

Kadmiyum ve Kurşun Toksisitesinin Çilek Bitkisinde (*Fragaria x ananassa*) Bazı Büyüme Parametreleri Üzerine Etkileri

Ferhad Muradoğlu¹, Muttalip Gündoğdu¹, Tarık Encü², M. Kenan Geçer³, İbrahim Başak²

¹Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Ziraat ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Bolu.

²Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Van

³Iğdır Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Iğdır.

e-posta: muradogluf@ibu.edu.tr

Özet

Ağır metaller bitkiler için ana besin elementi olmayan, genellikle toksik etkiye sahip bitki gelişimini kısıtlayan önemli çevresel kirliliklerdir. Bu çalışma, (Cd) ve Kurşun (Pb) toksisitesinin Çilek (*Camarosa*) bitkisinde bazı büyüme parametreleri üzerine etkilerini belirlemek amacıyla yürütüldü. Bu amaçla çalışmada, kadmiyum (0 (kontrol), 15, 30, 45 ve 60 mg kg⁻¹) ve kurşunun (0 (kontrol), 20, 60 ve 80 mg kg⁻¹) farklı dozları kullanıldı. Çalışma sonucunda, kök sayısı, kök ağırlığı, gövde ağırlığı, yaprak sayısı, yaprak ağırlığı ve yaprak alanı kontrole göre 60 mg kg⁻¹ kadmiyum uygulamasında sırasıyla %32, 40, 53, 38, 55 ve 24 oranında ve 80 mg kg⁻¹ kurşun uygulamasında ise sırasıyla %49, 30, 50, 38, 50 ve 28 oranında düşüş belirlendi. Çilek bitkisinde, artan Cd ve Pb uygulamasının büyüme üzerine engelleyici etkisi artan dozla orantılı olarak düşüş göstermiş ve çilek bitkisinde Cd toksisitesi, Pb toksisitesinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Ağır metal toksisitesi, kadmiyum, kurşun, çilek

The Effect of Cadmium and Lead Toxicity on Some Growth Parameters in Strawberry (*Fragaria x ananassa*) Plant

Abstract

Heavy metals which are not the essential plant nutrients for plants, generally have toxicity effect, restricting plant growth are important environmental pollutions. This study was conducted to determine the effect of (Cd) and lead (Pb) toxicity on some growth parameters in Strawberry (*Camarosa*) plant. For this purpose, cadmium concentration 0 (control), 15, 30, 45 and 60 mg kg⁻¹ and lead concentration 0 (control), 20, 60 and 80 mg kg⁻¹ were used. The results presents in this work show that root number, root weight, body weight, leaf weight, leaf number and leaf area were decrease 32, 40, 53, 38, 55 and 24% in 60 mg kg⁻¹ of Cd applications respectively and in 80 mg kg⁻¹ of Pb applications also 49, 30, 50, 38, 50 and 28% decrease were determined compare with control respectively. Increasing Cd and Pb concentrations show a decrease at increase rate on growth and Cd toxicity was found higher than Pb toxicity in strawberry plant.

Keywords: Heavy metal toxicity, cadmium, lead, strawberry

Giriş

Ağır metaller çevremizi kirlüten başlıca kirleticiler arasında bulunur ve bunlar bitki büyümesini ciddi kısıtlayabilirler (Alemayehu ve ark., 2013), Ağır metaller, özellikle gelişmekte olan ülkelerde ağır endüstriye yakın alanlarda yetiştirilen bitki türleri için önemli abiyotik streslerden biridir. Çevrede bulunan doğal metal içeriği, giderek artan endüstriyel üretim, aşırı gübre kullanımı veya doğal kaynaklar artırabilir. Bu artış ağır metallerin gıda zinciri boyunca yüksek birikimi ve onların bio-toksisitesinden dolayı insan sağlığı için potansiyel bir tehlike oluşturmaktadır (Uraguchi ve ark., 2006). Bitkiler için temel element olamayan ağır metaller (Cd, Pb) bitkilerin kökleri tarafından alınır ve bitkilerin kök, sürgün, meyve veya tohum kısmında birikir (Page ve ark., 1981).

Aşırı oranlarda ağır metal alınımı bitkilerde fizyolojik fonksiyonları ve biyokimyasal olayları direkt veya dolaylı olarak etkilediği bilinmektedir. Bitki dokularında aşırı Cd birikiminde fotosentez, su ve besin elementi alınımında düşüş, kloroz, bitkilerde gözle görülür nekrozların oluşumu, büyümenin duraklaması, kök uçlarının esmerleşmesi ve en sonunda bitkilerde ölüm gerçekleşir (Wojcik ve Tukiendorf 2004; Mohanpuria ve ark. 2007; Muradoğlu ve ark., 2015). Benzer olarak bitkilerde aşırı Pb uygulaması da bitkilerde bodurlaşma, kloroz gibi toksisite belirtileri yanında kök sisteminin kararması, klorofil içeriği, karetenoid içeriği, fotosentez oranı ve CO₂ asimilasyonu, mineral beslenme ve su dengesinin bozulması, hormonal durumunun değişmesi, zar yapısı ve geçirgenliği gibi çok sayıda olay olumsuz yönde etkilendir (Bazzaz ve ark., 1975; Eun ve ark., 2002; Sharma ve Dubey, 2005; Lamhamdi ve ark., 2011). Ayrıca tohum

çimlenmesi (Azmat ve ark., 2006), çimlenme yüzdesi, kök/sürgün uzunluğu ve kuru kütlelinin azalması (Mishra ve Chaudhary, 1998). terleme (Rolfé ve Bazzaz, 1975), enzim aktivitesi (Van Assche ve Clisters, 1990; Muradoğlu ve ark., 2015) gibi fizyolojik olaylarda olumsuz etkilenebilmektedir.

Kadmiyum (Cd) ve kurşun (Pb), lipidler, proteinler, fotosentetik pigmentler, ve nükleik asitler ile olan tepkileri ile lipid peroksidasyonu, zar hasarı, enzimlerin inaktivasyonu ve hücre ölümüne neden olan reaktif oksijen türlerini (ROS) üreten güçlü fitotoksiklerdir (Heath ve Packer, 1968; Hegedu's ve ark., 2001). Buna karşılık, bitkiler oksidatif stresi önlemek için enzimatik (katalaz, peroksidaz askorbat, nikotinamid dinükleotid [NADH] peroksidaz) ve enzimatik olmayan (askorbat, glutatyon) antioksidan mekanizmaları geliştirmiştir (Aeby, 1984; Xiang ve Oliver 1998; Muradoglu ve ark., 2015)).

Çilek ekvatorndan Sibirya'ya kadar olan çok geniş ekolojik sınırlar içerisinde yetiştirilebilen hoş kokulu, lezzetli ve güzel görünümü, sofralık ve sanayilik olarak tüketilebilmesi nedeniyle en çok tercih edilen meyveler arasındadır. Çilek ağır metalleri kolay alabilen ve bünyesinde biriktirebilen meyve türlerindedir (Treeder ve ark., 2000). Gelişen sanayi ile birlikte tarım ürünleri ağır metal stresi altında bulunmasına rağmen ağır metal stresinin çilek bitkisi üzerine olumsuz etkilerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar oldukça sınırlı olmuştur.

Bu çalışmada, farklı konsantrasyonlarda Cd ve Pb uygulamalarının Camarosa çilek çeşidinde kök, gövde ve yaprak üzerine olan olumsuz etkilerinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

Materyal ve Yöntem

Bitki Materyali ve Saksı Denemesi

Araştırma Yüzüncü Yıl Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Araştırma ve Uygulama alanında bulunan seralarda yürütüldü. Çalışmada bitkisel materyal olarak ülkemizde yaygın olarak kullanılan çilek çeşitlerinden Camarosa (*Fragaria x ananassa*) çeşidine ait frigo fideler kullanıldı. 4 kg perlit doldurulmuş 72x20x17cm ebatlarındaki her saksıya 4 adet çilek fidesi dikildi. Çalışma, Mayıs ayının ikinci haftasında başlayıp Temmuz ayının son haftasında sonlandırıldı.

Çalışmanın ilk 4 haftasında bitkilerin gelişimlerini sağlamaları amacıyla fidelerde oluşan çiçek tomurcukları bitkiden uzaklaştırıldı ve saksılar bu süre boyunca sulama suyuna ilave edilen besin eriği ile sulandı. Besin eriği şeklinde N 200, K 208, P 37, Ca 167, Mg 49, Fe 1.53, Mn 1.16, B 0.46, Zn 0.09, Cu 0.03 ve Mo 0.02 mg/l. hazırlandı (Jones, 1983; Tanrısever ve ark., 1998). ideler 4. hafta sonunda yaklaşık 4-5 yaprak iken kadmiyumun ($CdSO_4 \cdot 8 H_2O$) 0, 15, 30, 45 ve 60 mg kg^{-1} dozları ve kurşun $Pb(NO_3)_2$ 0, 20, 60 ve 80 mg kg^{-1} dozları sulama suyuna ilave edilerek eşit miktarlarda 4 sulama suyunda saksılara uygulandı.

Deneme sonunda her uygulamadan hasat edilen 12 adet bitki kök, gövde ve yapraklarına ayrılarak gerekli ölçümler için buzdolabında muhafaza edildi. Kök ve yaprak sayısı, hasat edilen bitkilerde bulunan toplam kök ve yaprağın denemede kullanılan bitki sayısına bölünmesi sonucu adet bitki⁻¹ olarak belirlendi. Kök, gövde ve yaprak ağırlığı 0.01g'a duyarlı hassa terazide denemede kullanılan bitkilerin toplamının bitki sayısına bölünmesi sonucu g bitki⁻¹ olarak tespit edildi. Yaprak alanı ise bitki yaprakları Samsung SCX-4200 tarayıcıda taranarak elde edilen fotoğraflar üzerinde İmageJ 1.48p (www.rsbweb.nih.gov/ij) analiz programı kullanılarak yaprak alanı cm^2 olarak hesaplandı.

İstatistik Analizler

Deneme tam şansa bağlı deneme desenine göre kurulmuş ve her tekrarda 4 bitki 3 tekrar olarak veriler elde edilmiştir. Denemeden elde edilen veriler SPSS 22.0. paket programı kullanılarak varyans analizine tabi tutulmuş ve uygulamalar arasındaki farklılıklar Duncan testi ($P \leq 0.05$) ile belirlenmiştir.

Bulgular ve Tartışma

Çizelge 1'de görüldüğü gibi farklı kadmiyum uygulamasının çilek bitkisinde kök sayısı, kök ağırlığı ve gövde ağırlığı üzerine etkileri istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Uygulamada kadmiyum dozunun artması kök sayısı, kök ağırlığı ve gövde ağırlığında düzenli bir düşüş sağlamıştır. Kadmiyum 15, 30, 45 ve 60 mg kg^{-1} uygulamasının kontrole göre kök sayısında %12.28, %15.23, %13.19 ve %31.58 oranında düşüş sağlamıştır (Çizelge 1). Kontrol bitkileri, Cd uygulamaları ile kıyaslandığında 15 ve 30 mg kg^{-1} Cd uygulamasının kök ağırlığında %25-26 düşüşe neden olurken, 60 mg kg^{-1} Cd uygulamasının kök ağırlığında %40 oranında bir

düşüşe neden olmuştur. Gövde ağırlığında Cd dozuna bağlı olarak düzenli bir düşüş gözlemlenmiştir. Cd (15 mg kg^{-1}) uygulamasında gövde ağırlığında %5'lik düşüş belirlenmiştir. Cd dozunun artmasına paralel gövde ağırlığında %21 ve 25 oranında düşüş gözlenirken en yüksek düşüş %53 oranında 60 mg kg^{-1} Cd uygulanmasında belirlenmiştir.

Kontrol koşullarında yaprak sayısı 8.50 adet bitki⁻¹ iken, 15 mg kg^{-1} Cd uygulamasında hafif bir yükseliş ($10.00 \text{ g bitki}^{-1}$) olmasına rağmen 30.45 ve 60 mg kg^{-1} Cd uygulamasında sırasıyla 8.00 , 7.75 ve $5.25 \text{ g bitki}^{-1}$ 'e düşmüştür. Kadmiyum uygulamasının artışıyla bitkideki yaprak sayısında düşüş saptanmıştır. Kadmiyum dozunun artışı yaprak ağırlığı ve yaprak alanı üzerine etkileri ($p \leq 0.05$) düzeyinde önemli bulunmuş ve artan Cd uygulamasına paralel olarak yaprak ağırlığı ve yaprak alanında düzenli bir düşüş saptanmıştır. Cd 15 , 30 , 45 ve 60 mg kg^{-1} uygulamasında kontrol bitkilerine göre yaprak ağırlığı ve yaprak alanında sırasıyla %38.92, 38.55, 42.40 ve 55.37 g bitki⁻¹ ve %8.63, 11.99, 13.19 ve 23.86 cm² oranlarında bir düşüş gözlemlenmiştir (Çizelge 2).

Endüstri ve ziraatta uygulanan kimyasalların artması dünyada önemli bir problem olan çevresel kirlilikleri artırmaktadır. Bu çevresel kirlilikler arasında en önemlilerden biri kadmiyumdur. Kadmiyum ve kurşun toksisitesinin etkileri üzerine yapılan bu çalışmada elde edilen sonuçlar bu konuda daha önce yapılan çalışmalarla benzerlik göstermektedir. Kadmiyum uygulamasının bitki gelişimi üzerine olumsuz etkileri değişik bitki türlerinde mısır bitkisinde (Ekmekçi ve ark., 2008), havuç ve turp bitkisinde (Chen, ve ark., 2003) ve pamuk bitkisinde (Karanlık ve ark., 2013) bir çok araştırmacı tarafından saptanmıştır.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlarla benzer olarak, Nada ve ark, (2007), badem çöğürlerinde yaptığı çalışmada $150 \mu\text{M}$ Cd uygulamasında kök uzunluğu, sürgün uzunluğu yaprak alanını kısıtladığı ve kök uzunluğunda kontrole göre %26 oranında bir azalma olduğunu belirtmiştir. Gill ve ark. (2012) ise tere bitkisinde 100 mg kg^{-1} Cd uygulamasında bitki ağırlığında %24.79 ve yaprak alanında ise %31.78 azalma olduğunu bildirmiştir. Benzer şekilde Zengin ve Munzuroğlu, (2003), fasulye bitkisinde 0.08 mM kadmiyum uygulamasının fidelerin kök büyümesinde %40.21, gövde uzunluğunda %35.05 ve yaprak alanında ise

%30.17 oranında azalma gerçekleştiğini tespit etmiştir.

Kurşun stresi altında yetiştirilen Camarosa çilek çeşidinde incelenen kök sayısı kök ağırlığı, gövde ağırlığı, yaprak sayısı yaprak ağırlığı ve yaprak alanı bakımından değişimler $p \leq 0.05$ düzeyinde önemli bulunmuştur (Çizelge 3, 4). Kurşun uygulaması kök sayısında önemli düşüşlere sebep olmuştur (Çizelge 3). Kontrol koşullarında 14.25 adet bitki⁻¹ olan kök sayısı artan kurşun uygulamalarında (20 , 40 ve 60 mg kg^{-1}) sırasıyla 8.16 (%42.47), 8.50 (%40.35) ve 7.25 (%49.12)'e kadar düşmüştür. Çalışmada, kurşun stresi altında yetiştirilen çilek bitkisinde kök ve gövde ağırlıkları bakımından değişimler, istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. En yüksek kök ağırlığı ($3.13 \text{ g bitki}^{-1}$) kontrol bitkisinde, en düşük (2.19 mg kg^{-1}) ise 80 mg kg^{-1} uygulamasında elde edilmiştir. Benzer şekilde gövde ağırlığında da düşüş belirlenmiştir. En yüksek gövde ağırlığı ($3.47 \text{ g bitki}^{-1}$) kontrol bitkisinde, en düşük (1.75 mg kg^{-1}) 80 mg kg^{-1} uygulamasında elde edilmiştir. Kurşun uygulamasının 0.00 dan 80 mg kg^{-1} çıkmasıyla kök ağırlığında yaklaşık %30.03 gövde ağırlığında ise %49.57 oranında bir düşüş belirlenmiştir. Araştırmada farklı dozlarda kurşun uygulamasının Camarosa çilek çeşidinde yaprak sayısı, yaprak ağırlığı ve yaprak alanı üzerine etkileri Çizelge 4'te verilmiştir. Çizelge'de görüleceği gibi kurşun dozlarının yaprak sayısı yaprak ağırlığı ve yaprak alanı üzerine olumsuz etkileri $p \leq 0.05$ düzeyinde önemli bulunmuştur. En yüksek yaprak sayısı 8.50 adet bitki⁻¹ (%0.0) ile kontrol bitkisinde bulunmuş, bunu sırasıyla 6.75 adet bitki⁻¹ (%20.59) ile 20 mg kg^{-1} , 5.58 adet bitki⁻¹ (%34.35) ile 60 mg kg^{-1} ve 5.25 adet bitki⁻¹ (%38.24) ile 80 mg kg^{-1} kurşun uygulamaları izlemiştir. Kontrol bitkisine göre kurşun uygulamasındaki her artış yaprak ağırlığı ve yaprak alanında düzenli bir düşüşe neden olmuştur. Kurşun uygulamasının 20 , 60 ve 80 mg kg^{-1} 'a çıkmasıyla yaprak ağırlığında sırasıyla %32.54, 36.69 ve 49.89 ve yaprak alanında ise %8.59, 11.34 ve 27.68 oranında bir düşüş belirlenmiştir (Çizelge 4).

Bu çalışmada Pb uygulamasında çilek bitkisindeki kök, gövde ve yaprak gelişiminde uygulamaya bağlı olarak düşüşler belirlenmiştir. Benzer sonuçlar değişik bitkilerde birçok araştırmacı tarafından bildirilmiştir. Kibria (2010) ıspanak bitkisinde Pb uygulamasının (100 mg

kg⁻¹) sürgün ve kök ağırlığında sırasıyla %41 ve %37 oranında bir azalmaya neden olduğunu bildirmiştir. Diğer bir çalışmada patlıcan fidelerinde 300 mg litre⁻¹ kurşun uygulamasının 12.16 cm kök uzunluğunun 5.85 cm'e, 2.41g olan kök ağırlığının 1.15 g'a 19.0 cm sürgün uzunluğu ve 8.7 g olan sürgün ağırlığının sırasıyla 7.5 cm ve 4.5' a azaldığını ayrıca 111.5 cm olan yaprak alanı ve 10.5 g yaprak ağırlığının sırasıyla 56.3 cm ve 5.9 g'a düştüğü bildirilmiştir (Yılmaz ve Akıncı, 2009). Birçok araştırıcı çalışmalarında kurşun uygulamasının artışı; kanola bitkisinde (Asraf, ve ark., 2011), domates'de (Akıncı ve ark., 2010), mısır'da (Ghani, 2010), buğday ve ıspanak bitkisinde (Lamhamdi, ve ark., 2013) kök, sürgün, yaprak ve bitki ağırlığında önemli düşüşler meydana getirdiğini bildirmişlerdir.

Sonuç

Bu çalışmada çilek bitkisinde kadmiyum ve kurşun uygulamalarının kök, gövde ve yaprak gelişimi üzerine ciddi anlamda olumsuz etkilerinin olduğu belirlenmiştir. Cd ve Pb uygulamalarının uygulama dozunun artmasıyla orantılı olarak kök (kök sayısı, ağırlığı), gövde ağırlığı ve yaprakta (yaprak sayısı, ağırlığı ve alanı) önemli derecede düşüş sağlamıştır.

Camarosa çilek çeşidinde Cd (60 mg kg⁻¹) ve Pb (80 mg kg⁻¹) uygulamaları kontrol bitkilerine oranla sırasıyla kök sayısı %32- 49, kök ağırlığı %40-30, gövde ağırlığı %53-50, yaprak sayısı %38-38, yaprak ağırlığı %55-50 ve yaprak alanında ise %24-28 oranında düşüş meydana getirmiştir.

Çalışmada incelenen Camarosa çilek çeşidinde gelişimin kısıtlanması üzerine Cd ve Pb karşılaştırıldığında aynı dozdaki (60 mg kg⁻¹) kadmiyum ve kurşun uygulamalarında bitki gelişim üzerine kadmiyumun olumsuz etkisinin kurşundan daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Kaynaklar

Aeby, H., 1984. Catalase in vitro. Meth. Enzymol. 105:125-212

Akıncı, İ.E., Akıncı, S., Yılmaz, K., 2010. Response of tomato (*Solanum lycopersicum* L) to lead toxicity: growth, element uptake, chlorophyll and water content. African J. Agric. Res., 5(6):416-423.

Alemayehu, A., Bocova, B., Zelinova, V., Mistrik, I., Tamas, L., 2013. Enhanced lipogenesis activity is involved in barley root tip swelling induced by cadmium, auxin or hydrogen peroxide. Environ. Exp. Bot., 93:55-62.

Asraf, M.Y., Azhar, N., Ashraf, M., Hussain, M., Arshad, M., 2011. influence of lead on growth and nutrient accumulation in canola (*Brassica napus* L.) cultivars. J. Environ. Biol.32:659-666

Azmat, R., Haider, S., Askari, S., 2006. Effect of Pb on germination, growth, morphology and histomorphology of *Phaseolus mungo* and *Lens culinaris*. Pakistan J. Biol. Sci., 9(5): 979-984.

Bazzaz, F.A., Carlson, R.W., Rolfe, G.L., 1975. The inhibition of corn and sunflower photosynthesis by lead. Physiol. Plant. 34: 326-329.

Chen, Y.X., He, Y.F., Luo, Y.M., Yu, Y.L., Lin, Q., Wong, M.H., 2003. Physiological mechanism of plant roots exposed to cadmium. Chemosphere;50:789-93.

Ekmekçi, Y., Tanyolaç, D., Ayhan, B., 2008. Effect of cadmium on antioxidant enzyme and photosynthetic in leaves of two maize cultivars. J. Plant Physiol., 165:600-611.

Eun, S.O., Youn, H.S., Lee, Y., 2002. Lead disturbs microtubule organization in the root meristem of *Zea mays*. Physiol. Plant. 110:357-365.

Ghani, A., 2010. Effect of lead toxicity on growth, chlorophyll and lead (Pb²⁺) contents of two varieties of maize (*Zea mays* L). Pakistan J. of Nutrition, 9(9):887-891.

Gill, S.S., Khan, A.N., Tuteja, N., 2012. Cadmium at high dose perturbs growth, photosynthesis and nitrogen metabolism while at low dose it up regulates sulfur assimilation and antioxidant machinery in garden cress (*Lepidium sativum* L). Plant Sci., 182:112-120.

Heath, R.L., Packer, L., 1968. Photoperoxidation in isolated chloroplasts I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. Arch. Biochem. Biophys., 125:189-198.

Hegedu's, A., Erdei, S., Horvath, G., 2001. Comparative studies of H₂O₂ detoxifying enzymes in green and greening barley seedlings under cadmium stress. Plant. Sci., 160:1085-1093.

Jones, Jr., J.B., 1983. A Guide For The Hydroponic & Soilless Culture Grower. ISBN: 0-917304-49-7. Timber Press. Oregon.

Karanlık, S., Ergün, N., Tiryakioğlu, M., 2013. Farklı kadmiyum düzeylerinin pamuk bitkisinde (*Gossypium Hirsutum* L) büyüme, Cd, Fe, Zn konsantrasyonu ve antioksidatif enzim aktiviteleri üzerine etkisi. Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi, 6(2):81-86.

Kibria, M.G., Maniruzzaman, M., Islam, M., Osman, K.T., 2010. Effect of soil-applied lead on growth and partitioning of ion concentration in

- Spinacea oleracea* L. tissues. Soil and Environ. 29(1):1-6.
- Lamhamdi, M., Bakrim, A., Aarab, A., Lafont, R., Sayah, F., 2011. Effects of lead phytotoxicity on wheat (*Triticum aestivum* L.) seed germination and seedling growth. C. R. Biol., 334:118–126.
- Mishra, A., Choudhari, M.A., 1998. Amelioration of lead and mercury effects on germination and rice seedling growth by antioxidants. Biol. Plant., 41:469–473.
- Mohanpuria, P., Rana, N.K., Yadav, S.K., 2007. Cadmium induced oxidative stress influence on glutathione metabolic genes of *Camellia sinensis* (L.). Environ Toxicol., 22:368–374.
- Muradoğlu, F., Gundoğlu, M., Ercişli, S., Encu, T., Balta, F., Jaafar, H.Z.E., Zia-Ul-Hag, M., 2015. Cadmium toxicity affects chlorophyll a and b content, antioxidant enzyme activities and mineral nutrient accumulation in strawberry. Biological Research 48:11.
- Nada, E., Ferjani, B.A., Ali, R., Bechir, B.R., Imed, M., Makki, B., 2007. Cadmium-induced growth inhibition and alteration of biochemical parameters in almond seedlings grown in solution culture. Acta Physiol. Plant., 29:57–62.
- Page, A.L., Bingham, F.T., Chang, A.C., 1981. Cadmium. In: N.W., Leep. (Ed.) Effect of Heavy Metal Pollution on Plants. Vol. 1: Effects of Trace Metals on Plant Function. pp. 77–109. Applied Science Publishers, Ripple Road, Barking, Essex, England.
- Rolfe, G.L., Bazzaz, F.A., 1975. Effect of lead contamination on transpiration and photosynthesis of loblolly pine and *Autumn olive*. Forest Science. 21(1). 33–35.
- Sharma, P., Dubey, R.S., 2005. Lead toxicity in plants. Braz. J. Plant Physiol., 17(1): 35-52.
- Tanrısever, A., Tüzel, Y., Gül, A., Özeker, E., Eltez, R.Z., Önel, K., 1998. Dikey torba kültüründe farklı yetiştirme ortamlarının sera çilek yetiştiriciliğinde verim ve kaliteye etkileri üzerinde araştırmalar. E.Ü. Araştırma Fonu Projesi. No:95-ZRF-022. Bornova, İzmir.
- Treder, W., Cieslinski, G., 2000. Cadmium uptake and distribution in strawberry plants as affected by its concentration in soil. J Fruit Ornament. Plant. Res., 8:127–135.
- Uraguchi, S., Watanabe, I., Yoshitomi, A., Kiyono, M., Kuno, K., 2006. Characteristics of cadmium accumulation and tolerance in novel Cd-accumulation crops, *Avena strigosa* and *Crotalaria juncea*. J. Exp. Bot., 57:2955–2965.
- Van Assche, F., Cliisters, H., 1990. Effects of metals on enzyme activity in plants. Plant, Cell and Environment. 13(3):195-206.
- Wojcik, M., Tukiendorf, A., 2004. Phytochelatin synthesis and cadmium localization in wild type of *Arabidopsis thaliana*. Plant Growth Regul. 44:71–80.
- Xiang, C., Oliver, D.J., 1998. Glutathione metabolic genes coordinately respond to heavy metals and jasmonic acid in *Arabidopsis*. Plant Cell 10:1530–1550.
- Yılmaz, K., Akıncı, İ.E., Akıncı, S., 2009. Effect of lead accumulation on growth and mineral composition of eggplant seedling (*Solanum melongena*). New Zealand J. Crop Hort. Sci., 37:189-199.
- Zengin, F.K., Munzuroğlu, Ö., 2003. Fasulye fidelerinin (*Phaseolus vulgaris*. L) kök, gövde ve yaprak büyümesi üzerine kadmiyum (Cd^{++}) ve civa (Hg^{++})'nın etkileri. C. Ü. Fen Bilimleri Dergisi. 24(1): 64-75.

Çizelge 1: Kadmiyum uygulamasının çilek bitkisinde kök sayısı, kök ağırlığı ve gövde ağırlığı üzerine etkileri

Dozlar mg kg ⁻¹	Kök sayısı adet bitki ⁻¹	% Değişim	Kök ağırlığı g bitki ⁻¹	% Değişim	Gövde ağırlığı g bitki ⁻¹	% Değişim
Kontrol	*14.25±0.25 ^a	00.00	3.13±0.25 ^a	00.00	3.47±0.48 ^a	00.00
Cd 15	12.50±0.50 ^{ab}	-12.28	2.33±0.04 ^{bc}	-25.56	3.29±0.27 ^a	-5.19
Cd 30	12.08±0.58 ^b	-15.23	2.31±0.21 ^{bc}	-26.20	2.73±0.01 ^a	--21.33
Cd 45	12.37±0.37 ^{ab}	-13.19	2.92±0.18 ^{ab}	-6.71	2.61±0.03 ^{ab}	-24.78
Cd 60	9.75±0.75 ^c	-31.58	1.87±0.27 ^c	-40.26	1.62±0.33 ^b	-53.31
Toplam	12.19	-14.46	2.51	-14.04	2.74	-21.04

*Her sütunda aynı harf ile gösterilen değerler arasındaki fark p<0.05 düzeyinde önemsizdir. ± standart hata.

Çizelge 2: Kadmiyum uygulamasının çilek bitkisinde yaprak sayısı, yaprak ağırlığı ve yaprak alanı üzerine etkileri

Uygulamalar mg kg ⁻¹	Yaprak sayısı adet bitki ⁻¹	% Değişim	Yaprak ağırlığı g bitki ⁻¹	% Değişim	Yaprak alanı cm ²	% Değişim
Kontrol	*8.50±0.70 ^{ab}	00.00	13.49±0.31 ^a	00.00	8.34±0.25 ^a	00.00
Cd 15	10.00±0.50 ^a	17.65	8.24±0.62 ^b	-38.92	7.62±0.14 ^b	-8.63
Cd 30	8.00±0.60 ^{ab}	-5.88	8.29±0.46 ^b	-38.55	7.34±0.15 ^b	-11.99
Cd 45	7.75±0.75 ^b	-8.82	7.77±0.72 ^{bc}	-42.40	7.24±0.21 ^b	-13.19
Cd 60	5.25±0.25 ^c	-38.24	6.02±0.24 ^c	-55.37	6.35±0.10 ^c	-23.86
Toplam	7.90	-7.06-	8.76	-35.06	7.46	-10.55

*Her sütunda aynı harf ile gösterilen değerler arasındaki fark p<0.05 düzeyinde önemsizdir. ± standart hata.

Çizelge 3: Kurşun uygulamasının çilek bitkisinde kök sayısı, kök ağırlığı ve gövde ağırlığı üzerine etkileri

Uygulamalar mg kg ⁻¹	Kök sayısı adet bitki ⁻¹	% Değişim	Kök ağırlığı g bitki ⁻¹	% Değişim	Gövde ağırlığı g bitki ⁻¹	% Değişim
Kontrol	*14.25±0.25 ^a	0.00	3.13±0.25 ^a	0.00	3.47±0.48 ^a	0.00
Pb 20	8.16±0.66 ^b	-42.74	2.27±0.23 ^b	-27.48	2.94±0.37 ^{ab}	-15.27
Pb 60	8.50±0.50 ^b	-40.35	2.50±0.01 ^{ab}	-20.13	2.50±0.34 ^{ab}	-27.95
Pb 80	7.25±0.25 ^b	-49.12	2.19±0.19 ^b	-30.03	1.75±0.12 ^b	-49.57
Toplam	9.54	-33.05	2.52	-19.49	2.66	-23.34

*Her sütunda aynı harf ile gösterilen değerler arasındaki fark p<0.05 düzeyinde önemsizdir. ± standart hata.

Çizelge 4: Kurşun uygulamasının çilek bitkisinde yaprak sayısı, yaprak ağırlığı ve yaprak alanı üzerine etkileri

Uygulamalar mg kg ⁻¹	Yaprak sayısı adet bitki ⁻¹	% Değişim	Yaprak ağırlığı g bitki ⁻¹	% Değişim	Yaprak alanı cm ²	% Değişim
Kontrol	*8.50±0.70 ^{ab}	0.00	13.49±0.31 ^a	0.00	8.38±0.25 ^a	0.00
Pb 20	6.75±0.75 ^{ab}	-20.59	9.10±0.80 ^b	-32.54	7.66±0.84 ^a	-8.59
Pb 60	5.58±0.08 ^b	-34.35	8.54±0.49 ^{bc}	-36.69	7.43±0.38 ^a	-11.34
Pb 80	5.25±0.35 ^b	-38.24	6.76±0.38 ^c	-49.89	6.06±0.13 ^b	-27.68
Toplam	6.25	-26.47	9.47	-29.80	7.22	-13.84

*Her sütunda aynı harf ile gösterilen değerler arasındaki fark p<0.05 düzeyinde önemsizdir. ± standart hata.