

## Kurşunun Kıvırcık Salata (*Lactuca sativa* var. *crispa*) Bitkisinin Bazı Morfolojik ve Biyokimyasal Özelliklerine Etkisi

Sevinç KIRAN<sup>1</sup>, Fatma ÖZKAY<sup>1</sup>, Şebnem KUŞVURAN<sup>2</sup>, Şebnem ELLİALTIOĞLU<sup>3</sup>

**ÖZET:** Bu çalışmada, kıvırcık salata bitkisinin bazı morfolojik ve biyokimyasal özellikleri üzerine kurşun stresinin etkisini ortaya koymak amaçlanmıştır. Kontrollü sera koşullarında yürütülen çalışmada tohum ekiminden itibaren 30 günlük bitkilere 3 farklı kurşun (0, 150, 300 ppm) dozu, sulama suyu ile birlikte verilmiştir. Bitkiler 4 hafta boyunca tarla kapasitesi düzeyinde sulandıktan sonra bu sürenin sonunda hasat edilerek örnekler alınmıştır. İncelenen parametreler; toprak üstü biyomas ve kök yaş ağırlığı, toprak üstü biyomas ve kök kuru ağırlığı, gövde ve kök boyu, yaprak alanı, malondialdehit (MDA) miktarı, süperoksit dismutaz (SOD) ve glutatyon redüktaz (GR) enzim aktiviteleri olarak belirlenmiştir. Kurşun uygulamaları doz artışına paralel olarak kıvırcık salata bitkisinin biyomas, gövde ve kök boyu, yaprak alanı değerlerinde düşüşe neden olmuştur. 300 ppm Pb uygulamasındaki SOD ve GR aktiviteleri, diğer uygulamalardan daha yüksek bulunmuştur. Antioksidatif enzim sisteminin salata bitkisinde kurşun stresine karşı korunmada oldukça etkin olduğu gözlemlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Kıvırcık salata (*Lactuca sativa* var. *crispa*), kurşun (Pb), antioksidant enzim



## Effect of lead of Some Morphological and Biochemical Properties in Crisp Lettuce Plants (*Lactuca sativa* var. *crispa*)

**ABSTRACT:** In this study, effect of lead stress on lettuce plants was determined to some morphological and biochemical properties. The study was carried out under greenhouse conditions, after 30 days from seed to plants, it was applied three different lead concentration (0, 150, 300 ppm) with irrigation water. The plants were irrigated field capacity level. After the four weeks, samples of plant were harvested. Shoot fresh and root fresh weight, shoot dry and root dry weight, stem and root length, leaf area, the amount of malondialdehit (MDA), superoxide dismutase (SOD) and glutathione reductase (GR) enzyme activities were investigated on sample plant. There were decline to plant biomass, stem and root length, leaf area on increased of lead applications with irrigation water. SOD and GR activities were higher on the treatment of application 300 ppm Pb than other treatment. Antioxidative enzyme system is highly effective in protecting against lead stress in plant.

**Keywords:** Antioxidant enzymes, lettuce (*Lactuca sativa* var. *crispa*), lead (Pb)

<sup>1</sup> TAGEM, Toprak Gübre ve Su Kaynakları, Tarımsal Sulama ve Arazi Islahı, Ankara, Türkiye

<sup>2</sup> Çankırı Karatekin Üniversitesi, Kızılırmak Meslek Yüksekokulu, Kızılırmak Meslek Yüksekokulu, Çankırı, Türkiye

<sup>3</sup> Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Ankara, Türkiye  
Sorumlu yazar/Corresponding Author: Sevinç KIRAN, sevinckiran@gmail.com

## GİRİŞ

Sanayileşmede meydana gelen artış ve endüstriyel atıkların karışması nedeniyle tarım alanlarında kullanılan suyun kalitesi bozulabilmektedir. İçerisinde endüstriyel atık bulunduran suların kullanımıyla yetiştirilen bitkilerde ağır metallerin birikmesi, hem bitkiler ve hem de bu bitkileri tüketen canlılar için boyutları giderek artan bir tehlike oluşturmaktadır. Bitki dokularında ağır metal birikiminin fazla olması mineral besin alımı, transpirasyon, fotosentez, enzim aktivitesi, nükleik asit yapısı, klorofil biyosentezi ve çimlenme gibi çok sayıda fizyolojik olayı olumsuz yönde etkilemektedir.

Toksik madde içeren, çevresel kirlilik yaratan en önemli ve en sık karşılaşılan ağır metal olan kurşun, bütün bitkiler tarafından buldukları ortamdan absorbe edilmekte ve bitkilerin farklı organlarında biriktirmektedir (Kabata-Pendias, 1984). Bitkiler için gerekli olan bir element olmayan kurşunun bitki doku ve organlarında aşırı birikimi strese neden olmakta, kök uzaması ve biyomas miktarında azalma, klorofil biyosentezinde engellenme, bazı enzim aktivitelerinde tetiklenme veya engellenme gibi etkilere yol açmaktadır. Kurşun elementi, hücre turgoru ve hücre duvarı stabilitesini olumsuz etkilemesinin yanı sıra stoma hareketlerini yavaşlatmakta, yahrak alanının azalmasına yol açmaktadır. Bu nedenlerle bitki su rejimini etkilemektedir (Miranda and Ilangovan, 1996). Bunlardan başka kurşun elementinin kökler tarafından tutulması, sürgünlere göre daha fazla olmaktadır. Bu durum, kök gelişimini azaltmakta olup bitkilerin katyon ve anyon alımında oluşan dengesizlikler, besin elementi alımını da olumsuz etkilemektedir (Sharma and Dubey, 2005). Bitkiler, oksidatif zararın yol açtığı bu yıkıcı etkilerle mücadele etmek için, yağda çözünen ve membrana bağlı antioksidanlar, suda çözünen antioksidanlar ( $O_2^-$  ve  $H_2O_2$ 'nin detoksifikasyonunda rol oynayan glutatyon ve askorbat) ve enzimatik antioksidanlar (süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT), peroksidaz (POX), askorbat peroksidaz (APX) ve glutatyon redüktaz (GR))'dan oluşan karmaşık bir antioksidan koruyucu sistemine sahiptirler. Kıvırcık salata, yıllık ortalama 159 971 ton üretim değeriyle bolca tüketilen, mineral maddeler bakımından zengin, insanların yaş sebze gereksinimini büyük ölçüde karşılayan bir sebzedir (Anonymous, 2013). Yetiştiriciliğin yoğun olarak yapıldığı alanlarda kullanılan suların atık sularla karışması, kurşun içeriğinde riskli artışlara yol açabilmektedir. Bu durum,

bitki gelişimini olumsuz yönde etkilemekte ve elde edilen ürünlerin sağlık açısından tehlike barındırmasına neden olabilmektedir.

Sulama suyuna ilave edilen ve iki farklı dozda uygulanan kurşun tuzunun ( $Pb(NO_3)_2$ ), kıvırcık salata bitkilerinin bazı morfolojik ve biyokimyasal özellikleri üzerindeki etkileri ve ortaya çıkan değişimleri incelemek, bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır.

## MATERYAL VE YÖNTEM

Araştırmamızda bitkisel materyal olarak kıvırcık salata (*Lactuca sativa* var. *crispa*) bitkisinin örtü altı yetiştiriciliğine uygun, orta erkenci, standart kıvırcık Green Wave çeşidi kullanılmıştır. Çalışma 10 Nisan -10 Haziran 2013 tarihleri arasında 8 hafta süre ile Ankara'da gerçekleştirilmiştir. Kıvırcık salata tohumları, içinde toprak karışımı (1:1:1= kum: çiftlik gübresi: orta bünyeli toprak) bulunan yaklaşık 7.5 L hacmindeki plastik saksılara doğrudan ekilmiş, gelişen bitkiler kontrollü sera koşullarında yetiştirilmiştir (23-25 °C sıcaklık ve %50-55 nispi nem). Çimlenme meydana geldikten sonra bitkiler 4 hafta boyunca tarla kapasitesi düzeyinde sulanmıştır. 30 günlük salata bitkilerine kurşun içerikli sulama suyu uygulamaları yapılmıştır. Uygulamalar; 1) Kontrol, 2) 150 ppm Pb, 3) 300 ppm Pb olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Bitkilere uygulanan kurşun çözeltisi kurşun nitrat tuzundan  $Pb(NO_3)_2$  hazırlanmıştır. Deneme süresince saksıların tamamı tarla kapasitesi düzeyinde sulanmıştır.

Kurşunlu sulama suyu ile sulanan ve kontrol uygulamasındaki kurşun tuzu ilave edilmemiş çeşme suyu ile sulanan salata bitkileri, uygulamadan 30 gün sonra hasat edilmiştir. Her üç uygulamadaki bitkilerden örnekler alınmıştır. Bitki toprak üstü biyomas ve köklerde yaş ve kuru ağırlıkları, kök ve gövde boyları, yaprak alanları, lipid peroksidasyonu ve antioksidatif enzim (süperoksit dismutaz, glutatyon redüktaz) miktarlarını belirlemek üzere ölçüm ve analizler yapılmıştır.

Bitkilerde toprak üstü biyomas ve kök kısımları birbirinden ayrılarak yaş ve kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Her genotipten tesadüfi olarak seçilen 4'er bitkinin toprak üstü biyomas ve kök kısımları hassas terazide tartılarak yaş ağırlıkları gram olarak belirlenmiş, daha sonra 65°C'de etüvde 48 saat kurutulduktan sonra kuru ağırlıkları da gram olarak belirlenmiştir (Daşgan and Koç, 2009; Kuşvuran, 2010). Her tekerrürden alınan bitkilerin kök ve gövde boyları milimetrik bir cetvel

yardımla, yaprak alanları ise Licor LI-3000A model yaprak alan ölçer ile ölçülmüştür.

Lipid peroksidasyonunun ölçümü Lutts et al. (1996) tarafından anlatılan yöntem izlenerek gerçekleştirilmiş ve hücre zarlarının uğradığı hasar derecesini gösteren lipid peroksidasyonunun bir ürünü olan malondialdehit (MDA) miktarı,  $\mu\text{mol g}^{-1}$  Taze Ağırlık (T.A.) olarak belirlenmiştir.

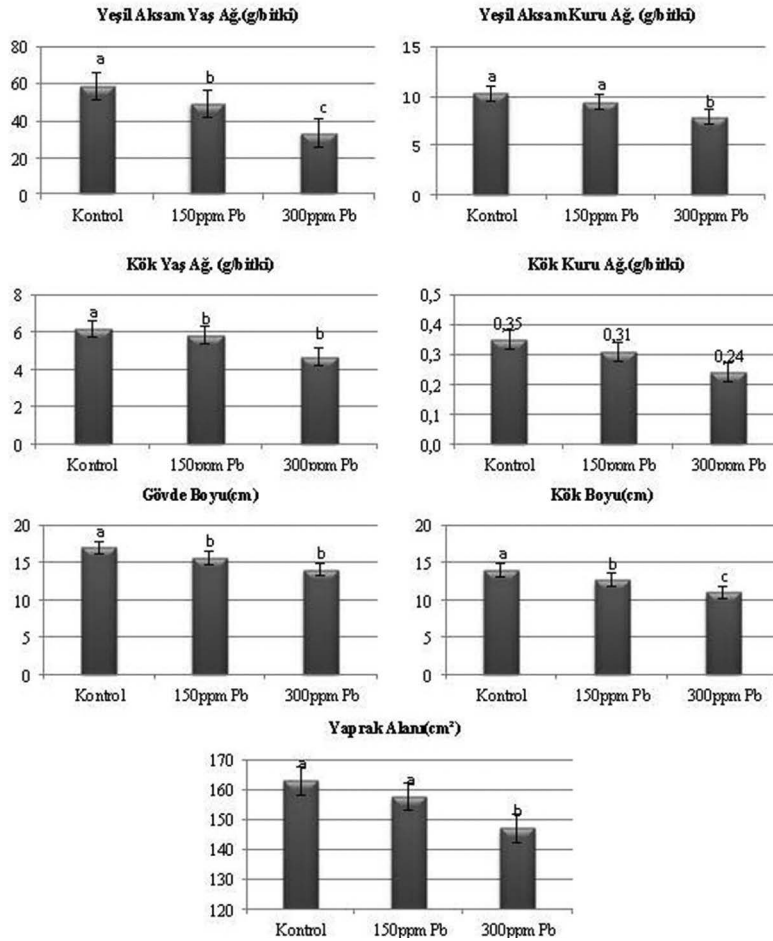
Enzim analizleri için 1'er g taze yaprak ve doku örnekleri sıvı azot içerisinde porselen havanlarda ezildikten sonra, içinde 0.1 mM Na-EDTA bulunan 50 mM'lık 10 ml'lik fosfor tampon çözeltisi (pH:7.6) ile homojenize edilmiş, 15 dk 15000 g'de santrifüj edildikten sonra ölçüm yapılmaya kadar +4 °C sıcaklıkta tutulmuştur. Ölçümler Analytik Jena 40 model spektrofotometrede gerçekleştirilmiştir. Enzim ölçümünde son hacimler, tampon çözeltisiyle tamamlanmıştır. Süperoksit dismutaz (SOD) aktivitesi NBT'nin (nitro blue tetrazolium kloridin) ışık altında  $\text{O}_2$  tarafından indirgenmesi yöntemine göre; glutatyon

redüktaz (GR) aktivitesi Çakmak ve Marschner (1992) ve Çakmak (1994)'e göre 340 nm'de ( $E=6.2 \text{ mM cm}^{-1}$ ) NADPH'nin oksidasyonu esas alınarak belirlenmiştir.

Tesadüf parselleri deneme desenine göre 3 tekrarlı olarak kurulan denemelerden elde edilen sayısal değerler varyans analizine tabi tutulmuş, LSD testi yapılmış ve farklılık dereceleri %5 düzeyinde harflendirme yoluyla gösterilmiştir. Bu amaçla MSTAT-C (Freed et al., 1989) paket programından yararlanılmıştır.

## BULGULAR VE TARTIŞMA

Kıvrıkcık salata bitkisinin bazı özellikleri üzerine kurşun stresinin etkilerinin araştırıldığı bu çalışmada; kurşun stresinin toprak üstü biyomas, kök yaş ağırlıkları, toprak üstü biyomas kuru ağırlığı, kök-gövde boyları ve yaprak alanı, MDA miktarı, süperoksit dismutaz ve glutatyon redüktaz enzim aktiviteleri üzerine etkileri istatistiksel olarak önemli ( $p<0.05$ ) bulunmuştur. Kök kuru ağırlığı üzerine olan etkisi ise istatistiksel olarak öneme sahip olmamıştır.



Şekil 1. Kurşun uygulamaları sonucunda, kıvrıkcık salata bitkilerinin toprak üstü biyomas-kök yaş ağırlığı, toprak üstü biyomas-kök kuru ağırlığı, yaprak alanı, gövde ve kök boyunda meydana gelen değişimler

Kurşun uygulamaları, kıvırcık salata bitkisinin toprak üstü biyomas yaş ağırlık değerlerinde kontrol bitkilerine oranla azalmalara yol açmıştır. En yüksek toprak üstü biyomas yaş ağırlığı, kontrol uygulamasından elde edilmiştir ( $58.67 \pm 2.56$  g bitki<sup>-1</sup>) (Şekil 1). En düşük toprak üstü biyomas yaş ağırlık değeri ise 300 ppm Pb uygulamasında belirlenmiştir ( $33.56 \pm 1.68$  g bitki<sup>-1</sup>). Toprak üstü biyomas değerlerinde kontrol uygulamasına göre azalmalar, her iki kurşun dozunda da ortaya çıkmış olmakla birlikte, 300 ppm Pb uygulamasında gelişmeyi engelleyici etki daha belirgin olmuştur. Nitekim yüksek dozda kurşunun klorofil biyosentezi, fotosentetik aktivite, mineral beslenme, membran geçirgenliği gibi çok sayıda fizyolojik olayı olumsuz yönde etkilediği önceki çalışmalarda da bildirilmiştir (Sharma and Dubey, 2005; Ghani et al., 2010).

Kıvırcık salata bitkilerinin kök yaş ağırlık değerlerinde, kurşun uygulamaları nedeniyle azalmalar ortaya çıkmıştır (Şekil 1). En yüksek kök yaş ağırlıkları istatistiksel bakımdan aynı grupta yer alacak şekilde; kontrol ile 150 ppm Pb uygulamasında belirlenmiştir ( $6.17 \pm 1.34$  ve  $5.83 \pm 2.01$  g bitki<sup>-1</sup>). En düşük kök yaş ağırlığı değerini ise 300 ppm Pb uygulaması vermiştir ( $4.67 \pm 1.34$  g bitki<sup>-1</sup>). Kurşun stresine maruz kalmış bitkilerin kök yaş ağırlıklarının azaldığı Fargašová (1994) ve Akıncı et al. (2010) tarafından da bildirilmiştir.

Kurşun uygulanan kıvırcık salata bitkilerinden elde edilen toprak üstü biyomas kuru ağırlık değerleri incelendiğinde; 150 ve 300 ppm Pb konularındaki bitkilerin kontrol grubu bitkilerine oranla daha düşük miktarlara sahip oldukları görülmektedir (Şekil 1). Toprak üstü biyomas kuru ağırlığındaki en yüksek değerler istatistiksel olarak aynı grupta yer alacak şekilde kontrol ve 150 ppm Pb dozunda ( $10.30 \pm 0.56$  ve  $9.43 \pm 0.79$  g bitki<sup>-1</sup>) belirlenmiştir. Akıncı et al. (2010) da, domateste kurşun stresinin toprak

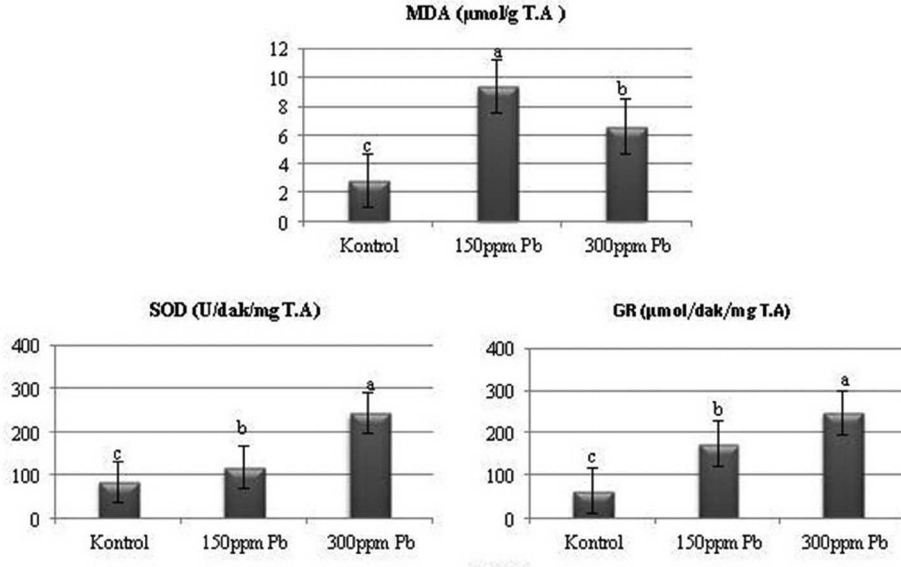
üstü biyomas kuru ağırlık değerlerinde düşümlere yol açtığını bildirmişlerdir.

Kök kuru ağırlığı bakımından ortaya çıkan farklılıklar istatistiksel olarak önemli olmamakla birlikte en yüksek değerler genel olarak kontrol bitkilerinde ölçülmüştür (Şekil 1).

Kıvırcık salata bitkileri kurşun stresi koşullarında, yaprak alanı bakımından olumsuz yönde etkilenmiştir. Kurşun uygulamaları doz artışına paralel olarak kontrol bitkilerine oranla yaprak alanlarında azalmalara yol açmıştır. Yaprak alanındaki en düşük ortalama değer 300 ppm Pb uygulamasında tespit edilirken ( $146.98 \pm 10.33$  cm<sup>2</sup> bitki<sup>-1</sup>), en yüksek ortalama değer kontrol konularına ait bitkilerde saptanmıştır ( $163.00 \pm 12.3$  cm<sup>2</sup> bitki<sup>-1</sup>) (Şekil 1). Sharma and Dubey (2005) de, kurşun elementinin hücre turgoru ve hücre duvarı stabilitesini, stoma hareketlerini ve yaprak alanını azalttığını bildirmişlerdir.

Kurşun stresi koşullarında gelişmelerini 4 hafta boyunca sürdüren kalan kıvırcık salata bitkilerinde, kontrol bitkilerine oranla gövde boyunda da azalmalar meydana gelmiştir (Şekil 1). En yüksek gövde boyu değerleri; kontrol uygulamalarında tespit edilmiştir (17.00 cm). Çalışmada kurşun konsantrasyonlarındaki artışla birlikte gövde boyunda meydana gelen azalma ile ilgili bulgularımız, Ghani et al. (2010) ve Yong et al. (2011)'nin bulgularıyla benzerlik göstermektedir.

Kök boyu Pb stresine bağlı olarak azalma göstermiş, en düşük değerler 300 ppm Pb uygulamasında ortalama  $11.00 \pm 1.07$  cm olarak tespit edilmiştir. Kurşun uygulamaları genel olarak kök boyunda azalmaya yol açmıştır. Nitekim kök büyümesinin kurşun toksisitesine çok fazla duyarlı olduğu bilinmektedir (Sharma and Dubey, 2005). Kurşun stresinin kök boyunda azalmalara yol açtığı Ghani et al. (2010) ve Yong et al. (2011) tarafından da rapor edilmiştir.



Şekil 2. Kurşun uygulamaları sonucunda, kıvırcık salata bitkilerinin MDA miktarı, SOD ve GR antioksidant enzim aktivitelerinde meydana gelen değişimler.

Çalışmada MDA miktarı ile SOD ve GR enzim aktiviteleri de incelenmiştir (Şekil 2). Kurşun stresi uygulanan bitkiler arasında en yüksek ortalama MDA değeri 150 ppm Pb uygulamasından elde edilmiştir ( $9.36 \pm 0.36 \mu\text{mol g}^{-1} \text{T.A.}$ ). Kontrol bitkileri ortalama  $2.79 \pm 0.76 \mu\text{mol g}^{-1} \text{T.A.}$  değeri ile en düşük MDA değerine sahip olmuştur. Kurşun stresi salata bitkilerinin hücre duvarlarında tahribata neden olmuştur. Kurşun stresi koşullarında Çolak ve Doğan (2011) buğdayda, Verma and Dubey (2003) çeltikte MDA miktarlarının arttığını bildirmişlerdir. Ağır metaller, doymamış yağ asitlerinden reaktif oksijen türleri yoluyla hidrojen çıkartarak şiddetli bir biçimde lipidlerde peroksidasyona neden olabilmektedir (Zhou et al., 2009).

Ağır metal stresi sonucunda oluşan ve yüksek düzeylere ulaşan ROS (Reactive oxygene species)'u zararsız bileşiklere dönüştüren antioksidant enzim aktiviteleri, bitkilerde oksidatif strese karşı etkili olan en önemli dayanım mekanizmaları olarak işlev görmektedir (Mittler, 2002; Liu et al., 2007). Süper oksit dismutaz (SOD), glutasyon redüktaz (GR) da, etkin antioksidatif enzimler arasında yer almaktadır. Ağır metal toksisitesi koşullarında SOD enzim aktivitesi uyarılmaktadır (Prasad et al., 1999). Çalışmamızda SOD enzim aktivitesi bakımından en yüksek ortalama değer 300 ppm Pb uygulamasından elde edilmiştir ( $242.49 \pm 10.65 \text{U dak}^{-1} \text{mg}^{-1} \text{T.A.}$ ). En düşük SOD ölçümüne kontrol bitkileri sahip olmuştur ( $82.77 \pm 8.33 \text{U dak}^{-1} \text{mg}^{-1} \text{T.A.}$ ). Morela ve ark. (2007) salatalarda ve Verma and Dubey (2003), çeltikte kurşun stresinin SOD enzim aktivitesinde artışlara yol açtığını, stres süresince artan düzeyde  $\text{O}_2$  üretildiğini ve SOD enzim aktivitesindeki

artış ile bitkilerin bu radikali yok etmeye çalıştıklarını bildirmişlerdir. Nitekim bizim çalışmamızda da 300 ppm Pb uygulamasında 150 ppm Pb dozuna göre daha yüksek miktarda SOD aktivitesini belirlenmesi, 300 ppm stres uygulamasındaki MDA miktarı azalmasını açıklar nitelikte görülmüştür. Çalışmada GR enzim aktivitesi de incelenmiştir. GR enzim aktivitesi en yüksek değerini, 300 ppm uygulamasında ( $246.13 \pm 11.32 \mu\text{mol dak}^{-1} \text{mg}^{-1} \text{T.A.}$ ), en düşük değeri ise kontrol uygulamasında vermiştir ( $62.16 \pm 4.44 \mu\text{mol dak}^{-1} \text{mg}^{-1} \text{T.A.}$ ). GR, kloroplastlarda olduğu gibi mitokondri ve sitoplazmada da bulunmakta ve askorbat-glutasyon döngüsünün hız sınırlayıcı son basamağını katalizlemektedir (Foyer et al., 1997). Çalışmamızda elde edilen bulgular Dinakar ve ark. (2008) ve Verma and Dubey (2003)'ün çeltik ve yer fıstığında elde ettikleri bulgularla paralellik göstermektedir. Bu çalışmalarda kurşun stresi karşısında GR aktivitelerinde artış meydana geldiği tespit edilmiştir.

## SONUÇ

Kurşun içeriği farklı sulama suları ile sulanan kıvırcık salata bitkilerinde stres koşullarına bağlı olarak ortaya çıkan sonuçları aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür:

- Kurşun bitki gelişimini olumsuz yönde etkileyen bir element olup 300 ppm Pb dozu, kıvırcık salata bitkilerinin gelişmesini 150 ppm dozuna ve kurşun uygulanmayan bitkilere göre en fazla düzeyde engellemiştir.

- b. Toprak üstü organların yaş ve kuru bitki ağırlıkları, kök ve gövde boyları, yaprak alanı gibi morfolojik özellikler bakımından değişen oranlarda azalmalar meydana gelmiştir.
- c. Malondialdehit miktarı, süperoksit dismutaz ve glutasyon redüktaz aktiviteleri, stres koşullarında artış gösteren biyokimyasal özellikler olarak belirlenmiştir.
- d. Antioksidatif savunma mekanizmalarından enzim aktivitelerindeki artışın, Pb stresine dayanımın sağlanmasında kıvrıkcık salata bitkisinde etkin çalışan bir sistem olduğu yönünde izlenim edinilmiştir.

## KAYNAKLAR

- Anonymous, 2013. Türkiye İstatistik Kurumu (<http://tuikrapor.tuik.gov.tr/reports>).
- 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 Journal of Agricultural Research*, 5 (6): 416-423.
- Cakmak, I., Marschner, H., 1992. Magnesium deficiency and highlight intensity enhance activities of superoxide dismutase, ascorbate peroxidase and glutathione reductase in bean leaves. *Plant Physiology*, 98: 1222-1226.
- Cakmak, I., 1994. Activity of ascorbate-dependent H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> scavenging enzymes and leaf chlorosis are enhanced in magnesium and potassium deficient leaves, but not in phosphorus deficient leaves. *Journal Experiment Botany*, 45: 1259-1266.
- Çolak, U., Doğan, M., 2011. Kurşun uygulamasının *Triticum aestivum* L. cv. Ceyhan 99'daki bazı fizyolojik etkileri. *Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi*, 4(2): 49-53.
- Daşgan, H.Y., Koç, S., 2009. Evaluation of salt tolerance in common bean genotypes by ion regulation and searching for screening parameters. *Journal of Food, Agriculture Environment*, 7(2): 363-372.
- Dinakar, N., Nagajyothi, P.C., Suresh, S., Udaykiran, Y., Damodharam, T., 2008. Phytotoxicity of cadmium on protein, proline and antioxidant enzyme activities in growing *Arachis hypogaea* L. seedlings. *Journal of Environmental Science*, 20: 199-206.
- Fargašová, A., 1994. Effect of Pb, Cd, Hg, As and Cr on germination and root growth of *Sinapis alba* seeds. *Bull. Environ. Contam. Toxicology*, 52: 452-456.
- Foyer, C.H., Lopez-Delgado, H., Dat, J.F., Scott, I.M., 1997. Hydrogen peroxide and glutathione-associated mechanisms of acclimatory stress tolerance and signaling. *Physiologia Plantarum*, 100: 241-254.
- Freed, R., Einensmith, S.P., Guets, S., Reicosky, D., Smail, V.W., Wolberg, P., 1989. User's guide to MSTAT-C, an analysis of agronomic research experiment. Michigan State University, USA.
- Ghani, A., Shah, A.U., Akhtar, U., 2010. Effect of lead toxicity on growth, chlorophyll and lead (Pb) content of two varieties of maize (*Zea mays* L.). *Pakistan Journal of Nutrition*, 9(9): 887-891.
- Jiang, W., Liu, D., 2000. Effects of Pb<sup>2+</sup> on root growth, cell division, and nucleolus of *Zea mays* L. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 65: 786-793.
- Kabata-Pendias, A., Pendias, H., 1984. Trace element in the soil and plants. CRC Press Florida.
- Kıran, Y., Munzuroğlu, Ö., 2004. Mercimek (*Lens culinaris* Medik.) tohumlarının çimlenmesi ve fide büyümesi üzerine kurşunun etkileri. *F.Ü. Fen ve Mühendislik Dergisi*, 16 (1): 1-9.
- Kuşvuran, Ş., 2010. Kavunlarda Kuraklık ve Tuzluluğa Toleransın Fizyolojik Mekanizmaları Arasındaki Bağlantılar. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enst., Doktora Tezi, 355s., Adana.
- Liu, D. H., Jiang, W. S., Wang, W., Zhao, F. M., Lu, C., 1994. Effects of lead on root growth cell division and nucleolus of *Allium cepa*. *Environ. Pollut.*, 86: 1-4.
- Liu Y, Wang X, Zeng G, Qu D, Gu J, Zhou M, Chai L. 2007. Cadmium-induced oxidative stress and response of the ascorbate-glutathione cycle in *Beckmeria nivea* (L.) Gaud. *Chemosphere*, 69: 99-107.
- Lutts, S., Kinet, J.M., Bouharmont, J., 1996. NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. *Ann. Bot.*, 78: 389-398.
- Miranda, M.G., Ilangovan, K., 1996. Uptake of lead by *Lemna gibba* L. influence on specific growth rate and basic biochemical changes. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 56: 1000-1007.
- Mittler, R., 2002. Oxidative stress, antioxidants, and stress tolerance. *Trends in Plant Science*, 7: 405-410.
- Morela, V.R.F., Capraru, G., Bara, I., Arteni, V., 2007. Lead acetate effect on superoxide dismutase activity in *Lactuca sativa* L., Mona and Syrena cultivars. *Genetics and Molecular Biology*, 8 (2): 115-118.
- Prasad, K.V.S.K., Paradha, S.P., Sharmila, P., 1999. Concerted action of antioxidant enzymes and curtailed growth under zinc toxicity in *Brassica juncea*. *Environ. Exp. Bot.*, 42: 1-10.
- Sharma, P., Dubey, R.S., 2005. Lead toxicity in plants. *Braz. J. Plant Physiol.*, 17(1): 35-52.
- Verma, S., Dubey, R.S., 2003. Lead toxicity induces lipid peroxidation and alters the activities of antioxidant enzymes in growing rice plants. *Plant Sci.*, 164: 645-655.
- Yong, X., Zhang, Z., Yang, Q., 2011. Effect of lead stress on growth characteristic and physiological indexes of *Alternanthera philoxeroides*. *Agric. Sci. and Tech.*, 12(3): 347-349.
- Xiong, Z. T., 1998. Lead uptake and effects on seed germination and plant growth in a Pb hyperaccumulator *Brassica pekinensis* (Rupr). *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 60: 285-291.
- Zhou, D.X., Liu, Y.F., Liu, X.B., 2009. Effects of waterlogging stress on physiological and biochemical index in *Alternanthera philoxeroides* Hubei. *Agricultural Sciences*, 48(3): 585-587.