



Farklı Kadmiyum Düzeylerinin Pamuk Bitkisinde (*Gossipium Hirsutum L*) Büyüme, Cd, Fe, Zn Konsantrasyonu ve Antioksidatif Enzim Aktiviteleri Üzerine Etkisi

Sema KARANLIK^{1*}

Nuray ERGÜN²

Murat TIRYAKIOĞLU³

¹Mustafa Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Antakya, HATAY

²Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü, Antakya, HATAY

³Mustafa Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü, Antakya, HATAY

*Sorumlu yazar

e-mail: karanlik.sema@gmail.com

Geliş Tarihi: 30 Ekim 2013

Kabul Tarihi: 15 Aralık 2013

Özet

Kontrollü koşullar altında, besin çözeltisinde yetiştirilen pamuk (*Gossipium hirsutum L.*) bitkileri 5 gün süre ile farklı dozlarda (0, 2, 10, 30 $\mu\text{mol L}^{-1}$) kadmiyuma maruz bırakılarak kadmiyumun pamuk fidelerinde yeşil aksam kuru ağırlığı, Cd, Fe ve Zn konsantrasyonları, klorofil içeriği ile katalaz (KAT) ve askorbat peroksidaz (APX) enzim aktiviteleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Artan Cd uygulamaları yeşil aksam kuru ağırlığı ve bitki boyunda önemli düzeyde azalmaya yol açmıştır. Kadmiyum dozunun artışı yeşil aksam Cd konsantrasyonunu arttırırken, Fe konsantrasyonunun önemli düzeyde düşmesine yol açmış, bitkilerin Zn konsantrasyonu ise Cd uygulamalarından önemli düzeyde etkilenmemiştir. Yapraklarda yapılan klorofil analizleri besin çözeltisindeki Cd dozunun artışı ile Kl a, Kl b ve Kl a+b düzeylerinin düştüğünü göstermiştir. Antioksidatif enzimlerden KAT aktivitesi Cd uygulamaları ile yükselirken, APX aktivitesi 2 $\mu\text{mol L}^{-1}$ Cd dozunda yükselmiş, 10, 30 $\mu\text{mol L}^{-1}$ Cd dozlarında ise azalma eğilimi göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: *Gossipium hirsutum*, kadmiyum, askorbat peroksidaz, katalaz, klorofil

The Effects of Different Cadmium Levels on Growth, Cd, Fe, Zn Concentrations, and Antioxidative Enzyme Activities in Cotton Plant (*Gossipium Hirsutum L*)

Abstract

Cotton plants (*Gossipium hirsutum L.*) grown in nutrient solution and plants was exposure to different cadmium treatments (0, 2, 10, 30 $\mu\text{mol/L}$) for 5 days under controlled conditions. The effect of Cd on dry matter, Cd, Zn and Fe concentrations, chlorophyll content, catalase (CAT) and ascorbate peroxidase (APX) enzyme activities of cotton seedlings were investigated. Increasing Cd treatments led to significant decline in drymatter and plant height . Increasing cadmium treatments led to a significant increase in Cd and decrease in Fe concentrations of plants,, while the concentration of Zn did not significantly affected by Cd treatments. Kl a, b, and Kl a+b content of leaves decreased with increasing Cd treatments. CAT activity increased with increasing Cd treatments while APX activity increased at 2 $\mu\text{mol/L}$ Cd and decreased at 10, 30 $\mu\text{mol/L}$ Cd treatments.

Keywords: *Gossipium hirsutum*, cadmium, ascorbate peroxidase, catalase, chlorophyll

*Bu çalışma Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi'nde yürütülmüştür.

GİRİŞ

Tarımsal topraklar endüstriyel faaliyetlerin artması, hızlı kentleşme, pestisit ve diğer tarımsal amaçlı kimyasal maddelerin bilinçsizce kullanımı sonucu toksik düzeylerde ağırmetal içerebilmektedir. Madencilik, kanalizasyon atıkları ve yüksek Cd içerikli fosforlu gübre kullanımı çevrede Cd toksisitesinin temel kaynaklarıdır (Chaney, 1998). Bitkilerde Cd birikimi toksik etki yaparak mineral beslenme ve bitkilerin karbonhidrat metabolizmasında bozulmaya yol açmakta, bitki büyüme ve

gelişiminin sınırlanmasına neden olmaktadır (John ve ark., 2009). Kadmiyum aynı zamanda klorofil biyosentezini inhibe etmekte ve toplam klorofil içeriğinin düşmesine yol açmaktadır (Stobart ve ark. 1985). Çinko ve demir bitkilerde birçok biyokimyasal proses açısından mutlak gerekli olan mikrobese elementlerindedir (Marschner, 1995). Bu besin elementleriyle interaksiyona bağlı olarak, Cd bu besin elementlerinin alımını ve bitkideki dağılımını etkileyerek besin elementi noksanlığına/dengesizliğine ve bitki büyümesinde gerilemeye yol açabilmektedir (Zhang ve ark., 2002). Aynı zamanda Cd toksisitesi bitki

hücrelerinde oksidatif stres yaratmakta, Reaktif Oksijen Türevlerinin (ROS) oluşumunu arttırmak suretiyle proteinlerin, lipidlerin, pigment ve nükleik asitlerin zararlanmasına, lipid peroksidasyonuna yol açmakta, antioksidatif enzimlerin aktivitelerini inhibe veya sitümüle edebilmektedir (Hendry, Baker ve Evart, 1992, Shah ve ark. 2001). Oksidatif zarara karşı bitki hücreleri kendilerini süperoksit dismutase (SOD), peroxidase (POD), katalaz (KAT), glutathione peroxidase (GPX) ve ascorbate peroxidase (APX) gibi antioksidatif enzimlerin yanısıra askorbik asit, glutathion gibi enzim olmayan antioksidantlar gibi çok çeşitli antioksidant ürünü içeren antioksidatif savunma mekanizmaları ile korumaktadırlar (Pilon-Smits ve ark., 2000, Mishra ve ark., 2006, Zornoza ve ark., 2010).

Pamuk lif bitkileri içerisinde dünyada en çok üretilen bitkidir. Ağırmetallerle kirlenmiş alanlarda lif bitkilerinin gelişimi hakkındaki çalışmalar oldukça sınırlıdır (Riaz ve ark., 2009). Bu araştırmada amaç; yetiştirme ortamındaki farklı Cd konsantrasyonlarının pamuk bitkisinin yeşil aksam kuru ağırlığı, bitki boyu, Cd, Fe ve Zn konsantrasyonları, klorofil içeriği (Kl a, Kl b ve Kl a+b), Kl a/b oranı ile katalaz (KAT) ve askorbat peroksidaz (APX) enzim aktiviteleri üzerine etkisini araştırmaktır.

MATERYAL VE METOD

Pamuk tohumları (BA 525) (*Gossipium hirsutum* L.) bitki büyütme odasında perlit içerisinde distile su ile sulanarak çimlendirilmiş ve 7 gün büyütülmüştür. Çimlendirilen tohumlar Arnon-Hoagland besin çözeltisi bulunan ve sürekli havalandırılan saksılara alınmıştır. Besin çözeltileri saf su ile hazırlanmış ve deneme süresince her 3 günde bir yenilenmiştir. Bitkiler sıcaklığı 24/20 °C (gündüz/gece), ışık rejimi 16/8 saat (gündüz/gece) ve ışık intensitesi 350 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ olan kontrollü koşullarda yetiştirilmiştir. Bitkiler 16 günlük büyüme döneminden sonra her uygulama 4 paralelli olacak şekilde farklı konsantrasyonlarda (0, 2, 10 ve 30 $\mu\text{mol L}^{-1}\text{Cd}$) Cd (CdCl_2 formunda) içeren besin çözeltilerine alınmıştır. Bitkiler 5 gün süreyle Cd uygulamasına maruz bırakıldıktan sonra bitkilerin yeşil aksam boy ölçümleri yapılmış ve ardından tüm yeşil aksam hasat edilmiştir. Bitki kuru ağırlıkları bitkilerin 65 °C'de 48 saat kurutulması ile elde edilmiştir. Bitki örnekleri öğütülerek 500 °C'de kül fırınında yakılmış ve elde edilen kül % 3.3 (v/v)'lük HCl içerisinde çözülmüştür. Elde edilen

süzükte Cd, Fe ve Zn konsantrasyonları ICP (Varian Liberty II Series) cihazında saptanmıştır.

Askorbat peroksidaz ve katalaz enzim aktiviteleri için hasattan önce 500 mg taze yaprak örnekleri alınmış ve bu örnekler, içerisinde 0.1 mM Na-EDTA bulunan 50 mM'lık 5 ml P tampon çözeltisi (pH=7.6) içerisinde homogenize edilmiştir. Homogenize edilen örnekler 15000 g'de 15 dk santrifüj edildikten sonra elde edilen santrifüjatlarda enzim analizlerinde kullanılmıştır. Enzim analizlerindeki tüm işlemler +4°C'de yapılmıştır. Katalaz enzim aktivitesi (KAT), Cakmak ve Marschner (1992) ve Cakmak (1994)'e göre spektrofotometrede 240 nm'de H_2O_2 'in parçalanma oranına bağlı olarak ölçülmüştür. Reaksiyon karışımı (1ml), 50 mM fosfor tamponu (pH=7.6), 0.1 mM EDTA, 100 mM H_2O_2 ve enzim ekstraktından oluşmaktadır. Askorbat peroksidaz (APX) aktivitesi, Cakmak ve Marschner (1992) ve Cakmak (1994)'e göre 290 nm'de askorbat oksidasyon oranı ölçülerek saptanmıştır. Reaksiyon karışımı (1ml), 50 mM fosfor tamponu (pH = 7.6), 0.1 mM EDTA, 1.0 mM H_2O_2 , 0.25 mM L(+) askorbik asit (AsA) ve enzim ekstraktından oluşmaktadır. Klorofil analizleri, gelişimini tamamlamış en son yaprakta, her yaprakta 10 mm çapında 5 adet yaprak örneklerinde yapılmıştır. Alınan örnekler önce tartılmış sonra saf aseton çözeltisinde çözdürüldükten sonra adi filtre kağıdından geçirilerek süzölmüştür. Süzöte hacmi 10 ml olacak şekilde aseton ilavesi yapılmış, sonrasında çalkananan süzütlerin spektrofotometrede 645 ve 663 nm dalga boyunda absorbans değerleri ölçülmüştür. Elde edilen değerler üzerinden Aron (1949)'a göre klorofil değerleri hesaplanmıştır. Hesaplamadan elde edilen sonuçlar Porra (2002)'ya göre düzeltilerek klorofil değerleri bulunmuştur.

Ölçümlerden elde edilen değerler SPSS-16 (SPSS Inc. Chicago, Illinois, USA) istatistik paket programı kullanılarak varyans analizine tabi tutulmuş, var olan farklar ise LSD karşılaştırma testine göre gruplandırılmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Bitki büyümesi artan Cd uygulamalarından önemli düzeyde etkilenmiş, bitki kuru ağırlığında azalmalar olmuş ve bu azalmalar Cd dozunun artışı ile şiddetlenmiştir. Kontrol uygulaması ile karşılaştırıldığında 2 $\mu\text{mol/L}$ Cd uygulaması bitki kuru ağırlığında %12.7 azalmaya yol açarken, 10 $\mu\text{mol/L}$ Cd uygulaması %23.8 ve 30 $\mu\text{mol/L}$ Cd

uygulaması ise %32.4 azalmaya yol açmıştır (Çizelge 1). Hasat öncesi yapılan bitki boyu ölçümleri Cd uygulamalarının bitki boyunda da azalmaya neden olduğunu göstermiştir. Kadmiyum dozunun artışı ile bitki gelişimi daha çok sınırlandırılmış ve bitki boyları azalmıştır. Kadmiyum uygulanmayan kontrol koşulları ile kıyaslandığında 2 $\mu\text{mol/L}$ Cd uygulaması bitki boyunda %11.8 azalmaya neden olurken, 10 $\mu\text{mol/L}$ Cd uygulaması %22.7 ve 30 $\mu\text{mol/L}$ Cd uygulaması ise %21.2 azalmaya yol açmıştır (Çizelge 1). Kadmiyum uygulamasının bitki kuru ağırlığı ve bitki boyu üzerine olumsuz etkisi farklı bitkilerde birçok araştırmacı tarafından saptanmıştır (Bachir L.Dango M. ve ark. 2004, Tiryakioğlu ve ark. 2006, John ve ark., 2009, Safarzadeh ve ark., 2013). Bu çalışmada elde edilen bulgularla benzer şekilde. Bachir L. Dango M ve ark. (2004), 0.1 ve 1 μM Cd uygulamalarının pamuk bitkisinin uzunluğunu kontrole göre sırasıyla %15.4 ve 24.9 azalttığını bildirmişlerdir. Safarzadeh ve ark. (2013) ise çeltik bitkisinde 45 ve 90 mg kg^{-1} Cd uygulamalarının bitki yeşil aksam ve kök kuru ağırlığını önemli düzeyde azalttığını bildirmişlerdir. Benzer şekilde, Tiryakioğlu ve ark. (2006) arpa bitkisinde artan Cd uygulamalarının yeşil aksam boyunu azalttığını, 0 ile 120 $\mu\text{mol/L}$ arasındaki artan Cd uygulamalarının yeşil aksam kuru ağırlığında %30-40 azalmaya yol açtığını tespit etmişlerdir.

Çizelge 1. Farklı Cd dozlarının yeşil aksam kuru ağırlığı (mg bitki^{-1}) ve bitki boyu (mm bitki^{-1}) üzerine etkisi

Cd Dozu ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	Kuru ağırlık (mg bitki^{-1})	Bitki boyu (cm bitki^{-1})
0	340 a	17.4 a
2	297 b	15.3 b
10	259 c	13.4 c
30	230 d	13.7 c
Ortalama	282	15.0
LSD	18.7***	1.03***
CV	4.2	4.32

***) $p < 0.001$; **) $p < 0.01$; *) $p < 0.05$

Beklendiği şekilde artan Cd uygulamaları bitkilerin Cd konsantrasyonunu önemli düzeyde arttırmıştır. Bitkilere uygulanan Cd dozu ile bitkilerin Cd konsantrasyonu arasında önemli ilişki saptanmıştır (Çizelge 2). Kontrol koşullarında yeşil aksam Cd konsantrasyonu 0.56 mg kg^{-1} iken, 2, 10 ve 30 $\mu\text{mol/L}$ Cd uygulamalarında sırasıyla 1.70, 5.56, 7.61 mg kg^{-1}

¹'a yükselmiştir. Kadmiyum dozunun artışı ile bitki Cd konsantrasyonunun artışı birçok araştırmacı tarafından saptanmıştır. Bachir L. Dango M. ve ark. (2004) pamuk bitkisinde 0.1 ve 1 μM Cd uygulamalarının bitkide Cd konsantrasyonunu arttırdığını bildirmişlerdir. Safarzadeh ve ark. (2013) çeltik bitkisinde 0, 45 ve 90 mg kg^{-1} Cd uygulamalarında yeşil aksam Cd konsantrasyonunu sırasıyla 1.59, 7.42, ve 9.87 mg kg^{-1} olarak saptamışlardır. John ve ark. (2009) 0 ila 300 mg kg^{-1} arası 7 farklı Cd uygulamasında en fazla Cd birikiminin 200 mg kg^{-1} Cd uygulamasında olduğunu bildirmişlerdir. Tiryakioğlu ve ark. (2006) ise, artan Cd uygulamalarının yeşil aksam ve özellikle kökte Cd konsantrasyonunun artışına yol açtığını, bunun yanında bitki tarafından alınan kadmiyumun çoğunun köklerde akümüle olduğunu, çok az bir kısmının yeşil aksama taşındığını bildirmişlerdir.

Çizelge 2. Farklı Cd dozlarının bitkilerin Cd, Fe ve Zn konsantrasyonu (mg kg^{-1}) üzerine etkisi

Cd Dozu ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	Cd (mg kg^{-1})	Fe (mg kg^{-1})	Zn (mg kg^{-1})
0	0.56 d	147 a	38.7
2	1.70 c	135 a	40.3
10	5.56 b	122 ab	41.0
30	7.61 a	106 b	39.9
Ortalama	3.86	128	40.0
Lsd	0.50***	28.4	-
C.V.	8.12	14.0	7.6

***) $p < 0.001$; **) $p < 0.01$; *) $p < 0.05$

Kadmiyum uygulamaları bitkilerin Fe konsantrasyonunda önemli düşümlere sebep olmuştur (Çizelge 2). Kontrol koşullarında 147 mg kg^{-1} olan Fe konsantrasyonu artan Cd uygulamalarında (2, 10, 30 $\mu\text{mol L}^{-1}$ Cd) sırasıyla %8.1, 17.3 ve 28.0 azalma göstermiştir. Bunun yanı sıra Cd uygulamaları bitkilerin Zn konsantrasyonunu hafifçe arttırmış olmakla birlikte bu etki önemli bulunmamıştır (Çizelge 2). Benzer konuda çalışma yapan Bachir ve ark. (2004) pamuk bitkisinde 0.1 ve 1 μM Cd Cd uygulamalarının bitkide Fe ve Zn konsantrasyonunu arttırdığını, Cd ile Fe ve Zn alımı arasında sinergistik bir etki olabileceğini bildirmişlerdir. Köleli ve ark. (2004), Zn noksanlığı altında artan Cd uygulamalarının bitki yeşil aksamında Fe konsantrasyonunu düşürdüğünü, Zn'nun yeterli olduğu uygulamada ise Cd uygulamalarının bitki yeşil aksam Fe konsantrasyonunu etkilemediğini bildirmişlerdir. Aynı araştırmacılar artan Cd uygulamalarının Zn

noksanlığı altındaki bitkilerde Zn konsantrasyonunun düşmesine neden olduğunu, fakat Zn-yeterli koşullarda denemenin 35. günü bitkilerin Zn konsantrasyonuna etki yapmadığını, 65. gününde ise Zn konsantrasyonunu arttırdığını bildirmişlerdir. Safarzadeh ve ark. (2013) ise yaptıkları çalışmada 45 ve 90 mg kg⁻¹ Cd uygulamalarının bitki yeşil aksamında Zn ve Fe konsantrasyonunun önemli seviyede azalmasına yol açtığını saptamışlardır. Wu ve ark. (2004) kadmiyumun pamuk bitkisinde mikro elementlerin alımı ve bitkideki taşınması üzerine yaptıkları araştırmalarında 0, 0.1 ve 1 µM Cd uygulamalarında yaprakta Zn ve Fe konsantrasyonlarının önemli seviyede değişmediğini, 10 µM Cd uygulamasında ise önemli derecede arttığını bildirmişlerdir.

10 ve 30 µmol L⁻¹ Cd kadmiyum uygulamaları bitkilerde Kla, Klb içerikleri ve Kla+b değerlerinde kontrol dozuna göre düşüşe yol açmış, klorofil içeriklerindeki bu azalma özellikle 30 µmol L⁻¹ Cd uygulamasında önemli düzeyde seyretmiştir (Çizelge 3). Kontrol koşulları ile kıyaslandığında 30 µmol L⁻¹ Cd uygulamasında Kla, Klb ve Kla+b içeriklerinde sırasıyla % 38.7, 39.0, 38.8 azalma tespit edilmiştir. Düşük dozdaki Cd uygulaması (2 µmol L⁻¹ Cd) Kla, Klb ve Kla+b içeriklerinde hafifçe yükselmeye yol açmıştır. Bunun yanında, kadmiyum uygulamaları Kla/b oranını istatistiki olarak önemli seviyede etkilememiştir. Benzer şekilde Yu ve ark. (2013), artan Cd uygulamalarının Kla, Klb ve Kla+b içeriklerinde azalmaya yol açtığını ve bu etkinin özellikle 20 mg kg⁻¹'den yüksek Cd uygulamalarında önemli düzeyde olduğunu bildirmişlerdir. Bachir ve ark. (2004) ise pamuk bitkisinde 0.1 ve 1 µM Cd uygulamalarının

kontrol koşullarına göre klorofil içeriğini sırasıyla % 0.2 ve 6.8 azalttığını bildirmişlerdir.

Kadmiyum toksisitesinin reaktif oksijen türevlerinin oluşumunu arttırarak oksidatif strese yol açtığı, fotosentez, azot metabolizması, enzimatik ve enzimatik olmayan antioksidatif savunma mekanizmalarının Cd'a oldukça duyarlı olduğu birçok araştırmacı tarafından bildirilmiştir (Hendry ve ark., 1992, Halliwell ve Gutteridge, 1999, Mishra ve ark., 2006, Yu ve ark., 2011). Bitkilere Cd uygulanması KAT enzim aktivitesini önemli derecede arttırmıştır (Çizelge 4). Kontrol koşulları ile karşılaştırıldığında kadmiyumun 2, 10 ve 30 µmol L⁻¹ uygulamalarında katalaz enzim aktivitesi sırasıyla % 39.0, 36.0, 23.0 artış göstermiştir. KAT aktivitesindeki bu artışlar Cd uygulamalarının bitkide oksidatif strese yol açtığını ve bitkinin bu oksidatif zararlar başa çıkmak için antioksidatif savunma sistemlerini harekete geçirdiğine işaret etmektedir. Burada elde edilen bulgularla uyumlu olarak Yu ve ark. (2013) artan Cd uygulamalarının yaprakta KAT aktivitesini % 35.6-161.3 arttırdığını saptamışlardır. John ve ark. (2009) ise artan Cd uygulamalarında KAT aktivitesinin Cd'un düşük dozdaki uygulamalarında kontrol koşullarına göre arttığını, yüksek Cd uygulamalarında ise azaldığını bildirmişlerdir. Öte yandan APX aktivitesinin Cd'un 200 mg kg⁻¹'a kadar olan uygulamalarında yükseldiğini, bu dozdan sonra ise azalma gösterdiğini bildirmişlerdir. Pinto ve ark. (2009), *B. juncea*, *N. tabacum* ve *S. Nigrum*'un yeşil aksamında 15 mg kg⁻¹'den düşük dozdaki Cd uygulamalarında KAT ve APX aktivitesinde önemli değişim saptamazken, 15 ve/veya 35 mg Cd kg⁻¹ uygulamalarında KAT ve APX aktivitesinin önemli düzeyde arttığını bildirmişlerdir.

Çizelge 3. Farklı Cd dozlarının (µmol L⁻¹) yeşil aksamda Kla, Klb, Kla+b içeriği (mg g⁻¹) ile Kla/b oranı üzerine etkisi

Cd Dozu (µmol L ⁻¹)	Kla (mg g ⁻¹)	Klb (mg g ⁻¹)	Kla+b (mg g ⁻¹)	Kla/b
0	1.18 b	0.47 ab	1.65 ab	2.56
2	1.32 a	0.48 a	1.80 a	2.72
10	1.12 b	0.41 b	1.53 b	2.78
30	0.73 c	0.28 c	1.01 c	2.55
Ortalama	1.09	0.41	1.50	2.65
Lsd	0.09 ***	0.07 ***	0.15 ***	
C.V.	5.36	11.07	6.33	8.90

Çizelge 4. Farklı Cd dozlarının ($\mu\text{mol L}^{-1}$) yeşil aksamda Katalaz (KAT, $\text{nmol g}^{-1} \text{TA dk}^{-1}$) ve Askorbat peroksidaz (APX, $\mu\text{mol g}^{-1} \text{TA dk}^{-1}$) aktivitesi üzerine etkisi

Cd Dozu ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	KAT ($\text{nmol g}^{-1} \text{TA dk}^{-1}$)	APX ($\mu\text{mol gr}^{-1} \text{TA dk}^{-1}$)
0	614 c	3.29 ab
2	853 a	3.50 a
10	837 a	3.07 b
30	756 b	2.76 c
Ortalama	765	3.15
Lsd	78.0***	0.23***
CV	6.4	4.50

Bitkilerde Cd uygulamaları APX enzim aktivitesinde de değişimlere yol açmakla birlikte bu etki KAT enziminde saptanan değişimden farklı şekil ve şiddette olmuştur (Çizelge 4). APX enzim aktivitesi düşük dozdaki Cd uygulamasında (2 Cd $\mu\text{mol/L}$) kontrol koşullarına göre %6.5 artış gösterirken, daha yüksek Cd dozlarında (10 ve 30 Cd $\mu\text{mol/L}$) sırasıyla %6.5 ve %16 azalma göstermiştir. Yu ve ark. (2013) yaprakta APX aktivitesinin artan Cd uygulamalarına bağlı olarak kontrol koşullarına göre artış gösterdiğini bildirmişlerdir. Bununla birlikte Tiryakioglu ve ark. (2006) 2 farklı arpa genotiplerinde yaptıkları araştırmada, Cd uygulamalarının Tokak genotipinde APX aktivitesini etkilemediğini, Hamidiye genotipinde ise önemli artışa yol açtığını bildirmişlerdir. Araştırmacılar APX ile karşılaştırıldığında KAT aktivitesinin Cd uygulamalarından daha az etkilendiğini bildirmişlerdir. Aynı araştırmacılar, literatürde Cd toksisitesinin KAT ve APX üzerine etkileriyle ilgili çok farklı sonuçların bulunmasının temel olarak (1) çalışılan bitki organının (yaprak, kök, bitki yaşı) farklı olması, (2) kullanılan Cd dozu ve uygulama sürelerindeki farklılıklar, (3) çalışmada kullanılan bitki türü ve genotiplerin farklı olması ile ilişkili olduğunu bildirmişlerdir.

SONUÇ

Bu araştırma pamukta Cd uygulamalarının yeşil aksam kuru ağırlığı, bitki boyu, Cd ve Fe konsantrasyonları, klorofil içeriği ile katalaz (KAT) ve askorbat peroksidaz (APX) enzim aktiviteleri üzerine önemli etkisinin olduğunu göstermiştir. Bu arada, bitki Zn konsantrasyonunun Cd uygulamalarından etkilenmediği bulunmuş bu bulgunun deneme süresinin kısa oluşu ile ilgili olduğu düşünülmüştür. Farklı Zn dozlarının kullanıldığı

daha uzun süreli Cd toksisitesi çalışmaları bu konuda yeni bulgulara ulaşılmasında yardımcı olabilecektir.

Cd gibi ağır metallerle kirlenmiş toprakların değerlendirilmesinde ve farklı pamuk genotiplerinin Cd'a toleranslarının belirlenmesinde özellikle bitki büyümesi, klorofil içeriği ve antioksidatif enzim aktivitelerinin önemli parametreler olabileceği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- Arnon, D.I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta Vulgaris*. *Plant Physiology*, 24: 1-15/
- Bachir L. Dango M., Wu F., Zhang G. and Wu H. (2004). Genotypic Difference in Effect of Cadmium on Development and Mineral Concentrations of Cotton, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 35:1-2, 285-299
- Cakmak I. (1994). Activity of ascorbate-dependent H_2O_2 -scavenging enzymes and leaf chlorosis are enhanced in magnesium- and potassium- deficient leaves, but not in phosphorus- deficient leaves. *J. Exp. Bot.*, 45: 1259-1266.
- Cakmak I, Marschner H. (1992). Magnesium deficiency and high light intensity enhance activities of superoxide dismutase, ascorbate peroxidase, and glutathione reductase in bean leaves, *Plant Physiol.* 98 1222-1227.
- Chaney RL. (1998). Metal speciation and interactions among elements affect trace element transfer in agricultural and environmental food-chains, in: Kramer JR, Allen HE, editor. *Metal speciation – theory, analysis and application*, Lewis Publishers;. p. 219-60.
- Halliwell B, Gutteridge JMC. (1999). *Free radicals in biology and medicine*. 3rd ed. New York: Oxford University Press. p. 250.
- Hendry, GAF, Baker AJM, and Ewart CF. (1992). Cadmium tolerance and toxicity, oxygen radical processes and molecular damage in cadmium-tolerant and cadmium-sensitive clones of *Holcus lanatus*. *Acta Botanica Neerlandica* 41:271-291.
- John R, Ahmad P, Gadgil K. and Sharma S. (2009). Cadmium and lead-induced changes in lipid peroxidation, antioxidative enzymes and metal accumulation in *Brassica juncea* L. at three different growth stages, *Archives of Agronomy and Soil Science*, 55:4, 395-405

Köleli N, Eker S, Cakmak I. (2004). Effect of zinc fertilization on cadmium toxicity in durum and bread wheat grown in zinc-deficient soil. *Environmental Pollution*, Volume 131, Issue 3, 453-459

Marschner H, (1995). Mineral nutrition of higher plants. Academic Press

Mishra S, Srivastava S, Tripathi RD, Govindarajan R, Kuriakosa SV, PrasadMNV. (2006). Phytochelation synthesis and response of antioxidants during cadmium stress in *Bacopa monnieri* L. *Plant Physiology and Chemistry* 44(1):25–37.

Pilon-Smits EAH, Zhu YL, Sears T, Terry N. (2000). Overexpression of glutathione reductase in *Brassica juncea*: Effects on cadmium accumulation and tolerance. *Physiol Plantarum* 110:455–460.

Pinto AP, Alves AS, Candeias AJ, Cardoso AI, Varennes A, Martins LL, Mourato MP, Gonçalves MLS and Mota AM. (2009). Cadmium accumulation and antioxidative defences in *Brassica juncea* L. Czern, *Nicotiana tabacum* L. and *Solanum nigrum* L. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 89:8-12, 661-676.

Porra, R.J. (2002). The chequered history of the development and use of simultaneous equations for the accurate determination of the chlorophylls a and b. *Photosynthesis Research*, 73:149-156/

Riaz M, Nadeem R, Hanif M.A, Ansari TC, Rehman K. (2009). Pb(II) biosorption from hazardous aqueous streams using *Gossypium hirsutum* (Cotton) waste biomass. *Journal of Hazardous Materials* 161:88–94.

Safarzadeh S, Ronaghi A. and Karimian N. (2013) Effect of cadmium toxicity on micronutrient concentration, uptake and partitioning in seven rice cultivars. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 59:2, 231-245.

Shah K, Kumar RG, Verma S, Dubey RS. (2001). Effect of cadmium on lipid peroxidation, superoxide anion generation and activities of antioxidant enzymes in growing rice seedling. *Plant Sci.* 161:1135–1144.

Stobart R; Griffiths F; Ameen-Bukhari S. (1985). The effect of Cd⁺² on the biosynthesis of chlorophyll in leaves of barley. *Physiol. Plant.* 63, 293–298.

Tiryakioglu M, Eker S, Ozkutlu F, Husted S, Cakmak I. (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.

Wu H, Wu F, Zhang G.and. Bachir Dango ML. (2004). Effect of Cadmium on Uptake and Translocation of Three Microelements in Cotton, *Journal of Plant Nutrition*, 27:11, 2019-2032.

Yu FM, Liu KH, Li MS, Zhou ZM, DengH,ChenB. (2011). Effects of cadmium on nitrogenmetabolism in tillering stage of *Oryza sativa* L. *Fresenius. Environmental Bulletin* 20(2a):446–451.

Yu F, Liu K, Li M, Zhou Z, Deng H. and Chen B. (2013). Effects of Cadmium on Enzymatic and Non-Enzymatic Antioxidative Defences of Rice (*Oryza Sativa* L.), *International Journal of Phytoremediation*, 15:6, 513-521.

Zhang GP, Fukami M, Sekimoto H. (2002). Influence of cadmium on mineral concentrations and yield components in wheat genotypes differing in Cd tolerance at seedling stage. *Field Crop Res.* 77:93–98.

Zornoza P, S´anchez-Pardo B, Carpena RO. (2010). Interaction and accumulation of manganese and cadmium in the manganese accumulator *Lupinus albu*. *Journal of Plant Physiology.* 167:1027–1032.