



## Ağır Metal İçeriği Yüksek Sularla Sulanan Patlıcan Bitkilerine Uygulanan Humik Asidin Bazı Morfolojik, Fizyolojik ve Biyokimyasal Özellikler Üzerine Etkisi

Sevinç Kiran<sup>1\*</sup>, Fatma Özkay<sup>1</sup>, Şebnem Kuşvuran<sup>2</sup>, Ş. Şebnem Ellialtıoğlu<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup>Toprak Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü, 06172, Ankara, Türkiye

<sup>2</sup>Çankırı Karatekin Üniversitesi, Kızılırmak Meslek Yüksekokulu, 18100, Çankırı, Türkiye

<sup>3</sup>Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, 06110, Ankara, Türkiye

### MAKALE BİLGİSİ

Geliş 24 Nisan 2014  
Kabul 20 Haziran 2014  
Çevrimiçi baskı, ISSN: 2148-127X

**Anahtar Kelimeler:**  
Patlıcan (*Solanum melongena*L.)  
Genotip  
Ağır metal  
Humik asit  
Antioksidant enzim aktivitesi

\* Sorumlu Yazar:  
E-mail: sevinckiran@tgae.gov.tr

### ÖZET

Bu çalışmada; ağır metal içeriği yüksek olan sulama suyu ile sulanmış ve tuza tolerans düzeyleri daha önce belirlenmiş patlıcan genotiplerinin (Burdur Merkez, Burdur Bucak, Kemer ve Giresun) bazı morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal özellikleri üzerine humik asit uygulamalarının etkisini ortaya koymak amaçlanmıştır. Kontrollü sera koşullarında yürütülen çalışmada, patlıcan tohumları torf ve perlit karışımı ortamında çimlendirilmiş ve ekimden 20 gün sonra fideler, saksılara saşırılmıştır. Bitkiler 4-5 gerçek yapraklı olduklarında 3 farklı humik asit dozu (0, 500, 1000 ppm) uygulanmış olup bu uygulamadan 7 gün sonra ise çeşitli dozlarda ağır metallerin karışımını içeren 3 farklı sulama suyu (Kontrol: 0 ppm; I. Karışım: 0,2 ppm Cu + 0,01 ppm Cd + 5 ppm Pb + 2 ppm Zn; II. Karışım: 0,4 ppm Cu + 0,02 ppm Cd + 10 ppm Pb + 4 ppm Zn) ile sulanmaya başlanmıştır. Bitkiler 40 gün boyunca tarla kapasitesi düzeyinde su ile sulandıktan sonra bu sürenin sonunda hasat edilmişler ve analizler için örnek alımı yapılmıştır. Çalışmada bitkiler, yeşil aksam ve kök yaş ağırlığı, yeşil aksam ve kök kuru ağırlığı, gövde ve kök boyu, yaprak alanı, klorofil ve MDA miktarı, süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT), askorbat peroksidaz (APX) ve glutatyon redüktaz (GR) enzim aktiviteleri yönünden incelenmiştir. Tüm genotipler ağır metal uygulamasından olumsuz yönde etkilenmiştir. Ağır metal karışımları, doz artışına paralel olarak patlıcan genotiplerinin yeşil aksam ve köklerinin yaş ve kuru ağırlıklarında, kök ve gövde boyunda, yaprak alanı değerlerinde azalmaya neden olmuştur. MDA ve antioksidatif enzim aktiviteleri, ağır metal karışımı içeren su ile sulanan bitkilerde artış göstermiştir. Humik asit uygulamaları, ağır metal stresinin büyüme ve gelişmeyi sınırlandırıcı etkisinin azaltılması üzerinde olumlu etki yapmıştır. Çalışma sonucunda, tuza tolerant olan Burdur Merkez ve Burdur Bucak genotipleri hassas olan Giresun ve Kemer genotiplerine oranla ağır metal uygulamalarının oluşturduğu abiyotik stres faktörüne karşı çok daha iyi bir dayanım sergilemiştir. Elde edilen sonuçlar; tuzluluk, kuraklık ve ağır metal stresi gibi abiyotik streslere dayanım için bitkilerin benzer stratejiler uyguladıkları konusunda da bir görüş oluşturmuştur.

Turkish Journal Of Agriculture - Food Science And Technology, 2(6): 280-288, 2014

## The Effect of Humic Acid Applications on Some Morphological, Physiological and Biochemical Characteristics of Eggplants Irrigated with Water Contained Heavy Metals in High Concentration

### ARTICLE INFO

**Article history:**  
Received 24 April 2014  
Accepted 20 June 2014  
Available online, ISSN: 2148-127X

**Keywords:**  
Eggplant (*Solanum melongena* L.)  
Genotype  
Heavy metals  
Humic acid  
Antioxidant enzyme activity

### ABSTRACT

In this study, it was aimed to demonstrate the effect of humic acid applications on some morphological, physiological and biochemical characteristics of eggplant genotypes (Burdur Merkez, Burdur Bucak, Kemer and Giresun) irrigated with the irrigation water with a high content of heavy metal and determined previously salt tolerance levels. In studies conducted in controlled greenhouse conditions, eggplant seeds germinated in the growth substrate a mixture of peat and perlite and the seedlings were transplanted into pots at 20 days after sowing. Plants when they are 4-5 true leaves, 3 different humic acid levels (0, 500, 1000 ppm) have been applied and 7 days later after this application began to be watered with 3 different irrigation water comprising a mixture of various doses of heavy metals (control: 0 ppm; I. Mixture: 0.2 ppm 5 ppm to 0.01 ppm Cd + Cu + Pb + 2 ppm Zn, II. mixture: +0.02 ppm 0.4 ppm Cu 10 ppm Pb + Cd + 4 ppm Zn). Field capacity level for the plants 40 days after quenched with water after which time they were harvested and samples for analysis were performed. In the study plants were investigated for shoot and root fresh weight, shoot and root dry weight, shoot and root length, leaf area, chlorophyll and MDA level of superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), ascorbate peroxidase (APX) and glutathione reductase (GR) enzyme activities. All genotypes are adversely affected by heavy metal applications. In parallel to increase the dose, heavy metal mixtures led to a reduction in values of fresh and dry weight of shoot and root, stem and root length, leaf area of eggplant genotypes. MDA and antioxidative enzyme activities increased in plants irrigated with water containing a mixture of heavy metal. Humic acid applications had a positive effect on reducing of the limiting effect of heavy metal stress on growth and development. As a result, compared to sensitive genotypes Giresun and Kemer, salt tolerant genotypes Burdur Merkez and Burdur Bucak showed much better resistance to abiotic stress factor which consists of heavy metal applications. The obtained results; formed also an opinion about that plants evolved similar strategies for resistance to abiotic stresses such as salinity, drought and heavy metal stress.

\* Corresponding Author:  
E-mail: sevinckiran@tgae.gov.tr

## Giriş

Endüstriyel gelişime paralel olarak günümüzde çevre kirliliğine neden olan kirleticiler arasında ağır metal kirliliği önemli bir yer tutmaktadır. Endüstriyel faaliyetler, motorlu taşıtların egzoz gazları, maden yatakları ve işletmeleri, volkanik faaliyetler, tarımda gübreleme ve ilaçlama gibi pek çok etken ağır metal kirliliğinin nedenleri arasında sayılmaktadır.

Ağır metaller ve iz elementler, sular ve topraklar için önemli kirletici maddelerdir (Topbaş ve ark., 1998). Bitkiler için gerekli olan ve ortamda uygun miktarlarda bulunduğu olumlu ve önemli etkiler yapan metaller, fazla miktarlarda bulunduğu bitkilerde toksisiteye neden olabilmektedir (Steffens, 1990; Asri ve Sönmez, 2006). Ağır metallerin bitki doku ve organlarında aşırı birikimi strese neden olmakta, büyüme ve gelişme, mineral besin alımı, transpirasyon, fotosentez, enzim aktivitesi, klorofil biyosentezi ve çimlenme gibi çok sayıda morfolojik ve fizyolojik olayı olumsuz yönde etkilemektedir (Kennedy ve Gonsalves, 1987; Ouzounidou, 1994; Gür ve ark., 2004).

Birçok araştırmacı tarafından humik asitlerin (HA) bitki büyümesi ve gelişimini teşvik ettiği, uygun konsantrasyonlarda uygulandığında gelişimi pozitif yönde etkilediği bildirilmiştir (Padem ve Öcal, 1999; Çimrin ve ark., 2001). Araştırmacılar HA'nın bitkilerde hücre zarının geçirgenliğini artırarak besin elementlerinin alınmasına yardımcı olduğunu (Valdrighi ve ark., 1996); yapılarındaki hormon benzeri maddelerden dolayı bitki gelişmesine olumlu etki yaptığını ortaya koymuşlardır (Caseneva de Sanfilippo ve ark., 1990). Bununla birlikte humik maddelerin, sahip oldukları çok çeşitli fonksiyonel gruplar sayesinde metal iyonlarıyla stabil kompleks bileşikler oluşturarak bitkiler tarafından alınmaz formlara dönüştürdükleri de ifade edilmiştir (Livens, 1991; Stevenson, 1994).

Bitkilerde ağır metal stresinin etkileri, sadece elementin tipine ve konsantrasyonuna bağlı olmayıp değişik türlerin genetik esaslı fizyolojik davranışları ile de ilişkilidir (Haktanır ve Arcak, 1998). Bu nedenle bitkilerin stres koşullarına tepkilerinin ve geliştirdikleri uyum mekanizmalarının bilinmesi gerekmektedir. Araştırmacılar bazı bitki türlerinin metal ağırlıklı topraklarda endemik olduğunu, ağır metallerin ve diğer toksik bileşenlerin fazla konsantrasyonlarını tolere edebileceğini bildirmişlerdir (Raskin ve Ensley, 2000; Dahmani-Müller ve ark., 2000).

Patlıcan (*Solanum melongena* L.) 799 285 ton üretim değeriyle ülkemizde özellikle, kurak ve yarı kurak bölgelerde yetiştiriciliği en fazla tercih edilen yazlık sebzeler arasında yer almaktadır (Anonymous, 2012). Sebze yetiştiriciliğinin yoğun olarak yapıldığı alanlarda kullanılan suların ağır metal içeriklerinin endüstriyel gelişmeye bağlı olarak giderek artması, bitkisel üretimi olumsuz yönde etkilemekte ve elde edilen ürünlerin sağlık açısından son derece tehlikeli olmasına neden olmaktadır. Bu bakımdan sorunlu alanlarda ağır metal stresinin olumsuz etkisine toleransı yüksek, bünyesine istenmeyen maddeleri alma konusunda seçici davranabilen çeşitlerin geliştirilmesi ve aynı zamanda toksik maddelerin bitki bünyesine alınmasını önleyecek doğal bileşiklerin kullanılması, uzun vadede en kalıcı önlemler olarak görülmektedir.

Bu çalışmada, patlıcan genotiplerinde ağır metal (Pb, Zn ve Cd) uygulamalarının bazı morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal parametrelerde meydana getirdiği değişiklikler ile ağır metal stresinin olumsuz etkilerini gidermede humik asit uygulamasının etkinliğini belirlemek amaçlanmıştır.

## Materyal ve Yöntem

### *Bitkisel Materyal ve Büyüme Koşulları*

Araştırmamızda daha önce tuza tolerans seviyeleri belirlenmiş olan Burdur Bucak ve Burdur Merkez (BB ve BM: toleransı yüksek genotipler), Giresun ve Kemer (GRS ve KMR: duyarlı genotipler) patlıcan (*Solanum melongena* L.) genotipleri kullanılmıştır (Yaşar, 2003). Genotiplere ait tohumlar, içinde 2:1 oranında torf ve perlit karışımı bulunan viyollere ekilmiştir. Ekimden 20 gün sonra fideler, içinde toprak karışımı (1:1:1= kum: çiftlik gübresi: orta bünyeli toprak) bulunan yaklaşık 10 L hacminde 25 cm çaplı plastik saksılara şaşırtılarak ve kontrollü sera koşullarında yetiştirilmiştir. Çalışma süresince sera içi sıcaklığının 23-25°C ve nispi nemin %50-55 olması sağlanmıştır. Bu süre boyunca bitkiler, tarla kapasitesi düzeyinde saf su ile sulanmıştır.

### *Humik Asit ve Ağır Metal Uygulamalarının Yapılması*

Bitkiler 4-5 gerçek yapraklı aşamaya ulaştıklarında uygulamalara geçilmiştir. Çalışmada HA'nın (%5 organik madde, %12 humik ve fulvik asit) 500 ve 1000 ppm'lik iki farklı dozu kullanılmış ve bir defaya mahsus olmak üzere ağır metal uygulamalarına başlamadan önce saksı toprağına ilave edilmiştir. Kontrol saksılarına HA ilave edilmemiştir. Bitkilere HA verildikten 1 hafta sonra sonra ağır metal içerikli sulama suyu uygulamalarına geçilmiştir. Uygulamalar; 1) Kontrol, 2) I. Karışım (0,2 ppm Cu + 0,01 ppm Cd + 5 ppm Pb + 2 ppm Zn (sulama suyunun maksimum izin verilen iz element konsantrasyonlarının 2 katı: Anonymous, 1985), 3) II. Karışım (0,4 ppm Cu + 0,02 ppm Cd + 10 ppm Pb + 4 ppm Zn) olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Deneme süresince saksıların tamamı tarla kapasitesi düzeyinde sulanmıştır.

### *Ölçüm ve analizler*

Stres uygulaması yapılan bitkilerin 40 gün boyunca sera koşullarında gelişimi sağlandıktan sonra bitkiler hasat edilerek, ölçüm ve analizler için örnek alınmıştır. Bitkilerde yeşil aksam ve kök kısımları birbirinden ayrılarak yaş ve kuru ağırlıkları, kök ve gövde kısımlarının boyu, yaprak alanları ölçülmüştür. Ayrıca klorofil, lipid peroksidasyonunu belirlemek üzere MDA ve antioksidatif enzim (süperoksit dismutaz, katalaz, glutatyon redüktaz ve askorbat peroksidaz) miktarlarını tayin etmek için analizler yapılmıştır.

### *Yeşil aksam, kök yaş ve kuru ağırlık ölçümleri*

Her genotipten tesadüfi olarak seçilen 4'er bitki hassas terazide tartılarak g olarak yaş ağırlıkları belirlenmiş, daha sonra 65°C'de etüvde 48 saat kurutulduktan sonra kuru ağırlıkları da gram olarak belirlenmiştir (Daşgan ve Koç, 2009; Kuşvuran, 2010).

### *Kök ve gövde boyları, yaprak alanı ölçümleri*

Her tekerrürden alınan bitkilerin kök ve gövde boyları milimetrik bir cetvel yardımıyla, yaprak alanları ise Licor LI-3000A model yaprak alan ölçer ile ölçülmüştür.

### Klorofil analizi

Klorofil analizleri için sürgün ucundan itibaren geriye doğru ilk iki yaprak alınmıştır. Örneklerden hazırlanan ve içinde klorofil bulunan çözeltinin absorpsiyon değerleri spektrofotometrik olarak okunmuş, klorofil miktarı  $\mu\text{g}/\text{mg}$  T.A. (Taze Ağırlık) olarak hesaplanmıştır (Luna ve ark., 2000).

### Lipid Peroksidasyonu Analizi

Lipid peroksidasyonunun ölçümü (MDA) Lutts ve ark. (1996)'na göre yapılmıştır. MDA konsantrasyonu,  $155 \text{ mMcm}^{-1}$  olan "extinction katsayısı" kullanılarak  $\mu\text{mol}/\text{g}$  T.A. olarak belirlenmiştir.

### Antioksidatif Enzim Analizleri

Enzim analizleri için 1 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  $+4^\circ\text{C}$  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 klorid) ışık altında  $\text{O}_2$  tarafından indirgenmesi yöntemine göre; katalaz aktivitesi (CAT)  $\text{H}_2\text{O}_2$ 'nin 240 nm'de ( $E=39,4 \text{ mM cm}^{-1}$ ) parçalanma oranı esas alınarak ölçülmüştür (Çakmak ve Marschner, 1992; Çakmak ve ark. 1994). Glutatyon redüktaz (GR) aktivitesi Çakmak ve Marschner (1992) ve Çakmak ve ark. (1994)'na göre 340 nm'de ( $E=6,2 \text{ mM cm}^{-1}$ ) NADPH'nin oksidasyonu esas alınarak; askorbat peroksidaz (APX) enzim aktivitesi Çakmak ve Marschner (1992) ve Çakmak (1994)'a göre 290 nm'de ( $E=2,8 \text{ mM cm}^{-1}$ ) askorbatın oksidasyonu ölçülerek belirlenmiştir.

Tesadüf parsellerinde faktöriyel deneme desenine göre kurulan denemelerden elde edilen sayısal değerler varyans analizine tabi tutulup, uygulamalar arasındaki farklılıkların istatistiksel açıdan önemlilik derecesi ortaya konulmuştur. Bunun için %0,5 düzeyinde Duncan çoklu karşılaştırma testi yapılmıştır. Bu amaçla MSTAT-C (Freed ve ark., 1989) paket programından yararlanılmıştır.

### Bulgular ve Tartışma

HA uygulamalarının ağır metal stresine tolerans üzerine etkilerinin araştırıldığı bu çalışmada; incelenen her bir parametreye ait değerler 'Genotip x Ağır metal x HA' uygulama kombinasyonları bazında ayrı ayrı değerlendirilmiştir. İstatistiksel olarak;

'Genotip x Ağır metal x HA'

interaksiyonu yeşil aksam - kök yaş ağırlığı ve yaprak alanı bakımından önemli bulunmuştur ( $p<0,05$ ). Kontrol bitkilerine oranla ağır metal uygulanan patlıcan bitkilerinin yeşil aksam yaş ağırlık değerlerinde azalmalara yol açmıştır. En yüksek yeşil aksam yaş ağırlıkları istatistiksel olarak aynı grupta yer alacak şekilde;

'Genotip<sup>BB</sup> x Ağır Metal<sup>Kontrol</sup> x HA<sup>1000 ppm</sup>,

'Genotip<sup>BB</sup> x Ağır Metal<sup>Kontrol</sup> x HA<sup>500 ppm</sup>,

uygulamalarından elde edilmiştir (0,30 ve 0,29 g/bitki) (Şekil 1). En düşük yeşil aksam yaş ağırlık değerleri ise;

'Genotip<sup>GRS</sup> x Ağır Metal<sup>II.Karışım</sup> x HA<sup>Kontrol</sup>,

kombinasyonunda belirlenmiştir (0,20 g/bitki).

Ağır metal uygulamaları tüm genotiplerde genel olarak yeşil aksam yaş ağırlık değerlerinde kontrol konularına göre azalmalara neden olmakla birlikte, Giresun patlıcanı ağır metalden en fazla etkilenen genotip olarak ön plana çıkmıştır. Bununla birlikte metal içeriği yüksek olan II. Karışım'daki tüm uygulamalardaki değerler, I. Karışım ve Kontrol uygulamasına göre en fazla gelişmeyi engelleyici etkiye sahip olmuştur. Yüksek dozda bakır, kadmiyum ve çinkonun fotosentez, solunum, klorofil biyosentezi, stomaların kapanması gibi bazı fizyolojik olayların bozulmasına neden olduğu, buna bağlı olarak bitki yaş ağırlıklarında azalma meydana geldiği bir çok çalışmada ifade edilmiştir (Heron ve ark., 1990; Sossé ve ark. 2004; Vaillant ve ark., 2005). Ağır metal toksisitesinin yaş ağırlık değerleri üzerine olan olumsuz etkisini azaltmak amacıyla kullanılan HA, genotiplere göre farklı sonuçlar vermiştir. Burdur Merkez ve Giresun genotipleri üzerinde olumlu etkisini gösterebildiği halde, Burdur Bucak ve Kemer genotipleri üzerinde stresin etkisini kaldıracak düzeyde fark oluşturamamış olmakla birlikte, bitkilerin görünümü üzerinde olumlu bir fark yarattığı gözlenmiştir. Padem ve ark. (2003), humik asitlerin bitki büyümesi ve gelişimi üzerinde etkili olduğunu, düşük miktarlarda uygulandığında gelişimi olumlu yönde etkilediğini bildirmişlerdir. Organik kökenli bir madde olan humik asitin bu etkisinin, çok yönlü ve şelat oluşturma özellikleri nedeniyle metal bağlayıcı olmaları ve böylece organik fonksiyonel gruplar ile kompleks oluşturan Cu, Cd, Pb, Zn gibi metallerin ortamda çözünürlüğünü azaltması ile açıklanmaktadır (Gerzabek ve Ullah, 1990; Nachtegaal ve Sparks, 2003).

Ağır metal uygulamaları genotiplerin kök yaş ağırlık değerlerinde de kontrol bitkilerine oranla önemli oranda azalmalara neden olmuştur (Şekil 1). En yüksek kök yaş ağırlıkları denemede istatistiksel bakımdan aynı grupta yer alan;

'Genotip<sup>GRS</sup> x Ağır Metal<sup>Kontrol</sup> x HA<sup>500 ppm</sup>,

ile

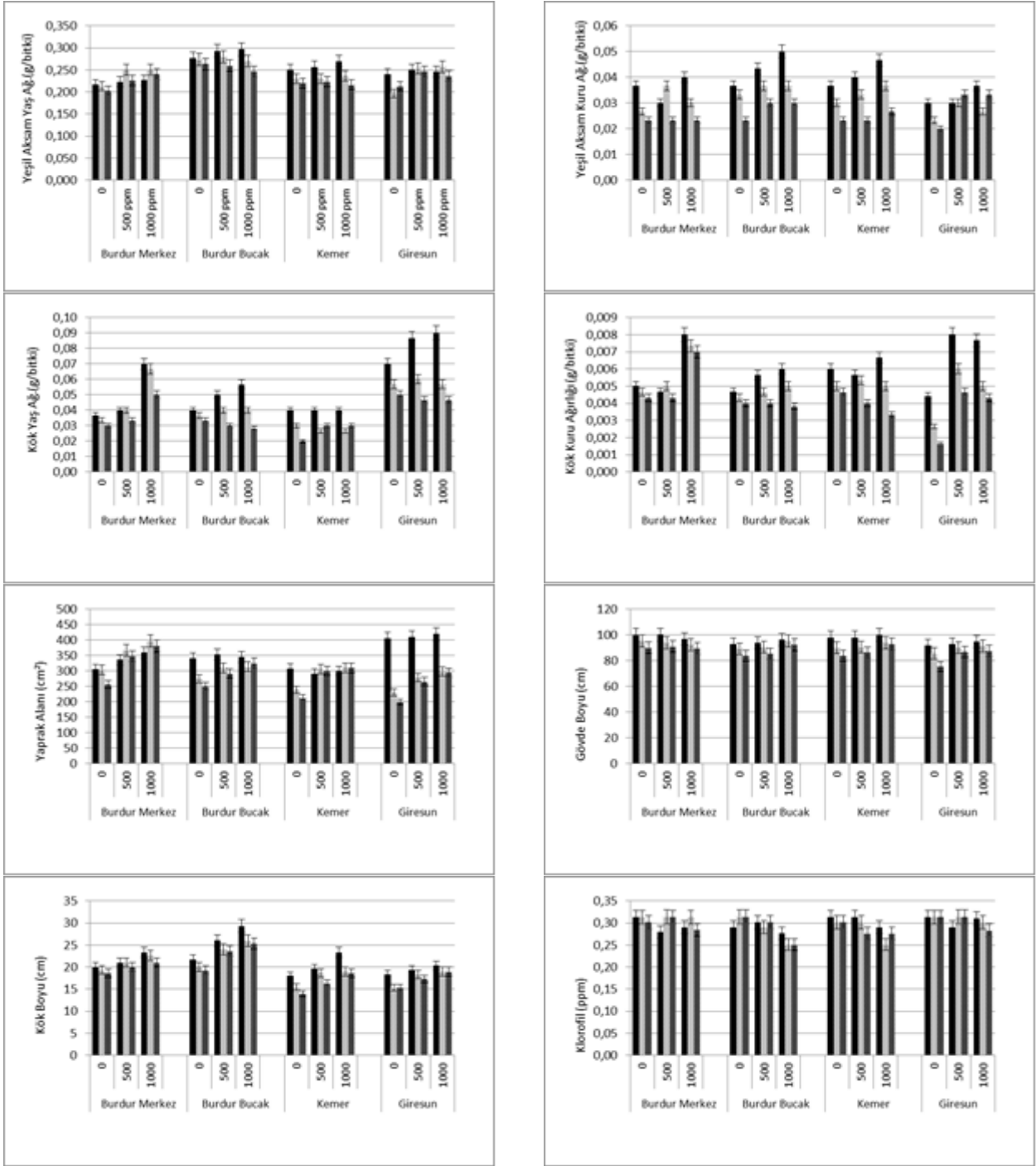
'Genotip<sup>GRS</sup> x Ağır Metal<sup>Kontrol</sup> x HA<sup>1000 ppm</sup>,

kombinasyonlarında belirlenmiştir (0,09 g/bitki). En düşük kök yaş ağırlığı değerlerini ise

'Genotip<sup>KMR</sup> x Ağır Metal<sup>II.Karışım</sup> x HA<sup>Kontrol</sup>,

kombinasyonu vermiştir (0,02 g/bitki).

Ağır metal uygulamalarına bağlı olarak kök yaş ağırlığı değerleri bakımından kontrol uygulamalarına göre azalmalar genotipler arasında farklılık göstermiş ve bu bakımdan bir başka abiyotik stres faktörü olan tuzluluğa duyarlı Giresun patlıcanı, ağır metalden en fazla etkilenen genotip olmuştur. Diğer taraftan ağır metallerin kök yaş ağırlığı üzerine olan olumsuz etkisini azaltmada HA'nın belirgin etkisi, Burdur Merkez genotipinde ve 1000 ppm dozunda daha net görülebilmştir. El-Ghamery ve ark. (2003), çinkonun kök hücrelerinde birikerek mitoz bölünmeyi engellediğini ve ayrıca hücrelerin ligninleşmesini sağlayarak kök gelişimini azalttığını, Sharma ve Dubey (2005) kurşun elementinin köklerden tarafından tutulmasının kök gelişiminde azalmaya yol açtığını, Demir ve Çimrin (2011), HA uygulamalarının kök yaş ağırlığını artırıcı yönde etki yaptığını bildirmişlerdir.



Şekil 1 Patlıcan genotiplerinde ağır metal ve HA uygulamaları ile yeşil aksam-kök yaş ağırlığı, yeşil aksam-kök kuru ağırlığı, yaprak alanı, gövde-kök boyu ve klorofil içeriğinde meydana gelen değişimler

Patlıcan genotipleri yaprak alanı bakımından en yüksek değerlerini;

‘Genotip<sup>GRS</sup> x Ağır Metal<sup>Kontrol</sup> x HA<sup>1000 ppm</sup>’

ve

‘Genotip<sup>GRS</sup> x Ağır Metal<sup>Kontrol</sup> x HA<sup>500 ppm</sup>’

kombinasyonlarında vermiştir (sırasıyla 420,00, 410,00 cm<sup>2</sup>/bitki) (Şekil 1). Yaprak alanındaki en düşük değerler;

‘Genotip<sup>KMR</sup> x Ağır Metal<sup>II.Karışım</sup> x HA<sup>Kontrol</sup>’

ile

‘Genotip<sup>GRS</sup> x Ağır Metal<sup>II.Karışım</sup> x HA<sup>Kontrol</sup>’

uygulamalarında tespit edilmiştir (sırasıyla 212,33, 200,01

cm<sup>2</sup>/bitki). Ağır metal uygulamaları genel olarak tüm genotiplerin yaprak alanlarında azalmalara neden olmuştur. Çinko toksisitesinin fasulyede (Zengin ve Munzuroğlu, 2005), bakır toksisitesinin hıyarda (Dunand ve ark., 2002) yaprak alanında azalmaya yol açtığı bildirilmiştir. Sharma ve Dubey (2005) kurşun elementinin hücre turgoru ve hücre duvarı stabilitesini, stoma hareketlerini ve yaprak alanını azaltması nedeniyle bitki su rejimini etkilediğini bildirmişlerdir. Tuza duyarlı Giresun patlıcanı, yaprak alanı bakımından da diğer genotiplere ile karşılaştırıldığında daha fazla kayıplar vererek düşük bir performans sergilemiş, HA dozundaki artışa rağmen strese dayanım konusunda başarılı

olamamıştır. Diğer genotipler ağır metal stresi koşullarına daha yüksek dayanım sergilemişlerdir.

Yeşil aksam ve kök kuru ağırlıklarının yanı sıra, gövde ve kök boylarının da incelendiği çalışmada; ‘Genotip x Ağır metal x HA’ interaksyonu bu özellikler bakımından istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır ( $p>0,05$ ). Genotiplere uygulanan farklı ağır metal dozları ve HA düzeylerinde meydana gelen yeşil aksam kuru ağırlık değerleri incelendiğinde; tüm genotiplerin ağır metal konularındaki kontrol bitkilerine oranla daha düşük değerlere sahip oldukları saptanmıştır (Şekil 1). Bununla birlikte yeşil aksam kuru ağırlığındaki en yüksek değerler;

‘Genotip<sup>BB</sup> x Ağır Metal<sup>Kontrol</sup> x HA<sup>1000 ppm</sup>’

kombinasyonunda belirlenmiştir (0,05 g/bitki). Kök kuru ağırlık değerleri bakımından yüksek değerler genel olarak kontrol bitkilerinde ölçülmüş ve en yüksek değerlere

‘Genotip<sup>BM</sup> x Ağır Metal<sup>Kontrol</sup> x HA<sup>1000 ppm</sup>’

ile

‘Genotip<sup>GRS</sup> x Ağır Metal<sup>Kontrol</sup> x HA<sup>500 ppm</sup>’

kombinasyonlarında ulaşılmıştır (0,008 g/bitki) (Şekil 1). Ağır metal ve HA uygulamaları, genotip bazında kuru ağırlık değerlerinin miktarı bakımından önemsiz düzeyde farklılıklar yaratmıştır. Tüm genotiplerin ağır metal stresi koşullarında kök kuru ağırlığı değerleri 0,002-0,008g/bitki arasında değişmiştir. Yeşil aksam ve kök kuru ağırlıkları bakımından, ağır metal uygulamaları olumsuz yönde etki yapmıştır. Yeşil aksam kuru ağırlık değerleri incelendiğinde, HA uygulamalarının doz artışına paralel olarak ağır metal toksisitesinin olumsuz etkisini kısmen de olsa hafiflettiği ortaya çıkmaktadır. Kök kuru ağırlığı bakımından Giresun patlıcanı ağır metal uygulamalarından en fazla etkilenen genotip olarak öne çıkmış, bunu Kemer çeşidi izlemiştir. Kök kuru ağırlığı bakımından Burdur Merkez’de 1000ppm HA dozu ve Giresun’da 500 ppm HA dozu, belirgin olarak etkisini gösterebilmiş, ağır metal toksisitesine toleransı destekleyebilmiştir. Nitekim mısırdaki da humik asit ve fulvik asitin kullanımı ile bakır ve vanadyumun kök ve sürgün kuru biyoması üzerine olumlu etki elde edildiği kaydedilmiştir (Ullah ve Gerzabek, 1991).

Ağır metal stresine maruz bırakılan tüm genotiplerde stres etkisi ile kontrol bitkilerine oranla gövde boyunda azalmanın meydana geldiği belirlenmiştir (Şekil 1). En yüksek gövde boyu değerleri;

‘Genotip<sup>BM</sup> x Ağır Metal<sup>Kontrol</sup> x HA<sup>Kontrol</sup>’

‘Genotip<sup>BM</sup> x Ağır Metal<sup>Kontrol</sup> x HA<sup>500 ppm</sup>’

‘Genotip<sup>KMR</sup> x Ağır Metal<sup>Kontrol</sup> x HA<sup>1000 ppm</sup>’

kombinasyonlarında ölçülmüştür (100,00 cm). Gövde boyu bakımından HA uygulamaları tüm genotiplerde ağır metal toksisitesinin etkisini azaltmada etkin olamamıştır. Çalışmada ağır metal konsantrasyonlarındaki artışa paralel olarak gövde boyunda meydana gelen azalma ile ilgili bulgularımız, Larbi ve ark. (2002)’nın ve Vassilev ve ark. (2002)’nin bulgularıyla benzerlik göstermektedir.

Kök boyu bakımından ortaya çıkan sonuçlar da istatistiksel olarak önemli olmamakla birlikte elde edilen verilere (Şekil 1)’de yer verilmiştir. Ağır metal uygulamalarından en az düzeyde etkilenerek en yüksek değeri veren kombinasyon;

‘Genotip<sup>BB</sup> x Ağır Metal<sup>Kontrol</sup> x HA<sup>1000 ppm</sup>’ (29,33 cm),

en düşük değeri veren kombinasyon ise

‘Genotip<sup>KMR</sup> x Ağır Metal<sup>II.Karışım</sup> x HA<sup>Kontrol</sup>’ (14,00 cm)

olarak tespit edilmiştir. Ağır metal uygulamaları genel olarak tüm genotiplerde kök boyunda azalmaya yol açmıştır. HA uygulamaları kök boyu bakımından Pb, Zn, Cu ve Cd içeren ağır metal uygulamalarının olumsuz etkisini kısmen önleyebilmiş, HA’ın 1000 ppm dozu toksisiteyi azaltmada en etkili doz olarak belirlenmiştir. Özellikle Burdur Bucak genotipinde bu etki belirgin bir şekilde kendini göstermiştir. Kök büyümesinin metal toksisitesine çok fazla duyarlı olduğu bilinmektedir (Foy ve ark., 1978). Fasulyede Pb, Cd ve Cu (Kırbağ Zengin, 2002), hardalda Cd, Cu, Zn, Pb ve Fe (Fargašová, 2001), nanede Pb ve Zn uygulamalarının (Bekiaroglou ve Karatagtis, 2002), kök boyunda azalmalara yol açtığı bildirilmiştir.

Farklı ağır metal ve HA uygulamalarının patlıcan genotiplerinin klorofil içeriği üzerine etkisi önemsiz bulunmuştur. Klorofil miktarı, tüm genotiplerde stres koşullarında genel olarak kontrol konusuna yakın değerler vermiştir (Şekil 1). En düşük klorofil içeriği; ‘Burdur Bucak x 0,2 ppm Cu+ 0,01 ppm Cd+ 5 ppm Pb+ 2 ppm Zn x 1000 ppm HA’ ile ‘Burdur Bucak x 0,4 ppm Cu+0,02 ppm Cd+ 10 ppm Pb +4 ppm Zn x 1000 ppm HA’ kombinasyonlarında belirlenmiştir (0,251 ppm). Ağır metal ve HA dozundaki artışlar Burdur Merkez ve Giresun genotiplerinde kontrole yakın değerler verirken, Burdur Bucak ve Kemer genotiplerinin klorofil içeriğinde kontrol bitkilerine göre azalmalara yol açmıştır. Nitekim yüksek dozlardaki çinko ve kadmiyumun klorofil sentezini etkilemesinin nedeni olarak yeterli demir bulunması halinde bile bitkinin bundan yararlanmasını engellemesi ve klorofilin merkezinde bulunan magnezyumun yerine geçmesi olarak gösterilmektedir (Van Assche ve Clijsters, 1990).

‘Genotip x Ağır metal x HA’

interaksyonu MDA, SOD, CAT, APX ve GR bakımından istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ( $p<0,05$ ). Ağır metal stresi farklı HA koşullarında en yüksek MDA değerini

‘Genotip<sup>GRS</sup> x Ağır Metal<sup>II.Karışım</sup> x HA<sup>500 ppm</sup>’

kombinasyonunda vermiştir (16,16  $\mu\text{mol/g T.A}$ ; Şekil 2).

‘Genotip<sup>KMR</sup> x Ağır Metal<sup>Kontrol</sup> x HA<sup>Kontrol</sup>’

kombinasyonu ise 1,06  $\mu\text{mol/g T.A}$  değeri ile en düşük MDA değerine sahip olmuştur. Ağır metal stresinin olumsuz etkisi ile tüm genotiplerde MDA miktarları bakımından önemli düzeyde artışlar meydana gelmiş, HA uygulamalarına rağmen ağır metal stresinin olumsuz etkisi, diğer genotiplere göre belirgin bir şekilde Giresun patlıcanında ortaya çıkmıştır. Ağır metallerin serbest radikal oluşumuna yol açtığı ve bu yolla tilakoid membran lipitlerinin oksidatif yıkımına neden olduğu, bu gibi durumlarda ise klorofil yıkımının arttığı ve sentezinin engellendiği bilinmektedir (Zengin ve Munzuroğlu, 2005). 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; Candan ve Tarhan, 2003; Liu ve ark., 2007). Süper oksit dismutaz (SOD), askorbat peroksidaz (APX), glutasyon redüktaz (GR), katalaz (CAT) gibi enzimler etkin antioksidatif enzimler arasında yer almaktadır. SOD, tüm aerobik organizmalarda bulunan ve reaktif oksijen türlerine karşı hücrel savunma mekanizmalarında anahtar bir rol oynayan enzimlerden biridir (Dinakar ve ark., 2008). Cu, Mn, Fe ve Zn toksisitesi koşullarında SOD enzim aktivitesi uyarılmaktadır (Prasad ve ark., 1999). Çalışmamızda SOD enzim aktivitesi bakımından en yüksek değer,

$$\text{‘Genotip}^{BM} \times \text{Ağır Metal}^{II. \text{Karışım}} \times \text{HA}^{1000 \text{ ppm}}\text{’}$$

(608,44 U dak<sup>-1</sup> mg<sup>-1</sup> T.A.) uygulamasından elde edilmiştir.

$$\text{‘Genotip}^{BM} \times \text{Ağır Metal}^{\text{Kontrol}} \times \text{HA}^{\text{Kontrol}}\text{’}$$

kombinasyonu ise en düşük SOD ölçümüne sahip olmuştur (93.33 U dak<sup>-1</sup> mg<sup>-1</sup> T.A.) (Şekil 2). Shah ve ark. (2001), çeltik fidelerinde kadmiyum toksisitesi süresince artan düzeyde O<sub>2</sub> üretildiğini, SOD enzim aktivitesindeki artış ile bitkilerin bu radikali yok etmeye çalıştıklarını; Morela ve ark. (2007) da, marulda kurşun stresinin SOD enzim aktivitesinde artışa yol açtığını

bildirmişlerdir.

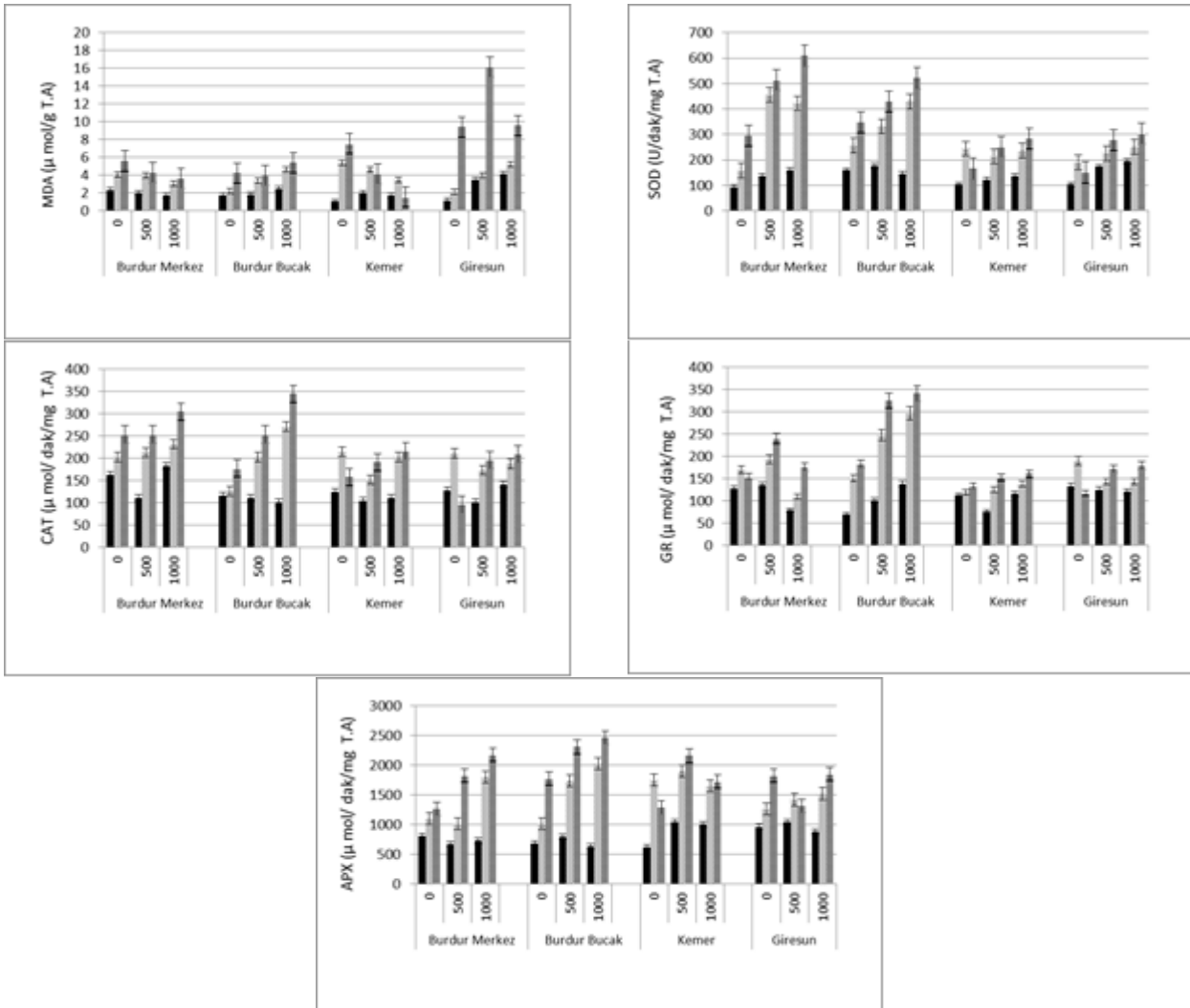
CAT, oksidatif stres sonucu oluşan hidrojen peroksit gibi reaktif oksijen türevlerinin suya ve moleküler oksijene dönüşerek yok edilmesinde görevli bir enzim olarak rol almaktadır (Eltner ve ark., 1988; Gupta ve ark., 2009). CAT enzim aktivitesi bakımından en yüksek değeri veren kombinasyon

$$\text{‘Genotip}^{BB} \times \text{Ağır Metal}^{II. \text{Karışım}} \times \text{HA}^{1000 \text{ ppm}}\text{’}$$

(345,18 µmol dak<sup>-1</sup> mg<sup>-1</sup> T.A.), en düşük değeri veren kombinasyon ise

$$\text{‘Genotip}^{GRS} \times \text{Ağır Metal}^{II. \text{Karışım}} \times \text{HA}^{\text{Kontrol}}\text{’}$$

(95,15 µmol dak<sup>-1</sup> mg<sup>-1</sup> T.A.) olmuştur (Şekil 2). Ağır metal uygulamaları karşısında genotiplerin CAT enzim aktivitesi bakımından ortaya koydukları değişimler farklılık göstermekle birlikte, genel olarak artış meydana gelmiştir. Stres koşulunda en fazla CAT aktivasyonunu Burdur Merkez ve Burdur Bucak genotipleri sağlamıştır. Shah ve ark. (2001) çeltikte kadmiyum toksisitesi, El-Beltagi ve ark. (2010) turpta kadmiyum toksisitesi, Saeed ve ark. (2013) domateste kadmiyum, bakır ve çinko toksisitesi üzerine yaptıkları çalışmalarda ağır metal stresinin CAT enzim aktivitesinde artışa neden olduğunu bildirmişlerdir.



Şekil 2 Patlıcan genotiplerinde ağır metal ve HA uygulamaları ile MDA ve antioksidant enzim içeriklerindeki değişimler

GR, kloroplastlarda olduğu gibi mitokondri ve sitoplazmada da bulunmakta ve askorbat-glutasyon döngüsünün hız sınırlayıcı son basamağını katalizlemektedir (Foyer ve ark., 1997). Çalışmada GR enzim aktivitesi, en yüksek değerlerini istatistiksel bakımdan aynı grupta yer alacak şekilde

‘Genotip<sup>BB</sup> x Ağır Metal<sup>II. Karışım</sup> x HA<sup>1000 ppm</sup>,

‘Genotip<sup>BB</sup> x Ağır Metal<sup>II. Karışım</sup> x HA<sup>500 ppm</sup>,

(341,2; 325,0  $\mu\text{mol dak}^{-1} \text{mg}^{-1} \text{T.A.}$ ) uygulamalarında vermiştir.

‘Genotip<sup>BB</sup> x Ağır Metal<sup>Kontrol</sup> x HA<sup>Kontrol</sup>,

‘Genotip<sup>KMR</sup> x Ağır Metal<sup>Kontrol</sup> x HA<sup>500 ppm</sup>,

‘Genotip<sup>BM</sup> x Ağır Metal<sup>Kontrol</sup> x HA<sup>1000 ppm</sup>,

uygulamaları aynı istatistiksel grupta yer alarak en düşük değerleri vermişlerdir (sırasıyla 70,00; 76,67; 80,02  $\mu\text{mol dak}^{-1} \text{mg}^{-1} \text{T.A.}$ ; Şekil 2). Ağır metal toksisitesi karşısında genel olarak GR aktivitelerinde artış belirlenirken, tuz stresine duyarlı Kemer ve Giresun genotiplerinde bu artış daha düşük oranlarda meydana gelmiştir. Stres koşulunda en fazla GR aktivasyonunu Burdur Merkez ve Burdur Bucak genotipleri sağlamıştır. El-Beltagi ve ark. (2010) turpta, Dinakar ve ark. (2008) yer fıstığında kadmiyum toksisitesinin GR enzim aktivasyonunu kontrolle göre artırdığını ifade etmişlerdir.

Ağır metal ve HA uygulamaları genotiplere göre değişmekle birlikte APX enzim aktivitesinde önemli seviyede artışlara yol açmıştır. En düşük değer, 626,06  $\mu\text{mol min}^{-1} \text{mg}^{-1} \text{T.A.}$  değeri ile

‘Genotip<sup>KMR</sup> x Ağır Metal<sup>Kontrol</sup> x HA<sup>Kontrol</sup>,

kombinasyonunda tespit edilmiştir. Bu artış genel olarak tüm genotiplerde HA uygulaması ile birlikte hız kazanırken en yüksek değer

‘Genotip<sup>BB</sup> x Ağır Metal<sup>II. Karışım</sup> x HA<sup>1000 ppm</sup>,

uygulamasında (2465,55  $\mu\text{mol min}^{-1} \text{mg}^{-1} \text{T.A.}$ ) ulaşılmıştır (Şekil 2). Yapılan çalışmada tuz stresine dayanıklı olarak önceki çalışmalar ile belirlenen Burdur Merkez ve Burdur Bucak genotiplerinin ağır metal baskısı altında APX enzim aktivitesini artırdığı gözlemlenmiştir. Nitekim Cu uygulamalarının fasulyede (Gupta ve ark., 1999), kadmiyum uygulamalarının tütünde (Hegedus ve ark., 2001) ve yer fıstığında (Dinakar ve ark., 2008) APX enzim aktivasyonunda artışa yol açtığı bildirilmiştir.

Stres uygulamaları patlıcan genotiplerinin enzim aktivitelerinde genel olarak artışlara neden olmakla birlikte, HA uygulamaları enzim aktivitelerindeki artışı desteklemiştir. HA uygulanan stres konularında daha yüksek veriler alınmış olup, sadece ağır metal uygulamaları yapılan bitkilerde sonuçlar HA uygulanan bitkilerdeki SOD, CAT, GR ve APX değerlerine göre önemli derecede farklı bulunmuştur. Bununla birlikte HA dozunun 1000 ppm’e çıkartılması ile birlikte elde edilen SOD, CAT, GR ve APX değerleri özellikle Burdur Merkez ve Burdur Bucak’ta belirgin olarak yüksek çıkmıştır. Nitekim Haghghi ve ark. (2010) da marulda kadmiyum toksisitesi üzerine yaptıkları çalışmada, ağır metal stresinin olumsuz etkisini gidermede HA uygulamalarının etkili olduğunu, kadmiyum dozundaki artışla birlikte enzim aktivitelerinin (süperoksitdismutaz, peroksidaz) arttığını ve HA’in bitkinin metal adsorbsiyonunu azalttığını ifade etmişlerdir.

## Sonuç

Tuza tolerans ve duyarlı dört patlıcan genotipinin materyal olarak kullanıldığı bu çalışmada; farklı oranlarda Cu, Cd, Pb ve Zn ağır metallerini içeren sulama suyunun genel olarak yeşil aksam ve köklerin yaş ve kuru ağırlıklarında, kök ve gövde boyunda, yaprak alanı değerlerinde düşüşe neden olduğu belirlenmiştir. Ağır metaller ayrıca MDA ve antioksidatif enzim (süperoksit dismutaz, katalaz, glutasyon redüktaz ve askorbat peroksidaz) aktivitelerine ait sayısal değerlerde artışa yol açmıştır. HA uygulamaları ise incelenen parametrelere ait değerlerdeki artışı genel olarak güçlendirmiştir. Tuz stresine tolerant Burdur Merkez ve Burdur Bucak genotipleri ağır metal baskısı altında daha yüksek dayanım performansı sergilemiş, bu etki 1000 ppm HA uygulaması ile olumlu bir şekilde artmıştır. Tuz stresine duyarlı Kemer ve Giresun genotipleri ağır metal uygulamalarından en fazla etkilenen genotipler olarak belirlenmiştir. Humik asitler bitki büyümesi ve gelişimine olan pozitif etkilerinin yanı sıra, ağır metallerle kuvvetli bağlar oluşturarak toksisitenin olumsuz etkilerini azaltabilirler. Sonuç olarak HA uygulamalarının ağır metal uygulamalarının yol açtığı olumsuz etkileri gidermede yardımcı bir uygulama olarak değerlendirilmesi olası görülmüştür.

## Kaynaklar

- Anonymous 1985. Water Quality for Agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper. 29, Rev.1. Rome.
- Anonymous 2012. Türkiye İstatistik Kurumu <http://tuikrapor.tuik.gov.tr/reports> (Erişim: 26.01.2014)
- Asri FÖ, Sönmez S. 2006. Ağır metal toksisitesinin bitki metabolizması üzerine etkileri. *Derim* 23: 36-45
- Bekiaroglou P, Karataglis S. 2002. The effect of lead and zinc on *Mentha spicata*. *J. Agronomy & Crop Science*. 188: 201-205.
- Candan N, Tarhan L. 2003. The correlation between antioxidant enzyme activities and lipid peroxidation levels in *Mentha pulegium* organs grown in  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  and  $\text{Mn}^{2+}$  stress conditions. *Plant Science*. 163: 769-779.
- Caseneva de Sanfilippo E, Argüello JA, Abdala G, Orioli GA. 1990. Content of auxin, inhibitor and substances in humic acids. *Biologia Plantarum*. 32: 346-351.
- Cakmak I, Marschner H. 1992. Magnesium deficiency and highlight intensity enhance activities of superoxide dismutase, ascorbate peroxidase and glutathione reductase in bean leaves. *Plant Physiol*. 98: 1222-1226.
- Çakmak I. 1994. Activity of ascorbate-dependent  $\text{H}_2\text{O}_2$  scavenging enzymes and leaf chlorosis are enhanced in magnesium and potassium deficient leaves, but not in phosphorus deficient leaves., But Nat in Phosphorus Deficient Leaves. *J. Exp. Bot*. 45: 1259-1266.
- Çimrin KM, Karaca S, Bozkurt MA. 2001. Mısır bitkisinin gelişimi ve beslenmesi üzerine humik asit ve N P K uygulamalarının etkisi. *Tarım Bilimleri Dergisi* 7: 95-100.
- Dahmani-Muller H, Oort F, Gelie B, Blabene M. 2000. Strategies of heavy metal uptake by three plants species growing near a metal smelter. *Environ. Pollut*. 109: 231-238.
- Daşgan HY, 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: 363-372.
- Demir E, Çimrin KM. 2011. Arıtma çamuru ve humik asit uygulamalarının mısırın gelişimi, besin elementi ve ağır metal içerikleri ile bazı toprak özelliklerine etkileri. *Journal of Agricultural Sciences*. 17: 204-216.



- Dinakar N, Nagajyothi PC, 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 Sciences. 20:199–206.
- Dunand VF, Epron D, Sossé AB, Badot PM. 2002. Effects of copper on growth and on photosynthesis of mature and expanding leaves in cucumber plants. Plant Science. 163: 53-58.
- El-Beltagi HS, Mohamed AA, Rashed MM. 2010. Response of antioxidative enzymes to cadmium stress in leaves and roots of radish (*Raphanus sativus* L.). Not. Sci. Biol. 2: 76-82.
- El-Ghamery AA, El-Kholy MA, El-Yousser, A. 2003. Evaluation of cytological effects of Zn<sup>2+</sup> in relation to germination and root growth of *Nigella sativa* L. and *Triticum aestivum* L. Mutation Research. 537: 29-41.
- Elstner EF, Wagner GA, Schutz W. 1988. Activated oxygen in green plants in relation to stress situations. Current Topics in Plant Biochemistry and Physiology. 7:159-189.
- Fargašová A. 2001. Phytotoxic effects of Cd, Zn, Pb, Cu and Fe on *Sinapis alba* L. seedlings and their accumulation in roots and shoots. Biologia Plantarum. 44: 471-473.
- Foy CD, Chaney RL, White MC. 1978. The Physiology of Metal Toxicity in Plants. Annual Review of Plant Physiology. 29: 511-566.
- Foyer CH, Lopez-Delgado H, Dat JF, Scott IM. 1997. Hydrogen peroxide and glutathione-associated mechanisms of acclamatory stress tolerance and signaling. Physiol. Plant. 100: 241–254.
- Freed R, Einensmith SP, Guets S, Reicosky D, Smail VW, Wolberg P, 1989. User's guide to MSTAT-C, an analysis of agronomic research experiment. Michigan State University, USA.
- Gerzabek MH, Ullah SM. 1990. Influence of fulvic and humic acids on Cd and Ni-toxicity to *Zea mays* (L.). Die Bodenkultur 41: 115-124.
- Gupta M, Cuypers A, Vangronsveld J, Clijsters H. 1999. Copper affects the enzymes of the ascorbate-glutathione cycle and its related metabolites in the roots of *Phaseolus vulgaris*. Physiol. Plant. 106: 262–267.
- Gupta DK, Nicoloso FT, Schetinger MRC, Rossato LV, Pereira LB, Castro GY, Srivastava S, Tripathi RD. 2009. Antioxidant defense mechanism in hydroponically grown *Zea mays* seedlings under moderate lead stress. Journal of Hazardous Materials 172: 479-484.
- Gür N, Topdemir A, Munzuroğlu Ö, Çobanoğlu D. 2004. Ağır metal iyonlarının (Cu<sup>+2</sup>, Pb<sup>+2</sup>, Hg<sup>+2</sup>, Cd<sup>+2</sup>) *Clivia* sp. bitkisi polenlerinin çimlenmesi ve tüp büyümesi üzerine etkileri. Fırat Üniv. Fen ve Matematik Bilimleri Dergisi. 16: 177-182.
- Haktanır K, Arcak S. 1998. Çevre Kirliliği. Ankara Üniversitesi Yayın No: 1503, Ders Kitabı: 457, Ankara.
- Hegedus A, Erdei S, Horvath G. 2001. Comparative studies of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> detoxifying enzymes in green and greening barley seedlings under cadmium stress. Plant Sci. 16: 1085-1093.
- Kennedy CD, Gonsalves FAN. 1987. The action of divalent zinc, cadmium, mercury, copper and lead on the trans-root potential and efflux of excised roots. J.Exp. Bot. 38: 800-817.
- Kırbağ Zengin F. 2002. Bazı Ağır Metallerin (Hg<sup>++</sup>, Cd<sup>++</sup>, Cu<sup>++</sup> ve Pb<sup>++</sup>) Fasulye Fidelerinin (*Phaseolus vulgaris* L.) Gelişmesi Üzerindeki Etkilerinin Biyokimyasal Yönden Araştırılması. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Kuşvuran Ş. 2010. Kavunlarda Kuraklık ve Tuzluluğa Toleransın Fizyolojik Mekanizmaları Arasındaki Bağlantılar. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enst., Doktora Tezi, 355s., Adana.
- Larbi A, Morales F, Abadia A, Gogorcena Y, Lucena JJ, Abadia J. 2002. Effects of Cd and Pb in sugar beet plants grown in nutrient solution: induced Fe deficiency and growth inhibition. Funct. Plant Biol. 29: 1453-1464.
- Livens FR. 1991. Chemical reactions of metals with humic material. Environmental Pollution. 70: 183-208.
- 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 *Bechmeria nivea* (L.) Gaud. Chemosphere. 69: 99-107.
- Luna C, Seffino LG, Arias C, Taleisnik E. 2000. Oxidative stress indicators as selection tools for salt tolerance in *Chloris gayana*. Plant Breed. 119: 341-345.
- Lutts S, Kinet JM, Bouharmont J. 1996. NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. Ann. Bot. 78: 389-398.
- Haghighi M, Kafi M, Fang P, Xiao LG. 2010. Humic acid decreased hazardous of cadmium toxicity on lettuce (*Lactuca sativa* L.). Vegetable Crops Research Bulletin. 72: 49-61.
- Mittler R. 2002. Oxidative stress, antioxidants, and stress tolerance. Trends in Plant Science. 7: 405-410.
- Morela VRF, Capraru G, Bara I, Artenie V. 2007. Lead acetate effect on superoxide dismutase activity in *Lactuca sativa* L., Mona and Syrena cultivars. Genetics and Molecular Biology. 8: 115-118.
- Nachtegaal M, Sparks DL. 2003. Nickel sequestration in a kaolinite-humic acid complex. Environ. Science and Technology. 37: 529-534.
- Ouzounidou G. 1994. Copper induced changes on growth, metal content and photosynthetic functions of *Alyssum montanum* L. plants. Environmental and Experimental Botany. 34: 165-172.
- Padem H, Öcal A. 1999. Effect of humic acid applications on yield and some characteristics of processing tomato. Acta Horticulturae 487: 159-164.
- Prasad KVSK, Paradha SP, Sharmila P. 1999. Concerted action of antioxidant enzymes and curtailed growth under zinc toxicity in *Brassica juncea*. Environ. Exp. Bot. 42: 1-10.
- Raskin I, Ensley BD. 2000. Phytoremediation of Toxic Metals: Using Plants to Clean Up the Environment. John Wiley and Sons, New York, 304 pp.
- Saeed A, Sohail M, Rashi N, Iqbal N. 2013. Effects of heavy metals toxicity on the biochemical response in tomato plants grown in contaminated silt-soil. Bangladesh J. Sci. Ind. Res. 48: 229-236.
- Sossé BA, Genet P, Dunand-Vinit F, Toussaint LM, Epron D, Badot PM. 2004. Effect of copper on growth in cucumber plants (*Cucumis sativus*) and its relationships with carbohydrate accumulation and changes in ion contents. Plant Science 166: 1213-1218.
- 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 seedlings. Plant Science. 161: 1135-1144.
- Sharma P, Dubey RS. 2005. Lead toxicity in plants. Braz. J. Plant Physiol. 17: 35-52.
- Sheoran IS, Singal HR, Singh R. 1990. Effect of cadmium and nickel on photosynthesis and enzymes of the photosynthetic carbon reduction cycle in pigeon pea (*Cajanus cajan* L.). Photosynthesis Research. 23: 345-351.
- Steffens JD. 1990. The heavy metal-binding peptides of plants. Annual Review Plant Physiology Molecular Biology. 41: 533-575.
- Stevenson FJ. 1994. Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions. 2<sup>nd</sup>.Edition, John Wiley and Sons, Inc, New York, 285pp.
- Ullah MS, Gerzabek MH. 1991. Influence of fulvic and humic acids on Cu- and V-toxicity to *Zea mays* (L.). Die Bodenkultur. 42: 123-134.



- Vaillant N, Monnet F, Hitmi A, Sallanon H, Coudret A. 2005. Comparative study of responses in four *Datura* species to a zinc stress. *Chemosphere*. 59: 1005-1013.
- Valdrighi MM, Pera A, Agnolucci M, Frassinetti S, Lunardi D, Vallini G. 1996. Effects of composts derived humic acids on vegetable biomass production soil system: A Comparative Study. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 58: 133-144.
- Van Assche FV, Clijsters H. 1990. Effects of metals on enzyme activity in plants. *Plant Cell Environ*. 13: 95-206.
- Vassilev A, Lidon FC, Matos MC, Ramalho JC, Yordanov I. 2002. Photosynthetic performance and content of some nutrients in cadmium-and coppertreated barley plants. *Journal of Plant Nutrition*. 25: 2343-2360.
- Zengin KF, Munzuroğlu Ö. 2005. Fasulye fidelerinin (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Strike) klorofil ve karotenoid miktarı üzerine bazı ağır metallerin ( $Ni^{++}$ ,  $Co^{++}$ ,  $Cr^{+++}$ ,  $Zn^{++}$ ) etkileri. *Fırat Üniv. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 17: 164-172.
- Yaşar F. 2003. Tuz Stresi Altındaki Patlıcan Genotiplerinde Bazı Antioksidant Enzim Aktivitelerinin *in vitro* ve *in vivo* Olarak İncelenmesi. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri, Doktora Tezi, 139 s., Van.