ve Yıldız, 2011). Bu yöntemde kullanılacak bitkinin yüksek miktarlarda ağır metali topraktan temizleyebilmesi için bol yeşil aksam üretebilen, derin köklü, iklim ve toprak seçiciliği fazla olmayan bir bitki olması gerekmektedir (Dağhan, 2016). Pıtrak (*Xanthium strumarium* L.) tek yıllık olup boyu yaklaşık 1 m'ye ulaşabilen, olumsuz çevre koşullarına dayanıklılığı ile bilinen bir bitkidir (Cesur ve Şenkal, 2016). Bu araştırmanın amacı artan dozlarda Cu uygulanan saksılarda yetiştirilen pıtrak (*Xanthium strumarium* L.) bitkisinin fitoremediasyon kapasitesini belirlemektir. Ayrıca artan Cu konsantrasyonunun pıtrak bitkisinin klorofil içeriği, biyomas üretimi, makro ve mikro besin elementine etkisini ortaya koymaktır.

2. Materyal ve Yöntem

Araştırmada bitki materyali olarak pıtrak (*Xanthium strumarium* L.) bitkisi kullanılmıştır. Asteraceae familyasına ait olan bu bitki kendine döllen bir bitkidir. Ülkemizde olumsuz çevre şartlarında bile yaygın olarak yetişebilmektedir.

Denemede toprak materyali olarak Amik Ovası'nın Paşaköy serisine ait toprak kullanılmıştır (Kılıç ve ark., 2008). Deneme toprağının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1'den de görüldüğü gibi deneme toprağı killi, tuzsuz ve orta seviyede organik madde içeriğine sahip, hafif alkalın özellikli bir topraktır.

Tablo 1. Denemede kullanılan Paşaköy serisi toprağının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Toprak özelliği	Değer	Kaynak
Bünye	Killi	Bouyoucus, 1952
Tuz, %	0.22	Anonymous, 1951
Kireç (CaCO_3), %	45.1	Loeppert ve ark., 1996
Organik madde, %	2.55	Kacar, 1995
Organik karbon, %	1.48	Kacar, 1995
Tarla kapasitesi, %	32.4	Alpaslan ve ark., 1998
Toplam N, %	1.12	Bremner, 1965
Ekst. P, $\text{mg P}_2\text{O}_5 \text{ kg}^{-1}$	19.1	Olsen ve ark., 1954
Ekst. K, $\text{mg K}_2\text{O kg}^{-1}$	77.3	Richards, 1954
Ekst. Fe, mg kg^{-1}	24.4	Lindsay ve Norvell, 1978
Ekst. Cu, mg kg^{-1}	3.73	Lindsay ve Norvell, 1978
Ekst. Mn, mg kg^{-1}	69.7	Lindsay ve Norvell, 1978
Ekst. Zn, mg kg^{-1}	7.35	Lindsay ve Norvell, 1978

Ekst.: Ekstrakte edilebilir

Deneme için alınan toprak örneği oda koşullarında kurutulup 4 mm'lik elekten geçirildikten sonra her bir saksıya 2 kg toprak doldurulmuştur. Bakır, ekim öncesinde artan dozlarda (0, 100, 200, 400 ve 800 mg kg^{-1}) $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ formunda saksılara uygulanarak 3 hafta inkübasyona bırakılmıştır. Ekimden önce, her saksıya NH_4SO_4 formunda 200 mg kg^{-1} N, KH_2PO_4 formunda 100 mg kg^{-1} fosfor (P) ve 125 mg kg^{-1} potasyum (K) ile Fe-EDTA formunda 2.5 mg kg^{-1} Fe uygulanmıştır. Torf:Perlit (1:1 w/w) ortamında çimlendirilen pıtrak 2-3 yapraklı fide haline gelince saksılara aktarılmıştır ve 45 gün süreyle serada yetiştirilmiştir. Deneme, tesadüf bloklarında faktöriyel deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Deneme süresince saksılar tartılarak deiyonize su ile toprağın su tutma kapasitesinin % 70'i oranında (tarla kapasitesinde) tutulmuştur.

Deneme sonunda bitkilerin yeşil aksamı toprak yüzeyinden yaklaşık 1 cm yukarıdan kesilerek hasat edilmiştir. Bitki örnekleri saf su ile yıkandıktan sonra kurutma dolabında 65 °C'de sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Daha

sonra bitkilerin kuru ağırlıkları alınarak bitki analizleri için agat taşlı bitki öğütme değirmeninde (Retsch RM 200) öğütülmüştür. Öğütülen bitki örnekleri nitrik asit (HNO₃) ile mikro dalga fırında (MarsXpress CEM) çözünürleştirilerek Cu, P, K, kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg), Fe, Zn ve mangan (Mn) konsantrasyonları ICP-AES (Varian-Vista Model Axial Simultaneous) cihazında ölçülmüştür. Bitki örneklerinde N analizi Kjeldahl yöntemine göre yapılmıştır (Bremner, 1965). Bitkilere Cu uygulamasının etkisiyle yapraklarda değişen klorofil içerikleri, bitkiler hasat edilmeden önce klorofil ölçüm cihazı (Konica-Minolta SPAD-502) ile 3 tekrarlı olarak ölçülmüştür. İndirgenmiş glutasyon analizi (GSH) Çakmak ve Marschner (1992)'a göre yapılmıştır.

Deneme sonucunda elde edilen veriler SPSS 22.0 istatistiksel analiz programı kullanılarak Bek (1986)'e göre Duncan testi uygulanarak gruplandırılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Bakır uygulamalarının *Xanthium strumarium* L. bitkisinin kuru ağırlığı ile klorofil içeriğinde azalma görülürken, glutasyon (glutamil-sisteinil-glisin, GSH) konsantrasyonu ve Cu içeriğinde ise artış olduğu görülmüştür (Tablo 2). En yüksek kuru ağırlık (6.68 g bitki⁻¹) ve klorofil içeriği (alt yaprak: 30.7 ve üst yaprak: 33.6 SPAD birimi) kontrol bitkisinden elde edilmiştir. Farklı dozlarda Cu uygulamalarının *Xanthium strumarium* L. bitkisinde, klorofil miktarları, GSH, kuru ağırlık ve Cu içeriği yönünden istatistiksel olarak p≤0.01 önemli olduğu görülmektedir (Tablo 2).

Tablo 2. Bakırın farklı doz uygulamalarının, *Xanthium strumarium* L. bitkisindeki, klorofil miktarları, GSH, kuru ağırlık ve Cu içerikleri üzerine etkileri

Doz (mg Cu kg ⁻¹)	Klorofil (SPAD birimi)		GSH (µg mL ⁻¹)	Kuru ağırlık (g bitki ⁻¹)	Cu içeriği (µg bitki ⁻¹)
	Alt yaprak	Üst yaprak			
0	30.7 a	33.6 a	197 d	6.68 a	342 cb
100	30.5 a	29.4 b	259 c	5.29 b	321 c
200	30.2 ba	30.5 b	266 b	5.26 b	344 cb
400	29.4 cb	29.3 b	283 a	4.48 c	380 b
800	28.8 c	30.2 b	285 a	4.59 c	433 a
F	8.22**	23.0**	379**	45.8**	10.3**

** : p≤0.01 hata sınırları içinde istatistiksel olarak önemli

ve hücrel koşullar bitkilerde glutasyon düzeylerini arttırmaktadır. Glutasyon, fitoşelatinlerin bir öncüsü olarak hareket ederek, hücrede toksik metallerin şelatlanmasında yardımcı olur (Hasanuzzaman ve ark., 2017), böylece metalin toksik etkisini detoksifike eder. Yapılan çalışmada, pıtrak bitkisinin hiçbir toksisite göstermeden büyümesi olasılıkla GSH konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak bakırı detoksifike ettiği söylenebilir.

Bitkilerin toksisite sınırlarının üstünde metal birikimi, bitki biyokütlesinin ve klorofil içeriğini azalmasının nedenlerinden biri olabilir (Kabata ve Pendias, 2001). Bakır toksisitesi, kök uzaması ve kök hücrelerinde ve membranlarda hasara neden olur ve bu da su içeriğinde azalmaya ve besin alımındaki dengesizliklere ve dolayısıyla daha düşük kök biyokütlesine neden olabilir (Lothe ve ark., 2016).

Diğer yandan Cu dozlarındaki artışla birlikte GSH konsantrasyonu ve Cu içeriği artmıştır. En yüksek GSH (285 µg mL⁻¹) ve Cu içeriği (433 µg bitki⁻¹) 800 mg kg⁻¹ Cu dozunda belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar literatürde yapılan çalışmalarla benzerdir (Khatun ve ark., 2008; Megateli ve ark., 2009). Megateli ve ark. (2009), artan dozlarda (10⁻⁴, 10⁻³, 10⁻², 10⁻¹ ve 4 mg Cu L⁻¹) Cu uyguladıkları *Lemna gibba* bitkisinin klorofil miktarlarında azalma olduğunu bildirmişlerdir. Aynı şekilde Khatun ve ark. (2008), artan dozlarda (0, 10, 25, 50, 100 ve 200 µM) Cu uyguladıkları *Withania somnifera* bitkisinin klorofil miktarlarında azalma olduğunu, Cu içeriğinde ise bir artış olduğunu belirlemişlerdir.

Glutasyon, oksidatif stres, ağır metaller ve diğer olumsuz çevre koşullarına karşı bitkileri koruyan bir biyokimyasaldır (Yadav, 2010). Glutasyon (glutamil-sisteinil-glisin) güçlü bir enzimatik olmayan antioksidan olarak kabul edilen bir hücre içi tiyol molekülüdür. Hücre içinde önemli bir antioksidan olan glutasyonun % 99'dan fazlası içeriğindeki tiyol (SH) nedeniyle indirgenmiş formda bulunur. Galant ve ark. (2011)'na göre oksidatif strese neden olan çevresel

Bakır uygulamalarındaki artışla birlikte bitkilerin makro (N, P, K, Ca ve Mg) element konsantrasyonlarında bir azalma görülmüş ve sonuçlar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Tablo 3). En düşük makro element (N, P, K ve Ca) konsantrasyonları 800 mg kg⁻¹ Cu uygulamasında saptanmıştır. Bakır uygulamalarının *Xanthium strumarium* L. bitkisinde P, K, Ca ve Mg alım miktarları

Tablo 3. Bakırın farklı doz uygulamalarının, *Xanthium strumarium* L. bitkisindeki N, P, K, Ca ve Mg konsantrasyonları üzerine etkisi

Doz (mg Cu kg ⁻¹)	N (g kg ⁻¹)	P (g kg ⁻¹)	K (g kg ⁻¹)	Ca (g kg ⁻¹)	Mg (g kg ⁻¹)
0	34.2 a	9.21 a	61.8 a	37.6 a	1.52 a
100	32.8 ba	9.00 a	57.6 a	35.2 ba	1.36 b
200	33.3 a	8.94 a	48.0 b	31.9 cb	1.27 c
400	32.9 ba	8.34 b	42.9 b	30.9 cb	1.26 c
800	30.0 b	8.13 b	34.1 c	29.0 c	1.26 c
F	3.39*	20.2**	54.3**	6.09**	53.9**

*: p≤0.05 hata sınırları içinde istatistiksel olarak önemli, **: p≤0.01 hata sınırları içinde istatistiksel olarak önemli

yönünden istatistiksel olarak p≤0.01, N ise p≤0.05 düzeyinde önemli bulunmuştur (Tablo 3).

Benzer sonuçlar, Hou ve ark. (2007) *Lemna minor* bitkisinde, yapmış oldukları çalışmada yüksek konsantrasyonlarda bulunan Cu elementinin protein içeriğini engellediğini; Demirevska-Kepova ve ark. (2004)'nın ise yaptıkları ayrı bir çalışmada, N başta olmak üzere mineral elementlerin alınmasının kısıtlanmasına, protein metabolizmasının bozulmasına ve lipid peroksidasyonuna neden olduğunu açıklamışlardır. Dağhan ve ark. (2013), artan Cu (0, 5 ve 10 mg L⁻¹) dozlarının tütün bitkisinin N, P ve K konsantrasyonlarını azalttığını bildirmişlerdir.

Artan dozlarda Cu uygulamalarının *Xanthium strumarium* L. bitkisinde Fe, Zn ve Cu konsantrasyonları yönünden istatistiksel olarak p≤0.01, Mn ise p≤0.05 düzeyinde önemli olduğu görülmektedir (Tablo 4).

Bakır uygulamalarındaki artışla birlikte bitkilerin Fe, Zn ve Mn konsantrasyonları kontrol bitkilerine kıyasla azalırken Cu konsantrasyonu artmıştır (Tablo 4). En yüksek Fe (51.0 mg kg⁻¹), Zn (18.1 mg kg⁻¹) ve Mn (118 mg kg⁻¹) konsantrasyonu kontrol bitkisinde, en yüksek Cu (94.3 mg kg⁻¹) konsantrasyonu ise 800 mg kg⁻¹ uygulama dozunda belirlenmiştir.

Benzer sonuçlar Dağhan ve ark. (2012) tarafından, Cu uygulanmış su kültürü ortamında yetiştirdikleri tütün bitkilerinin sürgünlerinde Cu miktarının artmasıyla birlikte Fe, Zn ve Mn

konsantrasyonlarında kontrole göre azalma, GSH konsantrasyonlarında ise bir artış olduğu bildirilmiştir. Jadia ve Fulekar (2008), ağır metal uygulamaları ile yapmış oldukları çalışmada artan Cu dozlarının (0, 5, 10, 20, 40 ve 50 mg Cu kg⁻¹), ayçiçeği bitkisinde kök ve sürgünlerde metal konsantrasyonunu arttığını belirtmişlerdir.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada artan Cu uygulamalarının *Xanthium strumarium* L. bitkisinde, kuru ağırlık ve klorofil miktarlarında azalmaya neden olduğu, bu azalmanın temel nedenleri arasında; bu elementin yüksek konsantrasyonlarda bitki dokularında birikmesi sonucu bitkinin büyüme ve gelişmesini sağlayan metabolizmaların olumsuz etkilemesinden dolayı olabileceği düşünülmektedir. *Xanthium strumarium* L. bitkisinin fitoekstraksiyon yöntemi için kullanılabilmesi, bu deneme sonrasında benzer birçok bilimsel çalışma için kaynak olabileceği düşünülmektedir.

Kaynaklar

- Alloway, B.J., 1995. Heavy Metals in Soils. New York City: Wiley.
- Alpaslan, M., Güneş, A., İnal, A., 1998. Deneme Tekniği. Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayın No:1502, 455s.
- Anonymous, 1951. Soil Survey Staff, Soil Survey Manual. U.S. Department of Agriculture, Handbook No: 18, U.S Government Print Office, Washington.

Tablo 4. Bakırın farklı doz uygulamalarının, *Xanthium strumarium* L. bitkisindeki Fe, Zn, Cu ve Mn konsantrasyonları üzerine etkisi

Doz (mg Cu kg ⁻¹)	Fe (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)	Mn (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)
0	51.0 a	18.1 a	118 a	51.1 d
100	44.7 b	16.8 b	112 ba	60.7 c
200	41.7 b	15.5 c	110 ca	65.3 c
400	31.7 c	13.9 d	107 cb	85.0 b
800	29.0 c	12.1 c	99.0 c	94.3 a
F	57.1**	65.0**	5.28*	99.9**

*: p≤0.05 hata sınırları içinde istatistiksel olarak önemli, **: p≤0.01 hata sınırları içinde istatistiksel olarak önemli

- Bek, Y., 1986. Araştırma ve Deneme Metotları. Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Ders Notu, Yayın No: 92, Adana.
- Bouyoucus, G.J., 1952. A recalibration of hydrometer for making mechanical analysis of soils. *Agronomy Journal*, 43: 434-438.
- 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., Şenkal, B.C., 2016. Pıtrak (*Xanthium strumarium* L.) bitkisinin kültüre alınma potansiyelinin incelenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Doğa Bilimleri Dergisi*, 19(1): 72-75.
- Çakmak, İ., Marschner, H., 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.
- Daghan, H., Uygur, V., Arslan, M., Koleli, N., 2012. Copper removal by ScMTII transgenic and wild type tobacco in hydroponic system-a comparative study. *Revista de Chimie*, 63(12): 1193-1197.
- Dağhan, H., Uygur, V., Köleli, N., Arslan, M., Eren, A., 2013. Transgenik ve transgenik olmayan tütün bitkilerinde ağır metal uygulamalarının azot, fosfor ve potasyum alımına etkisi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 19: 129-139.
- Dağhan, H., 2016. *Tagetes patula* L. bitkisinin fitoremediasyon amaçlı kullanım potansiyelinin su kültürü koşullarında araştırılması. *Toprak Su Dergisi*, 5(2): 25-31.
- Demirevska-Kepova, K., Simova-Stoilova, L., Stoyanova, Z., Hölzer, R., Feller, U., 2004. Biochemical changes in barely plants after excessive supply of copper and manganese. *Environmental and Experimental Botany*, 52: 253-266.
- Galant, A., Preuss, M.L., Cameron, J.C., Jez, J.M., 2011. Plant glutathione biosynthesis: Diversity in biochemical regulation and reaction products. *Frontiers in Plant Science*, 2: 45.
- Güler, Ç., Çobanoğlu, Z., 1997. Toprak Kirliliği. TC Sağlık Bakanlığı Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi, 40.
- Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Anee, T.I., Fujita, M., 2017. Glutathione in plants: biosynthesis and physiological role in environmental stress tolerance. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 23(2): 249-268.
- Hou, W., Chen, X., Song, G., Wang, Q., Chang, C.C., 2007. Effects of copper and cadmium on heavy metal pollutant waterbody restoration by duckweed (*Lemna minor*). *Plant Physiology and Biochemistry*, 45: 62-69.
- Jadia, C.D., Fulekar, M.H., 2008. Phytoremediation: The application of vermicompost to remove zinc, cadmium, copper, nickel and lead by sunflower plant. *Environmental Engineering & Management Journal*, 7(5): 547-558.
- Kabata, A., Pendias, H., 2001. Trace elements in soil and plants. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Kacar, B., 1995. Bitki ve Toprağın Kimyasal Analizleri, III. Toprak Analizleri. Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Eğitim, Araştırma ve Geliştirme Vakfı Yayınları No: 3, Ankara, 704s.
- Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A., Timur, S., 2003. Metallerin çevresel etkileri-I. *Metaller Dergisi*, 136: 47-53.
- Khatun, S., Ali, M.B., Hahn, E.J., Paek, K.Y., 2008. Copper toxicity in *Withania somnifera*: Growth and antioxidant enzymes responses of in vitro grown plants. *Environmental and Experimental Botany*, 64(3): 279-285.
- Kılıç, Ş., Ağca, N., Karanlık, S., Şenol, S., Aydın, M., Yalçın, M., Çelik, İ., Evren dilek, F., Uygur, V., Doğan, K., Aslan, S., Çullu, M.A., 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., Norvell, W.A., 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil science society of America journal*, 42(3): 421-428.
- Loeppert, R.H., Suarez, D.L., 1996. Carbonate and gypsum. In Methods of soil analysis. Part 3. Chemical Methods, p.437-474. Edited by D.L. Sparks. Madison, Wisconsin, USA.
- Lothe, A.G., Hansda, A., Kumar, V., 2016. Phytoremediation of copper-contaminated soil using *Helianthus annuus*, *Brassica nigra*, and *Lycopersicon esculentum* Mill.: A pot scale study. *Environmental Quality Management*, 25(4):63-70.
- Megateli, S., Semsari, S., Couderchet, M., 2009. Toxicity and removal of heavy metals (cadmium, copper, and zinc) by *Lemna gibba*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 72(6): 1774-1780.
- Munzuroğlu, Ö., Gür, N., 2000. Ağır metallerin elma (*Malus sylvestris* Miller cv. Golden)'da polen çimlenmesi ve polen tüpü gelişimi üzerine etkileri. *Turkish Journal of Biology*, 24(3): 677-684.
- Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S., Dean, L.A., 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. US Department of Agriculture Circular No: 939, Washinton, p. 1-19.
- Richards, L.A., 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. United States Department of Agriculture Handbook 60, 94.
- Sun, L.N., Zhang, Y.F., He, L.Y., Chen, Z.J., Wang, Q.Y., Qian, M., Sheng, X.F., 2010. Genetic diversity and characterization of heavy metal-resistant-endophytic bacteria from two copper-tolerant plant species on copper mine wasteland. *Bioresource Technology*, 101(2): 501-509.
- Terzi, H., Yıldız, M., 2011. Ağır metaller ve fitoremediasyon: Fizyolojik ve moleküler mekanizmalar. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11(1): 1-22.

- Yadav, S.K., 2010. Heavy metals toxicity in plants: An overview on the role of glutathione and phytochelatins in heavy metal stress tolerance of plants. *South African Journal of Botany*,76(2): 167-179.
- Zeng, F., Ali, S., Zhang, H., Ouyang, Y., Qiu, B., Wu, F., Zhang, G., 2011. The influence of pH and organic matter content in paddy soil on heavy metal availability and their uptake by rice plants. *Environmental Pollution*, 159(1): 84-91.