T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ
KOORDİNASYON BİRİMİ

Tuz Stresinin Sorgum Hat ve Çeşitlerin Antioksidan Enzim Aktivitesi Üzerine Etkileri

Proje No: FCD-2014-4937

Proje Türü

ÖNAP

SONUÇ RAPORU

Proje Yürütücüsü:
Doç. Dr. Mahmut KAPLAN
Ziraat Fakültesi/Tarla Bitkileri Bölümü

Araştırmacılar
Uzman Dr. Rıdvan TEMİZGÜL
Fen Fakültesi/Biyoloji Bölümü
Doç. Dr. Semih YILMAZ
Ziraat Fakültesi/Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü
Doç. Dr. Zeki GÖKALP
Ziraat Fakültesi/Biyosistem Mühendisliği Bölümü

Temmuz 2016

KAYSERİ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZET	1
ABSTRACT	2
1. GİRİŞ	3
2. GENEL BİLGİLER	5
3. GEREÇ ve YÖNTEM	18
4. BULGULAR	24
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	44
6. KAYNAKLAR	50

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, tuzlu alanlarda diğer bitkilerden daha fazla ve kaliteli yem üreten sorgum çeşitlerinin tuz stresi altındaki dirençlerini belirlemektir. Bu amaçla 15 sorgum hat ve çeşidi laboratuar koşullarında hoagland çözeltisi içerisinde büyütülerek stres uygulanmıştır. Çalışmada 15 gün stres uygulanmış bitki aksamları alınarak Malondialdehit (MDA) içeriği ve prolin miktarı, Süperoksit Dismutaz (SOD), Askorbat Peroksidaz (APX), Katalaz (CAT), Glutatyon Redüktaz (GR) ve Glutatyon S-Transferaz (GST) enzim parametreleri ile klorofil içerikleri belirlenmiştir. Deneme iklim kabininde, sorgum için optimum yetişme sıcaklığı olan 25 ºC'de ve %70 nem koşullarında yapılmıştır.

Çalışma sonunda elde edilen bulgulara göre tuz stresine karşı çeşitlerin tepkileri çok farklı olmuşmuştur. Çeşitlerin tuz stresine karşı antioksidan enzim aktivitelerinde artış olduğu gözlemlenmiştir. Çeşitlerin antioksidan enzim aktivitesi miktarı ile tuz dozlarına olan tepkileri farklı olmuştur. Tuz stresinin artması genellikle MDA ve prolin mikarını attırmış, korfil içeriklerini ise azaltmıştır. Sorgum çeşitlerinin tuz stresine ve dozlarına karşı tepkilerinin farklı olmasından dolayı çeşitlerin direnç özelliklerine göre tarım alanlarında kullanılması verim için oldukça önemli olacaktır. Araştırmda kullanılan sorgumlar içersinde BTx623, SC 333, Sugar grazer II, Akdarı, Öğretmenoğlu ve SC 906 çeşitleri tuz stresine dayanıklı olmuşlardır.

Anahtar kelimeler: sorgum, tuz stresi, antioksidan enzim, MDA, prolin

Effects of Salt Stress on Antioxidant Enzyme Activity of Sorghum Varieties and Lines

ABSRACT

Purpose of the current study was to determine the resistance of sorghum varieties under salt stress. Sorghum varieties are characterized with more and high quality forage production in salty areas compared to other plants. To this end, 15 sorghum varieties and lines were exposed to salt stress while growing in Hoagland solution under laboratory conditions. Plant parts, kept under salt stress for 15 days, were taken for determining chlorophyll, Malondialdehyde (MDA) and proline contents, and Superoxide dismutase (SOD), Ascorbate peroxidase (APX), Catalase (CAT), Glutathione reductase (GR), Glutathione S-transferase (GST) enzyme activities. Treatments were carried out in climate cabinet at optimum growth conditions of 25 ^{o}C and 70% relative humidity for sorghum plant.

The findings revealed that response of the varieties against salt stress were very different. Antioxidant enzyme activity of the varieties against stress revealed considerable increase. The amount of antioxidant enzyme activity and their response to salt concentrations were observed to be different. While increasing salt stress generally caused a rise in MDA and proline amount, it resulted in decrease with chlorophyll contents. Due to differences in response of sorghum varieties according to response properties to salt stress and doses, it will be very important to use these varieties in agricultural fields in terms of yield. Among the sorghum varieties used in the study, BTx623, SC 333, Sugar grazer II, Akdarı, Öğretmenoğlu and SC 906 were found to be resistant to salt tress.

Keywords: Sorghum, salt stress, antioxidant enzyme, MDA, proline

GİRİŞ

Toprakta veya suda tuzluluk, bitkisel üretimi ve verimi etkileyen önemli bir çevresel faktördür (Allakhverdiev et al. 2000; Arzani, 2008). Dünyada toplam alanının yaklaşık %25'ini oluşturan 400 milyon ha'ın üzerindeki bir alan tuz tehdidi ile karşı karşıyadır (Tilaki et al. 2010). ve her geçen gün tuzlu alan miktarı artmaktadır (Wang et al. 2003; Munns, 2005). Her toprak belli oranda suda çözünebilir tuz bulundurmaktadır. Bitki kendi ihtiyacı olan besin maddelerini bu tuzlar arasından alır fakat bu tuzların normal değerlerin üzerine çıkması ve birikmesi toprak tuzluluğuna sebep olur ve bitki büyümesini sınırlar (Mahjan and Tuteja, 2005).

Sorgum yem ve tane üretimi amacıyla tuzlu topraklarda diğer tahıl türlerine göre daha dayanıklı bir bitkidir. Sürekli artan insan ve hayvan nüfusu günümüzde gıda kaynakları ile arazi ve su kaynakları üzerine yoğun bir baskı yapmaktadır. Özellikle kurak ve yarı-kurak alanlarda bu baskı daha belirgin olmaktadır. Sorgum mısır, buğday ve çeltiğe kıyasla kuraklık ve tuz toleransında önemli bir yeri doldurmaktadır (Ayana and Bekele, 2000). Artan insan ve hayvan gıdasına karşılık kurak ve tuzlu alanların değerlendirilmesinde sorgumun önemi daha belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır (Wambua et al. 2010). Sorgum nispeten düşük yağışın olduğu, yüksek sıcaklıklara sahip tuzlu alanlarda kolaylıkla yetiştirilebilmektedir (Boursier and Lauchli, 1990).

Tuz stresinin bitkiler üzerindeki etkileri; bitkinin çeşidine, uygulanan tuz çeşidi ile miktarına ve maruz kalma süresine bağlı olarak değişmektedir. Tuzlu ortamlarda bitkiler genotipik farklılıklara bağlı olarak çok farklı cevaplar verirler (Dajic, 2006). Tuzluluğa karşı verilen bu farklı büyüme cevapları sadece farklı iki bitki türü için değil aynı türün farklı çeşitleri için de geçerlidir (Munns, 2002a).

Normal büyüme koşulları altında, bitkilerin sahip oldukları antioksidatif sistemler bitki hücrelerinde normal olarak oluşan serbest radikallerin detoksifikasyonu için yeterlidir. Fakat bitkiler stres koşulları altında enzimatik savunma sistemlerini de aktif hale getirmektedirler (Hideg, 1997). Genellikle antioksidan enzim aktiviteleri stres koşullarında artmakta ve bazı durumlarda bitkilerin stres faktörlerine tolerans düzeyi ile enzim aktiviteleri arasında pozitif bir korelasyonun olduğu belirtilmektedir (Ozden et al., 2009).

Bitkiler oksidatif zararın yol açtığı yıkıcı etkilerden korunmak için, değişik miktarlarda antioksidanlara ve antioksidatif enzimlere sahiptir (Asada ve Takahashi, 1987). Koruyucu mekanizmalar bu zararlı reaksiyonların etkilerini en aza indirebilecek şekilde çalışırlar. Bu

savunma hem enzimatik hem de enzimatik olmayan mekanizmaları kapsamaktadır Enzimatik olmayan antioksidanlar, tripeptid olan glutasyon, sistin, hidrokinonlar, askorbat (Vit. C), lipofilik, vitamin E (α- tokofenol), flavonidler, karotenoid pigmentler, alkoloidler gibi genellikle küçük moleküllerdir (Larson, 1988). Enzimatik antioksidan savunmaları, kloroplastlardaki ve mitokondrideki H_2O_2'yi temizleyen sırasıyla askorbat peroksidaz (APX) ve glutayon redüktaz (GR), H_2O_2'yi etkili bir şekilde yok eden katalaz (CAT) ve süperoksit anyonlarını temizleyen süperoksit dismutazı (SOD) içine alır (Scandalios, 1997). Tuza tolerant genotiplerin SOD, CAT, APX ve GR enzim aktivitelerinin duyarlı olanlara göre oldukça yüksektir (Yasar et al. 2008).

Bitkilerdeki osmotik koruyuculardan biriside prolin'dir. (Djilianov vd., 2005). Yüksek bitkilerde yaygın olarak bulunan prolin, tuz stresi altında diğer aminoasitlere göre daha fazla birikir (Ábrahám et al. 2003). Prolin sentezi, düşük su potansiyeline sahip ortamlarda, spesifik olmayan bir cevaptır ve bu yüzden tuz stresi gibi su stresi altında da sentezlenmektedir (Ashraf and Harris, 2004). Tuz stresinin neden olduğu osmotik stres prolin sentezini aktive ederken, degredasyonunu azaltır (Hare et al. 1999). Prolin degredasyonu, mitokondride prolin dehidrogenaz (PDH) ve prolin-5-karboksilat dehidrogenaz (P5CDH) tarafından gerçekleştirilir (Krell vd., 2007). Stres şartlarının ortadan kalkmasıyla, prolin oksitlenir ve oluşan ATP ile mitokondrial oksidatif fosforilasyonu destekleyen indirgenmiş ürünler stresin indüklediği hasarları azaltır (Hare and Cress, 1997).

Bu projenin amacı

GENEL BİLGİLER

Sorgumun tanımı ve önemi

Diğer tahıllara göre değişik çevresel streslere karşı daha dayanıklı ve üretimi genellikle daha ekonomik (Awika and Rooneyl. 2004) olan sorgum (*Sorghum bicolor* L.) dünyanın beşinci önemli tahılıdır (Li ve ark. 2010). Sorgum Dünyada gelişmekte olan ülkelerdeki insanların günlük besinleri için nişasta, protein, bazı vitaminler ve minareleri sağlamaktadır. Batıda ise ağırlıklı olarak hayvan besleme, biyobenzin, alkol, kağıt ve ahşap malzemelerin üretiminde kullanılmaktadır (Hill et al. 2012; Gnansounou, 2005; Awika ve Rooneyl. 2004; Rooney, 2004; Zulfiqar ve Asim, 2002; De Vries and Toenniessen 2001; Rajvanshi ve Nimbkar, 2001; Mvududu ve ark. 2000; House ve ark. 2000; Cothren ve ark. 2000; Wenman, 1999; Doggett 1998; Klopfenstein and Hoseney, 1995; Murty ve Kumar, 1995).

Sorgum kurağa dayanıklı ve düşük girdilerin hakim olduğu bölgelere adapte olmuştur (Li ve ark.2010). Sorgum mısıra göre iki kat daha fazla kök üretmekte (House, 1985), mısır ve diğer bitkilere göre suyu (Bean ve ark. 2002; Sanchez ve ark. 2002; Sanderson ve ark. 1992) ve bitki besin elementlerini (N, P, K) daha etkili kullanarak daha fazla verim vermektedir (Bean ve ark. 2002; Kimbrough, 2002). Döllenme oranı düşük ve kurak şartlarda, geleneksel olarak yetiştirilen sorgum çeşitlerinde yapılan her bir kg azot uygulaması 6 ile 10 kg'lık tane üretim artışına neden olmasına karşın, döllenme oranı yüksek olan çeşitlerde bu oran 20 ile 40 kg arasında değişmektedir (House, 1985). Bu özelliklerin yanı sıra sorgum, farklı pH aralıklarına (5.0-8.5), tuzlu ve organik bileşiklerce fakir topraklara ve yüksek sıcaklıklara uyumlu bir bitkidir (Kimber, 2000; Duke 1983). İçerdiği fitokimyasallar sayesinde, sorgumun hastalıklara ve zararlılara dayanımı yüksektir (Awika ve Rooneyl. 2004). Bu özeliklere ilaveten aşırı sulu arazilerdeki fotosentetik aktivitesi ve mineral madde alımı da yüksektir (Gosse, 1995; Woods ve ark. 1995). Dünya sorgum verimi ortalama 152.74 kg/da'dır (FAO, 2011) Fakat 2150 kg/da kadar da verim elde edildiği bildirilmiştir (Wittwer, 1980). Verimin düşük olma nedeni ise suyun kısıtlı olduğu sıcak ve kurak alanlarda tarımının yoğun yapılmasıdır. Ülkemizde sulu şartlarda yürütülen bir çalışmada sorgumda tane verimi 519-1093 kg/da arasında elde edilmiştir (Kaplan, 2009). Islah edilen yeni hibrit çeşitlerlerde hem verim hem de kalite her geçen gün artmaktadır. Bu önemli özellikler ile dünyanın birçok bölgesinde tarımı yapılmaktadır. Nijerya, Hindistan, Amerika, Meksika, Sudan, Çin ve Arjantin sorgum üreten ülkelerin önde gelenleridir (ICRISAT; http://www.icrisat.org/). **Artan nüfus, çarpık kentleşme, çoraklaşma ve küresel ısınma gibi faktörlere bağlı olarak**

azalan tarımsal alanlardan en verimli bir şekilde yararlanmak için birim alandan daha fazla verim elde edilen sorgumun önemi daha artmaktadır.

Stres ve stres faktörleri

Bitkide metabolizmayı, büyüme ve gelişmeyi etkileyen veya engelleyen, uygun olmayan herhangi bir durum veya madde stres olarak kabul edilir ve bitki toleransı ile yakından ilişkilidir (Özcan ve ark. 2001).

Kuraklık, yüksek sıcaklık, tuzluluk, metal, pestisit ve toprak pH'sı gibi stres faktörleri bitkilerdeki tüm metabolizmayı olumsuz etkileyerek, ürün verimini, büyümeyi ve gelişmeyi sınırlandırmakta, hatta bitkiye öldürücü zararlar da verebilmektedir. Bitkiler bu durumda hayatta kalmayı sağlamak için çeşitli stratejilerle tepkiler oluşturmaktadır. Tüm bitki seviyelerinde stresin etkisinin genellikle reaktif oksijen üretimi, büyüme ve fotosentezdeki azalma arasında bir ilişkinin olduğu gösterilmiştir (Özcan ve ark. 2001; Sankar ve ark. 2007).

Stres faktörleri nedeniyle hücrede meydana gelen oksidatif stres; Reaktif Oksijen Türlerinin (ROS) (superoksid radikalleri, hidrojenperoksid ve singlent oksijen ve hidroksil radikalleri gibi) oluşmasına neden olur. Biyotik ve abiyotik stres faktörlerinin sebep olduğu ROS'lar, lipid peroksidasyonu ve membran zararlarında önemli bir role sahiptir. Bitkilerde ROS'ların temizlenmesinde antioksidan maddeler ve enzimler (süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT), peroksidaz (POD), askorbat peroksidaz (APX), glutatyon redüktaz (GR) ve glutatyon s-transferaz (GST)) görev yapmaktadır (Raza ve ark. 2006; Mustafa ve ark. 2005; Gong ve ark. 2005).

Biyotik (patojen, diğer organizmalarla rekabet vb.) ve abiyotik (kuraklık, tuzluluk, radyasyon, kimyasal maddeler, yüksek sıcaklık veya don vb.) stresler ekonomik önemi olan tahıllar dahil, tüm bitkilerin normal fizyolojik işlevlerinde değişikliklere yol açmaktadır. Tüm bu stresler bitkilerin biyosentetik kapasitelerini azaltır, normal fonksiyonlarını değiştirir ve bitkinin ölümüne yol açabilecek zararlara neden olabilir (Lichtenhaler, 1996; . Mahajan ve ark. 2005).

Dünya üzerinde kullanılabilir alanlar stres faktörlerine göre sınıflandırıldığında doğal bir stres faktörü olan kuraklık stresi %26'lık oranla en üst seviyededir. Bunu % 20 ile mineral stresi ve %15 ile soğuk ve don stresleri takip etmektedir. Bunların dışında kalan tüm diğer stresler %29'luk bir pay alırken, yalnızca %10'luk bir alan herhangi bir stres faktörüne maruz kalmamaktadır [Blum, 1986]. Bu durumda, kuraklık ve tuz stresleri büyümeyi ve verimi etkileyen en yaygın çevresel streslerden olup bitkilerde birçok fizyolojik, biyokimyasal ve

moleküler cevabı indüklemekte ve buna bağlı olarak bitkiler, sınırlı çevresel koşullara adapte olmayı sağlayacak tolerans mekanizmaları geliştirebilmektedirler (Arora ve ark. 2002; Gong ve ark. 2005).

Tuz Stresi

Tuz, yeryüzünde yaşam süresi boyunca karşılaşılan ilk kimyasal faktörlerden biridir. Başlangıçtan itibaren organizmalar, iyonların düzenlenmesi ve protoplazmik yapıların stabilizasyonu için etkili mekanizmaları geliştirmek zorunda kalmışlardır (Özcan ve ark. 2001). Tuzluluk; özellikle kurak ve yarı kurak iklim bölgelerinde yıkanarak yer altı suyuna karışarak çözünebilir. Tuzların yüksek taban suyuyla birlikte kapillarite yoluyla toprak yüzeyine çıkması ve buharlaşma sonucu suyun topraktan ayrılarak tuzun toprak yüzeyinde ve yüzeye yakın bölümünde birikmesi olayıdır (Kalefetoğlu ve ark. 2005).

Tuzlar; bitkilerin vejetasyon süresince, buharlaşma ve terlemeden kalan kalıntılar olarak bitki bünyesinde birikebilmektedir. Yaprak ve diğer kısımların ölerek yere düşmelerinden sonra da tuzlar, yağışlarla toprağa tekrar geri dönebilmektedir. Toprak tuzluluğu, topraktan oluşan buharlaşmanın yıl boyunca toprağa süzülen yağış miktarından daha fazla olduğu kurak bölgelerde büyük ölçüde artma göstermektedir.

Nemli bölgelerde tuzlu topraklar esas olarak NaCI içerirler. Bu tip nötral tuzlu topraklar kurak bölgelerde de meydana gelmektedir. Step ve çöl toprakları ise kendilerini daha alkalin yapan Na, Mg ve Ca ‘un sülfat ve karbonatlarına sahiptirler. Steplerde meydana gelen sodyum topraklarının (solonetz) yüksek pH değerleri (8.5-11), $NaHCO_3$, $NaCO_3$ ve NaOH gibi temel tuzların varlığından kaynaklanmaktadır. Yarı-kurak alanlarda oldukça tuzlu (solonçek) topraklar genellikle, yüzeydeki tuz kırıntıları ile tanınırlar. Bunlar sodyum, magnezyum ve kalsiyumun klorid, sülfat ve bi-karbonatlarından ibarettirler. Bu tip topraklar, yüksek miktarlarda jips içerirler, kuruduklarında yüzey serttir ve çatlaklara sahiptirler (Özcan ve ark. 2001).

Bitkilerde Tuz Stresinin Etkileri

Tuz stresi, tarımsal üretimi sınırlayan en önemli stres faktörlerinden bir tanesidir. Özellikle dünyanın kurak ve yarı kurak bölgelerinde daha yaygın olarak hüküm sürmektedir. Her yıl tuzluluk nedeniyle tarımsal alanlar sınırlanmaktadır (Demiral ve Türkan, 2007). Aşırı tuzluluk, dünyanın birçok bölgesinde bitkilerin doğal habitatlarında yayılmasını sınırlamakta ve şiddetle artan bir tarımsal problem oluşturmaktadır. Tuzlu koşulların bitki büyümesi üzerindeki zararlı etkileri genel olarak iki şekildedir. Birinci olarak kökleşme ortamının ozmotik potansiyelinin azaltılması ve ikincisi özel iyon toksisitesidir (Zhou ve ark. 2007).

Bitkilerde tuzun en basit etkisi, topraktaki sudan bitkinin yararlanamaması yanında bitki besinlerinin alımının azalmasıdır. Tuzlu topraklarda artan ozmotik potansiyelden dolayı bitkilerin suyu yeteri kadar kullanamaması ya da ortamda aşırı miktarlarda bulunan Na^+ ve Cl^-'un neden olduğu toksik etkiden dolayı azalma olmaktadır. Tuzlu koşullarda yetiştirilen bitkilerin iyon dengesinin bozulmasına paralel olarak mineral madde konsantrasyonlarında da önemli sayılabilecek oranlarda değişimler olmaktadır. **Tuz stresinden etkilenmeyen ya da göreceli olarak daha az etkilenen bitkilerin dokularında Na^+ ve Cl^- iyonları az, prolin miktarı ise daha fazladır.** Bitkiler tarafından alınan aşırı miktardaki tuz hücre fonksiyonlarını bozar, hücre ve organel zarlarında meydana gelen tahribatlar nedeniyle fotosentez, solunum vb. işlevlerin sekteye uğraması ve klorofil miktarının azalması tuz zararının sonuçlarındandır (Kalefoğlu ve ark. 2005). Ayrıca toprakta tuz konsantrasyonunun artmasıyla, bitkinin topraktan su alımı güçleşmekte, toprağın yapısı bozularak bitki gelişimi yavaşlamakta, hatta durmaktadır (Kanber ve ark. 1992). Toprak içerisinde yeterli miktarda su bulunmasına rağmen bazı koşullar altında bitkilerin solmaya başladıkları görülmüştür. Bu durum genellikle yüksek toprak tuzluluğunun yarattığı "fizyolojik kuraklık" durumundan kaynaklanmaktadır. Fizyolojik kuraklık durumunda yüksek ozmotik basınç nedeniyle bitki kökleri topraktaki mevcut suyu alamamaktadırlar (Ayyıldız, 1990).

Toprak çözeltisinde çözünmüş halde bulunan fazla tuzun bitkiler üzerine ana etkisi toprak ozmotik basıncını artırarak dolaylı olarak bitkinin su almasının engellemesidir. Bitki kökleri çoğu tuzları geçirmeyen ancak su moleküllerinin geçmesine de engel olmayan yarı-geçirgen hücre zarı ihtiva ederler. Tuz etkisiyle ilgili önemli bir husus da, bazı bitkilerin özellikle tohumlarının çimlenme veya fide devrelerinde tuzluluğa karşı oldukça hassas olmalarıdır (Ekmekçi ve ark. 2005).

Tuz stresi, bodurlaşmaya ve bitki büyümesinin engellenmesine yol açmaktadır. Bu stresin artması ile tomurcuk açması gecikmekte, sürgünlerin boyu kısalmakta, yapraklar küçülmekte ve hücrelerin ölümü gerçekleşmektedir. Ayrıca köklerde, tomurcuklarda, yaprak kenarlarında ve sürgün uçlarında nekrozlar oluşmakta, yapraklar sararmakta ve sürgünün tüm kısımlarında kurumalar meydana gelmektedir. Bitkilerde hormonal denge, tuzluluk tarafından etkilenen önemli bir faktördür. Sitokininlerin düşük seviyeleri, absisik asit ve etilenin artan miktarları, olgunlaşmanın erken başlamasında etkili olmaktadır.

Tuz stresi, bitkilerde ölüme yol açabilmekte, tuz konsantrasyonu ve bitkinin dayanıklılığına göre büyümeyi engellemekte, yaprak yanıklığı gibi nekrozlara, klorozlara,

döllenme bozukluklarına, meyvelerin küçük kalmasına, kalitenin düşmesine ve ürün kayıplarına neden olabilmektedir (Özcan ve ark. 2001).

Serbest Oksijen Radikalleri (Oksidanlar)

Kimyasal bileşikler iki veya daha çok elementin aralarında kimyasal bağ oluşturması ile meydana gelir. Bu bağlar negatif yüklü elektronlarla sarılmış olup bu elektronların düzeni bileşiğe kararlılık sağlar. Kararlı bileşiklerin elektronları çiftlenmiş halde bulunur. Eğer elektron çiftlenmemiş ise molekül daha reaktif ve kararsız duruma geçer. Bir ya da daha fazla sayıda çiftlenmemiş elektrona sahip element veya bileşiklere "serbest oksijen radikalleri" (SOR) denir.

Serbest radikallerdeki çiftlenmemiş elektronlar kararlı duruma geçmek ister ve kararlı halde bulunan bir bileşikten elektron alarak, bu bileşiği yeni bir radikal haline dönüştürür. **Serbest radikallerin başlattığı bu zincirleme reaksiyonlar dizisi, antioksidanlar tarafından durduruluncaya kadar devam eder.** Oksidasyon olayı aslında hayatın her evresinde yaşanmakta olan bir süreçtir. Günlük hayatımızda, örneğin kabuğu soyulan bir elmanın bir süre sonra kahverengileşmesini oksidasyon olayına bir örnek olarak verebiliriz. Canlılarda SOR'lar ekzojen ve endojen, fizyolojik veya endojen patolojik mekanizmalar sonucu oluşabilir. Moleküler oksijen, yaşam için vazgeçilmez bir molekül olmasına rağmen, yapısında bulunan iki tane eşleşmemiş elektronu olan bi-radikal bir molekül olup aynı zamanda canlılarda reaktif oksijen türlerinin oluşmasına neden olur. Reaktif oksijen türleri metabolizmaya zarar verebilecek bir dizi reaksiyonu başlatır ve bunlar canlı için aynı zamanda bir tehdit unsuru haline gelir.

Organizmada serbest radikaller gerek normal metabolik faaliyetlerin bir yan ürünü olarak, gereksede biyotik ve abiyotik stres faktörlerinin etkisi ile oluşur. Metabolizma yan ürünleri olarak oksijen türevli serbest radikaller; süperoksit anyonu (O_2^-), singlet oksijen ($½O_2$), hidrojen peroksit (H_20_2) ve hidroksil radikallerini (OH^-) içerir. Ayrıca NADPH oksidaz gibi bazı enzimler küçük miktarlarda Reaktif Oksijen Türleri (ROS) üretir. Hücre içi ROS'un %90'dan fazlası aerobik solunum reaksiyonları zincirinde mitokondrinin iç zarında üretilir (Mustafa ve ark. 2005; Gong ve ark. 2005; Prochazkovave ark. 2001; Wei ve ark. 2005; Agarwal ve ark. 2005). İki tarafı keskin bir bıçak gibi kabul edilen **ROS, düşük dozlarda çeşitli stres tepkimelerinde arabulucu gibi rol oynarken, yüksek dozlarda (oksidadif stres gibi) hücresel zararlara yol açar.** Oksidan ve mutajen özelikte olan bu metabolizma yan ürünleri DNA, proteinler, lipidler ve diğer makro moleküllerde hasarlara hatta hücrenin ölümüne neden olur (Prochazkovave ark. 2001; . Martin ve Baret, 2002).

Oksidanların Biyolojik Sistemler Üzerine Etkileri

Serbest oksijen radikalleri [süperoksit anyonu (O_2^-), singlet oksijen ($^1/_2O_2$), hidrojen peroksit (H_20_2) ve hidroksil radikallerini (OH^-)] biyolojik sistemlerde birçok stres faktörleri sırasında oluşturulmakta ve membran yapısına, fotosentetik pigment, protein, lipid, karbonhidrat ve DNA gibi birçok makro moleküle zarar vermektedir. Bitki hücrelerinde mitokondri, kloroplast ve peroksizomlar serbest oksijen radikallerini üreten intraselüler yapılardır (Sairam ve Srivastava, 2002).

Proteinlerde Meydana Gelen Hasarlar

Proteinlere yapılan oksidatif saldırılar spesifik amino asit modifikasyonlarına, peptit zincirlerinin parçalara ayrılmasına, çapraz bağ kurmuş ürünlerin kümeleşmesine, elektriksel yük değişimlerine, parçalanmalara ve duyarlılığın artmasına neden olur. Proteinlerin primer, sekonder ve tersiyer yapısı ve amino asitlerin çeşidi proteinlerin reaktif saldırılara karşı duyarlılığını değiştirir ve peptidin reaktivitesini etkiler. Özellikle kükürt içeren amino asitler ve tiol grupları oldukça duyarlı olanlardır. Proteinlerin oksidatif olarak zarar görmesi durumu Fe^{+3} gibi redoks dönüşümü yapabilen metal kofaktörlerin varlığında artar. Böyle durumlarda metal, proteinin iki değerlikli katyonları bağlayan bölgesine bağlanır ve hidrojen peroksit ile reaksiyona girer. Reaksiyon sonunda hidroksil radikali meydana gelir ve bu radikalde amino asit dizilerini oksitler (Cicerali 2004).

Lipitlerde Meydana Gelen Hasarlar

Serbest oksijen radikalleri, hücresel membranlara lipit peroksidasyonu yoluyla zarar verir. Peroksidasyon reaksiyonları yağ asitlerinin açil zincirindeki çift bağlarla serbest oksijen radikalleri arasında gerçekleşir (Kanber ve ark. 1992).

Lipitlerin peroksidasyonu üç farklı adımda gerçekleşir. Bu aşamalar başlangıç, uzama ve sonlanma basamaklarıdır. Reaksiyonun başlama basamağı doymamış yağ asitleri ve hidroksil radikalleri arasında olur. Uzama basamağında ise ilk basamakta meydana gelen yapı triplet oksijenle reaksiyona girer ve ilerleyen reaksiyon basamaklarında lipit peroksitler oluşur. Bu reaksiyonlarda hidroksil radikallerinin rolü yangını başlatan kıvılcım gibidir. Lipit sistemlerinde hidroksil radikallerinin sıra dışı reaktivitesinin temelinde çok düşük konsantrasyonlarda bir zincir reaksiyonu başlatabilmesi yatar. Meydana gelen lipit peroksitler metal katalizleyicilerin varlığında oldukça kararsızdır. Membran lipitlerindeki peroksidasyon reaksiyonu radikal olmayan konjuge ürünleri meydana getirmek için karbon veya peroksi radikalleri ile çapraz bağ kurulduğunda sonlanır. Reaksiyon sonunda malondialdehit gibi

aldehitler ve ethan ve etilen gibi hidrokarbonlar lipit peroksidasyonunun son ürünleri olarak ortaya çıkar (McKersie, 2000).

Antioksidan Savunma Sistemi

İnsanların da içinde bulunduğu tüm aerobik canlılar oksidatif özellikteki bileşiklerin vereceği hasarlara karşı bir savunma sistemine sahiptir.

a. Enzimatik Olmayan Savunma Sistemi

Enzimatik olmayan savunma antioksidan maddeler olarak bilinen glutatyon, askorbat (vitamin C), tokoferol (vitamin E) ve flavonoitler, lignin, tanin gibi bileşikler tarafından yürütülür. Bir tripeptit olan glutatyon (γ-Glu- Cys-Gly, GSH) düşük moleküler ağırlığa sahip olup bir dokuda, hücrede ve diğer hücresel kompartmanlarda bulunur. GSH en fazla kloroplastlarda bulunur, fakat önemli miktarlarda da sitozolde mevcuttur. GSH'ın antioksidan özelliği sisteinin sülfidril grubundan kaynaklanır. GSH ikinci bir GSH molekülü ile sülfidril grubundan bağlanarak bir disülfit bağı oluşturur ve ortaya okside glutatyon (GSSG) çıkar.

GSH kimyasal olarak singlet oksijen ile süperoksit ve hidroksil radikalleri ile reaksiyona girerek serbest radikalleri etkisizleştirmede doğrudan rol oynar. Ayrıca lipit peroksidasyonu sırasında açığa çıkan açil peroksitleri uzaklaştırarak membran yapısının kararlılığına katkı sağlar (Cicerali, 2004; Davies, 2000).

Askorbik asit (vitamin C) hayvan ve bitki dokularında bulunan önemli antioksidan bileşikler arasında yer alır. **Askorbat indirgeyici olarak çalışarak oksidatif hasara karşı koruma sağlar.** Ayrıca askorbat birçok reaksiyonda elektron vericisi olarak da rol oynar.

Hidrofobik doğasından ötürü α-tokoferol membranda yer alır ve iyi bir membran stabilizasyonu sağlar. Serbest yağ asitleri ile kompleks oluşturabilme özelliklerinden dolayı da membranda deterjan gibi davranarak lipit tabakasının dağılmasına ve membran agregasyonuna neden olabilir (McKersie, 2000).

b. Enzimatik Savunma Sistemi

Katalaz (EC 1. 11. 1. 6)

Hidrojen peroksit (H_2O_2) reaktif bir oksijen türü olup hücreler tarafından yağ asitlerinin peroksizomlarda β−oksidasyonu, fotorespirasyon ve pürin katabolizması gibi normal aerobik reaksiyonlarda oluşturulur ve farklı konsantrasyon seviyelerinde mitojenik

büyümeden apoptosise kadar bir çok hücresel cevap mekanizmasında etkinlik gösterir. **Katalaz çeşitli streslere karşı geliştirilen cevap mekanizmalarındandır.** Ayrıca patojenlerin öldürülmesinde de savunma sistemi hücreleri tarafından üretilir. **Yüksek konsantrasyonlardaki H_2O_2 hücrelere zarar verir ve hücrelerde birikimi protein, lipit ve DNA gibi hücresel hedeflerin oksidasyonuna yol açar. Bu durum ise mutasyonların oluşmasına ve/veya hücre ölümüne yol açar. Bu sebeple H_2O_2'nin hücreden uzaklaştırılması oksidatif hasardan korunmak için önemli olup (NWLSS) bu işlem katalaz tarafından yürütülür.**

Hidroperoksidaz olarak da isimlendirilen katalaz bir sitokrom sistemine sahip tüm aerobik canlılarda bulunan ve H_2O_2'in su ve oksijene parçalanmasını katalizleyen özel bir proteindir.

$$2\,H_2O_2 \xrightarrow{\text{katalaz}} 2\,H_2O + O_2$$

Hidrojen peroksitin (H_2O_2) bu şekilde uzaklaştırılması sayesinde daha reaktif olan hidroksil radikallerinin oluşumu önlenmiş olur. Bu reaktif oksijen türlerinin uzaklaştırılması aerobik ortamda yaşamayı kolaylaştırır.

Aktif oksijen türlerine karşı etkili olmasından dolayı, çoğu aerobik organizma üç temel enzim sınıfından birine ait katalaz enzimine sahiptir. Bu enzim sınıflarından en geniş olanına ait katalaz enzimi tipik tek fonksiyonlu özellikte olup hem-gurubu içerir ve 60 kDa veya 80 kDa alt ünitelere sahiptir. İkinci en geniş guruba üye katalazlar ise katalaz-peroksidaz şeklinde iki fonksiyona sahip hem-gurubu içerirler, ancak sekans olarak bitki ve fungus peroksidazlarına benzerlik gösterirler. Üçüncü gurup ise en küçük gurubu oluşturur. Bu gurubun üyesi katalazlar ise hem-gurubu içermezler veya Mn içerirler.

Ökaryotik katalazlar NADPH'a bağlı olarak bulunurlar. Bu durum onların daha kararlı yapıda kalmasını sağlar ve normal katalitik döngü dışında ikinci tip bileşiklerin oluşmasını önler (Oxford Biomedical Research USA).

Katalaz ve peroksidaz enzimlerinin her ikisi de H_2O_2'i parçalar. Ancak katalaz hem elektron alıcısı hem de elektron vericisi olarak H_2O_2 kullanırken, peroksidazlar H_2O_2'i indirgemek için organik bir substurata (RH_2) gereksinim duyarlar.

$$H_2O_2 + RH2 \rightarrow 2H_2O + R$$

H_2O_2'in parçalanmasını sağlayan reaksiyon iki aşamada gerçekleşir. İlk aşamada H_2O_2, suya ve oksiferil türlerine (bileşik I) ayrılır.

$$\text{Hem-Fe}^{III} + H_2O_2 \rightarrow \text{hem-Fe}^{V} = O \text{ (bileşik I)} + H_2O$$

Bileşik I bir diğer H_2O_2 molekülü ile reaksiyona girer ve sonuçta su ve moleküler oksijen meydana gelir (Creighton, 1999).

$$\text{Hem-Fe}^{V} = O + H_2O_2 \rightarrow \text{hem-Fe}^{III} + O_2 + H_2O$$

Süperoksit Dismütaz (EC 1. 15. 1. 1)

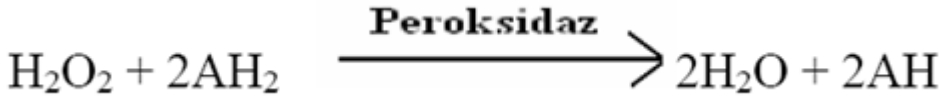
Aktif oksijen türleri yüksek reaktif özelliklerinden dolayı herhangi bir koruma mekanizması olmadığı takdirde hücre duvarının yapısına ve fonksiyonlarına zarar verir (Bennicelli, 1998). Süperoksit dismütaz (SOD), ilk defa McCord ve Fridovitch tarafından izole edilmiştir. **Yüksek derecede reaktif olan aktif oksijen türlerinden süperoksit anyon radikallerini (O_2^-) katalizleyerek organizmalara oksijen varlığında hayatta kalma imkanını veren bir enzimdir.** Bu reaksiyon oksijen metabolize eden tüm organizmalarda ve bazı anaerobik canlılarda gerçekleşir ve sonucunda moleküler oksijen (O_2) ve hidrojen peroksit (H_2O_2) açığa çıkar. Bu katalitik mekanizma metal iyonunun ardışık oksidasyon ve redüksiyonuna dayanır. SOD prostetik gurup olarak demir, manganez veya bakır ve çinkoyu taşıyan bir metalloproteindir. Bu metal iyonları süperoksit radikallerinin enzim aktif bölgesine elektrostatik olarak yönlendirilmesini sağlar. Bu enzim genelde aktif oksijen oluşturan hücre bölümlerinde bulunur. Cu-Zn içeren SOD birçok ökaryotik canlıdan izole edilmiştir. Ayrıca şaşırtıcı şekilde birkaç bakteride de rastlanmıştır. Mn-SOD prokaryotlarda ve ökaryotların mitokondrilerinde tespit edilmiştir. Fe-SOD ise birkaç prokaryotik organizmada bulunmuştur (Öztürk ve ark. 1999).

Prokaryotik Mn-SOD ve Fe-SOD ve ökaryotik Cu/Zn-SOD enzimleri dimer yapıdadır. Mitokondrilerdeki Mn-SOD ise tetramerik yapıdadır. SOD'un tüm formları çekirdek tarafından kodlanır ve amino ucunun işaretlenmesi ile de gideceği hücre bölümü belirlenir (Creighton, 1999).

Askorbat Peroksidaz (EC 1. 11. 1. 11)

Askorbat peroksidaz hem peroksidaz enzim ailesinin bir üyesi olup mayadan insana kadar pek çok canlıda bulunur. Askorbat peroksidaz hidrojen perokside bağlı olarak farklı substratları katalizler. Fakat enzimin fizyolojik substratı askorbattır (vitamin C). Askorbat dışında bazı aromatik substratların (AH_2) da oksidasyonunu katalizler.

$$2\text{Askorbat} + H_2O_2 \longrightarrow 2 \text{ monodehidroaskorbat radikali} + 2H_2O$$



Askorbata bağlı askorbat peroksidaz aktivitesi ilk olarak 1979 yılında bulunmuştur. Bu enzim sınıf I peroksidaz enzim ailesine ait olup bitkilerde, alglerde ve sadece siyanobakterilerde hidrojen perokside bağlı askorbat oksidasyon reaksiyonunu katalizler (Sharp, 2003).

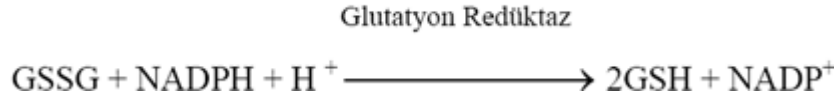
Fizyolojik koşullar altında reaksiyonun ara ürünü monodehidroaskorbat radikali olup başka bir enzimce tekrar askorbata indirgenir. Askorbat peroksidaz sitozolde, kloroplastlarda ve peroksizomlarda bulunur [13]. Bütün askorbat peroksidaz enzimleri elektron vericisi olarak askorbata yüksek özgüllük gösterir. Fakat enzimin fizyolojik koşullarda bulunmayan substratları da okside etme yeteneği vardır (Raven, 2003).

Glutatyon Redüktaz (EC 1. 6. 4. 2)

Glutatyon redüktaz, okside glutatyonun (GSSG) glutatyona (GSH) indirgenmesini katalizleyen bir enzimdir. Glutatyon redüktaz redoks döngüsünde önemli bir enzim olup, indirgenmiş hücresel GSH'ın hücrede yeterli seviyede kalmasını sağlar. **GSH antioksidan olarak görev yapar ve serbest radikal ve organik peroksitlerle reaksiyona girer, amino asit taşınımında görev alır, organik peroksitlerin detoksifiyesinde ve zenobiyotiklerin metabolizmasında görevli glutatyon peroksidaz ve glutatyon S- transferaz enzimlerinin substratıdır.**

Bu homodimerik enzim flavoprotein disülfit oksidoredüktaz enzim ailesinin bir üyesidir. Her bir alt ünite dört domaine sahiptir. Bunlar N-ucundan başlayarak: FAD bağlanma domaini, NADPH bağlayan domain, merkezi bir domain ve bir ara domain. Enzimin aktif bölgesi dimerik kısımda yer alır. GSSG bağlayan enzim bölgesi her iki alt ünitenin rezidülerinden oluşsa da sadece dimerik form aktiftir.

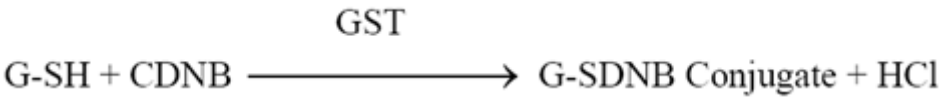
Okside glutatyonun indirgenmesi çok aşamalı bir reaksiyondur. Başlangıç olarak enzim NADPH tarafından indirgenir. İndirgenmiş glutatyon redüktaz GSSG molekülü ile reaksiyona girer ve bu reaksiyon bir disülfit değişimi ile sonuçlanır. Sonuçta GSH molekülü ve GRred – SG kompleksi ortaya çıkar. GRred – SG kompleksinde ikinci bir disülfit değişimi ile sonuçlanan bir elektron düzenlemesi gerçekleşir. İkinci GSH molekülünün enzimden ayrılması ile enzim tekrar okside forma dönüşür (*Oxis*Research).



Glutatyon redüktaz hayvanlarda, bitkilerde ve bakterilerde bulunur. Bu enzim askorbat-glutatyon reaksiyon yolunda görevli önemli bir enzimdir. Bu sistem sayesinde memeliler hemoglobin ve diğer proteinlerini peroksitlerin verebileceği zarardan korur. Endojen veya ekzojen nitrik oksit uygulaması GSH oluşumunu azalttığı için hücresel dengeyi bozar. Bir stres meydana gelir ve enzimin inhibisyonu gerçekleşir. Glutatyon redüktaz mitokondrilerde ve peroksizomlarda bulunmuştur (Hou ve ark. 2004).

Glutatyon S-Transferaz (2. 5. 1. 18)

Glutatyon S-transferaz bir enzim ailesi olup çeşitli bileşiklerle indirgenmiş glutatyon arasında konjugasyonu sağlar. Bu reaksiyon sonunda aktif olamayan, suda çözünebilen, daha az zararlı ürünler ortaya çıkar.



Bilinen tüm sitozolik GST enzimleri homodimer veya heterodimer yapıda olup alt ünitelerinin moleküler ağırlığı 23–29 kDa arasında değişir (Boyoğlu, 2004).

GST canlılarda geniş bir dağılım gösterir. Aerobik organizmaları oksidatif hasarlardan ve elektrofilik saldırılardan korur. GST mutajenlerin, karsinojenlerin ve diğer toksik maddelerin etkisizleştirilmesinde görevlidir. GST aktivitesinin bitkilerde, böceklerde, mayalarda, bakterilerde ve özellikle karaciğer olmak üzere çoğu memeli dokularında bulunduğu ve detoksifikasyonda anahtar rol oynadığı bilinmektedir. Memelilerde GST'nin biyofonksiyonelliği ve sekans benzerlikleri dikkate alınarak α, κ, μ, ω, π, σ, ξ, θ sınıflarına ayrılmıştır (Lo ve ark. 2007).

Çevresel stres faktörlerince oluşumu tetiklenen reaktif oksijen türlerine karşı GST'ler hücre membranını, DNA'yı ve proteinleri korur. Memelilerde lökosit ve diğer fagositik hücrelerin mikropları yok etme çalışmaları sırasında kullandıkları nitrojen oksit, süperoksit hipoklorit ve hidrojen peroksit gibi kimyasal bileşikler aynı zamanda DNA'nın oksidatif hasarına sebep olabilir. Benzer bir savunma sistemine bitkilerde de rastlanmıştır. GST ise tüm bu bileşiklerin zararlarına karşı koruma sağlar (Boyoğlu, 2004).

Biyolojik sistemlerde oksidanların zararlı etkilerine karşı korumada antioksidan savunma sistemi görev yapmaktadır. Bu sistem yalnızca hücre içi kompartımanlarla sınırlı değildir. Ayrıca apoplastlarda da bulunurlar. Antioksidanlar; katalaz (CAT), süperoksit dismutaz (SOD), glutatione peroksidaz (GP), glutatione redüktaz (GR), askorbat peroksidaz (APX), sitokrom-C-oksidaz, makro ve mikromoleküllerdir (Arora ve ark. 2002).

Antioksidanlar

Normal büyüme koşullarında çeşitli metabolik faaliyetler sonucu ortaya çıkan serbest radikallere karşı vücutta doğal bir savunma mekanizması vardır. Bu savunma mekanizmasını oluşturan bileşiklere 'antioksidanlar' denir (Gong ve ark. 2005 Keleş ve Öncel 2002). Antioksidanlar doğal antioksidanlar ve ilaç olmak üzere iki grupta toplanabilir.

Doğal antioksidanlar arasında enzimler (süperoksit dismutaz-SOD, katalaz-CAT, glutatione peroksidaz-GP, glutatione redüktaz-GR, askorbat peroksidaz-APOX, sitokrom-C-oksidaz, hidroksiperoksidaz), makromoleküller (seruloplazmin, transferin, ferritin, myoglobin, haptoglobilin), ve mikromoleküller (β-karoten, A-vitamini, C-vitamini, E-vitamini, tokoferol, thiol içerenler, glutatione (GSH), N-asetil sistein, metionin, kaptopril, ubiguinon) sayılabilir (Hilmi, 1994; Prochazkova ve ark. 200**).** Askorbat, glutation ve tokoferol okisjenli hücrelerde; karotenoidler fotosentetik sistemde ve antioksidan sistem hücrenin tüm bölümlerinde toksik oksijen türlerine karşı savunmada önemli role sahiptir (Keleş ve ark. 2002).

Antioksidanlar dört yolla oksidanları etkisiz hale getirir.

1. Süpürme Etkisi (Scavenging): Oksidanları daha zayıf yeni bir moleküle dönüştürerek etkisizleştirir. Antioksidan enzimler ve mikro moleküller bu yolla etki eder.
2. Söndürme Etkisi (Quenching): Oksidanlara bir hidrojen aktararak inaktive etmesine denir. Vitaminler, flavanoidler, timetazidin ve mannitol bu şekilde etki eder.
3. Zincir Reaksiyonlarını Kırma Etkisi (Chain Breaking): Hemoglobn, serüloplazmin ve ağır mineraller oksidanları kendilerine bağlar ve inaktive eder.
4. Onarma Etkisi (Repair): Oksidatif hasar görmüş biyomolekülleri onarırlar.

Düzgün çalışan bir metabolizmada mitokondriyel sitokrom sistemi, sitozoldeki organelleri oksidanların zararlı etkilerinden korur. Bu sistemin yetersiz kaldığı durumlarda doğal enzimler devreye girer. **Enzimlerce etkisiz hale getirilemeyen oksidanlar ilk olarak**

hücre membranındaki lipidleri etkileyerek 'lipid peroksidasyonu'nu başlatır. Lipid peroksidasyonu, membranlarda bulunan çoklu doymamış yağ asitlerinin (PUFA) serbest oksijen radikalleri tarafından peroksitler, alkoller, aldehitler gibi çeşitli ürünlere yıkılması reaksiyonudur ve sonuçta ortaya çıkan biyo-aktif aldehitler hücre hasarına neden olur. Lipid peroksidasyonu sırasında yeterli düzeyde Vit-E ve Vit-C gibi antioksidan vitaminlerin bulunması halinde bu tip hücresel hasarların önüne geçilir (Gökpınar ve ark. 2006).

Araştırmada etkisini incelediğimiz sorgum bitkisi tuzlu koşullara en iyi tepki veren bitkilerin başında gelmektedir. Bu bitkinin kendi içindeki çeşitlerinin de bu stres faktörlerine etkilerinin farklı olmasından dolayı çeşitlerinde dayanıklılık seviyelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu karakterizasyonun arazi koşullarında yapılması hem çok zor hem de çok pahalıdır. Laboratuvar ve sera çalışmaları daha güvenli ve kısa sürede olmasından dolayı çok tercih edilmektedir. Bu amaçla bu çalışmada 15 sorgum çeşit ve hattının tuz stresine karşı dayanıklılıklarını belirlemek için antioksidan enzim aktiviteleri incelenecektir.

GEREKÇE ve YÖNTEM

Çalışmada materyal olarak 15 sorgum çeşit ve hatları kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan çeşit ve hatların listesi Tablo 1'de verilmiştir. Araştırma Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümünde bulunan iklim kabininde yürütülmüştür. Deneme sorgum bitkisinin optimum yetişme koşulları olan 25 ºC'de ve %70 nem koşullarında yürütülmüştür. Tohumlar özel olarak hazırlatılanan plastik kaplar içerisine 50 adet olacak şekilde konulmuştur. Bitkiler belli bir büyüklüğe geldiklerinde (10-15 cm) stres faktörleri uygulanmıştır. Stres uygulaması 15 gün süre devam etmiş ve her gün yenilenmiştir. Bu amaçla tuz stresi için 50, 100, 150 ve 200 mM NaCl uygulanmıştır. 15 gün sonunda hasat edilen bitki örnekleri tartılarak -20 ºC'de saklanarak analizler başlanmıştır. Araştırma 4 tekrarlamalı olarak kurulmuş ve analiz edilmiştir.

Proje Kapsamında Yapılan Analizler

Protein Ekstraksiyonu

Tuz uygulanmış ve kontrol bitkilerinin yaprakları hasat edilmiştir. Doku örnekleri hemen çalışılmayacaksa –20 ºC de çalışma gününe kadar tutulmuştur. Hemen çalışılacak doku örneklerinden de 0.5 gr doku örneği havan ve tokmak kullanarak sıvı azot içinde ezilmiştir. Parçalanan hücreler 0.1 M Tris- HCl tamponu (pH 7.5), 0.5 mM EDTA, %1 PVP solüsyonu içinde homojenize edilmiş ve 15000 g de 20 dk. santrifüj edilmiştir. (Misra ve Gupta, 2006).

Protein Miktarının Belirlenmesi

Alınan bitki dokularındaki protein miktarı Bradford (1976) yöntemine göre belirlenmiştir. Bradford ayıracı, 500 mg Coomassie Brilliant Blue G250, 250 ml % 96' lık etanol içinde çözülüp üzerine 500 ml % 85 lik orto fosforik asit ilave edilerek distile su ile son hacim 1 lt' ye tamamlanmıştır. Protein miktarlarının belirlenmesi için buz üzerinde tutulan örneklerden 5'er µl alarak cam tüplere ilave edilmiş ve son hacim 500 µl olacak şekilde distile su ilave edilmiştir. Bundan sonra 1x Bradford ayıracından 5 ml cam tüplere ilave edilerek oda sıcaklığında yaklaşık 15 dakika bekletildikten sonra 595 nm de cam küvet kullanılarak absorbansları ölçülmüştür.

Protein konsantrasyonunun belirlenmesi için sığır serum albumini (BSA) fraksiyon V kullanılarak standart serisi oluşturulmuştur. 1 mg\ml BSA stoğundan 5, 10, 15, 20, 25 µl alınarak cam tüplere aktarılmış ve distile su ile 500 µl ye tamamlanmıştır. Tüplerin üzerine son hacim 5 ml olacak şekilde Bradford ayıracı eklenmiştir. Standartlara uygun absorbans

değerlerinden standart eğri elde edilerek, elde edilen eğrinin denkleminden yola çıkarak örneklerin konsantrasyonları hesaplanmıştır.

Katalaz Aktivitesinin Belirlenmesi

Katalaz aktivitesinin belirlenmesi için Misra ve Gupta (2006)'nın literatürde verilen yöntemi kullanılmıştır. 20 mM sodyum fosfat tamponuna (pH 7.5), 6 mM hidrojenperoksit ve 3 µg\ml olacak şekilde örnek protein ekstraktı eklenmiştir. Aktivite ölçümleri için küvet hacmi 1 ml olarak ayarlanmıştır. Tampon ve örnek protein ekstraktı iyice vortekslendikten sonra hidrojenperoksit ilave edilerek reaksiyon başlatılmış ve 240 nm dalga boyunda quartz küvet kullanılarak absorbansdaki düşüş 3 dakika boyunca ölçülmüştür. Kör olarak distile su ve ekstraksiyon tamponu kullanılmıştır. Reaksiyonun başlatılmasından itibaren spektrofotometrede okunan ilk ve son değerler kaydedilerek aktivite hesabında kullanılmıştır. Hesaplamada formül olarak ΔAbs\dk = ε.C.L kullanılacaktır (Misra ve Gupta, 2006). (Hidrojenperoksidin molar soğurma değeri 240 nm de 40 mM^{-1} cm^{-1})
Spesifik aktivite aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$SA = \frac{\Delta Abs\backslash dk}{\varepsilon \times 1} \times 1000\mu g / 3\ \mu g/ml$$

Askorbat Peroksidaz Aktivitesinin Belirlenmesi

Askorbat peroksidaz aktivitesinin belirlenmesi için literatürde verilen yöntem kullanılmıştır (Cicerali, 2004). 0.5 gr bitki örnekleri 50 mM Tris-HCl tamponu içinde (1mM EDTA, 2 mM Askorbat, %2 PVP, pH 7.2) ekstrakt edilmiştir. 15000 g de 20 dakika santrifüj edildikten sonra alınan süpernatantın protein konsantrasyonları Bradford (1976) yöntemi ile belirlenmiştir (Cicerali, 2004).

Askorbat peroksidaz aktivitesinin belirlenmesi için 50 mM potasyum fosfat tamponu (pH 6.0) içinde 0,15 mM askorbat, 6 mM hidrojenperoksit ve 3 µg\ml olacak şekilde örnek protein eksraktı kullanılmıştır. Aktivite ölçümleri için küvet hacmi 1 ml olarak ayarlanmıştır. Tampon ve örnek protein ekstraktı iyice vortekslendikten sonra hidrojenperoksit ilave edilerek reaksiyon başlatılmış ve 290 nm dalga boyunda, quartz küvet kullanılarak absorbansdaki düşüş 3 dakika boyunca ölçülmüştür. Kör olarak distile su ve ekstraksiyon tamponu kullanılmıştır. Reaksiyonun başlatılmasından itibaren spektrofotometrede okunan ilk ve son

değerler kaydedilerek aktivite hesabında kullanılmıştır. Hesaplamada formül olarak ΔAbs\dk = ε.C.L kullanılmıştır. (Askorbatın molar soğurma değeri 2.8 mM^{-1} cm^{-1})

Spesifik aktivite aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$SA = \frac{\Delta Abs\backslash dk}{\varepsilon \times 1} \times 1000\mu g / 3\ \mu g/ml$$

Glutatyon Redüktaz Aktivitesinin Belirlenmesi

Glutatyon redüktaz aktivitesinin belirlenmesi için literatürde verilen yöntem kullanılmıştır (Misra ve Gupta, 2006). 100 mM, pH 7.5 sodyum fosfat tamponu, 0.1 mM EDTA, 0.1 mM NADPH, 1mM GSSG ve 0.01 M sodyum fosfat tamponunda hazırlanmış 0.75 mM DTNB reaksiyon karışımı kullanılmış ve 5 µg/ml protein ilave edilerek reaksiyon başlatılmıştır. Aktivite ölçümleri için küvet hacmi 1 ml olarak ayarlanmıştır. Tampon ve örnek protein ekstraktı iyice vortekslendikten sonra quartz küvet kullanılarak 5 dakika boyunca 412 nm de okunmuştur (Misra ve Gupta, 2006).

Kör olarak distile su ve ekstraksiyon tamponu kullanılmıştır. Reaksiyonun başlatılmasından itibaren spektrofotometrede okunan ilk ve son değerler kaydedilerek aktivite hesabında kullanılmıştır. Hesaplamada formül olarak ΔAbs\dk = ε.C.L kullanılmıştır (NADPH molar soğurma değeri 6,2 mM^{-1} cm^{-1}). Spesifik aktivite aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$SA = \frac{\Delta Abs\backslash dk}{\varepsilon \times 1} \times 1000\mu g / 5\ \mu g/ml$$

Glutatyon S Transferaz Aktivitesinin Belirlenmesi

Glutatyon S transferaz aktivitesinin belirlenmesi için literatürde verilen yöntem gerekli modifikasyonlarla kullanılmıştır (Karabal ve ark, 2003). Enzim aktivitesinin belirlenmesi için 100 mM potasyum fosfat tamponu (pH 6.5) kullanılmıştır. 1mM EDTA, 2 mM GSH, 1 mM CDNB ve tamponla referans alındıktan sonra 50 µg/ml protein içeren örnek ilave edilmiştir. Aktivite ölçümleri için küvet hacmi 1 ml olarak ayarlanmıştır. Nonenzimatik reaksiyon için küvet enzim eklenmeden 5 dakika bekletilip tampon ve örnek protein ekstraktı iyice vortekslendikten sonra 340 nm de quartz küvet kullanılarak 5 dakika boyunca okunmuştur (Misra ve Gupta, 2006).

Kör olarak distile su ve ekstraksiyon tamponu kullanılmıştır. Reaksiyonun başlatılmasından itibaren spektrofotometrede okunan ilk ve son değerler kaydedilerek aktivite hesabında kullanılmıştır. Hesaplamada formül olarak ΔAbs\dk = ε.C.L kullanılmıştır (CDNB nin absorbsiyon katsayısı 9.6 mM^{-1} cm^{-1}). Spesifik aktivite aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$SA = \frac{\Delta Abs\backslash dk}{\varepsilon \times 1} \times 1000\mu g / 50\ \mu g/ml$$

SOD Aktivitesinin Belirlenmesi

SOD aktivitesinin belirlenmesi için 20 mM sodyum fosfat tamponu (pH 7.5), 0.1 mM EDTA, 10 mM metionin 0.1 mM NBT 0.005 mM riboflavin kullanılmıştır. Çalışma üçlü tekrarlarla yapılmıştır. Öncelikle tüplere 50 µg/ml protein ilave edilmiş daha sonra hazırladığımız solüsyondan 3 er ml ilave edilmiştir. Spektrofotometre için referans olarak karanlıkta tutulan ve içinde protein örneği bulunmayan solüsyon kullanılmıştır. Reaksiyonun referansı olarak içinde protein örneği bulunmayan ancak diğer örneklerle eşit sürede ışıkta bekletilen solüsyon kullanılmıştır. 20 dakika ışıkta bekletilen örnekler 560 nm dalga boyunda okunmuşr (Misra ve Gupta, 2006).

Örneklerdeki SOD konsantrasyonunun belirlenmesi için SOD standartları hazırlanmıştır. Standartların hazırlanmasında sığır eritrositlerinden elde edilen SOD kullanılmıştır. SOD aktivite hesabı için % inhibisyon değeri kullanılmıştır. % inhibisyon =(ışık kont.Abs.-örneğin absorbansı) x 100/ ışık kont absorbansı. % inhibisyona karşılık enzim konsantrasyonlarından logaritmik bir grafik elde edilmiştir. Grafikte kullanılan standart SOD enzim konsantrasyonlarının logaritmaları alınarak ve % inhibisyon değerleri aynen kullanılarak yeni bir grafik elde edilmiştir. Grafikte elde edilen doğrunun denklemi kullanılarak SOD konsantrasyonları bilinmeyen uygulamaların konsatrasyonları belirlenmiştir (Toprak, 2007).

MDA Miktarının Belirlenmesi

MDA tayini için literatürde verilen yöntem kullanılmıştır (Karabal ve ark, 2003). 0.3 gr yaş doku 3 ml %5 TCA solüsyonu ile homojenize edilmiştir. Ekstrakt santrifüj tüplerinde 12000 g de 15 dakika oda sıcaklığında santrifüj edilmiştir. Süpernatanttan her tüpte 1 ml

olacak şekilde ikili tüplerle çalışılmıştır. Tüplerin üzerine % 20 TCA ve % 0.5 TBA solüsyonundan 4 ml eklenmiştir. Tüpler yarım saat kaynar suda tutulup bu sürenin sonunda ani soğutma yapılmıştır. Solüsyonlar tekrar santrifüj tüplerine alınıp 10000xg de 10 dakika santrifüj edilmiştir. 532 ve 600 nm de spektrofotometrede okunmuştur. Abs = ε.C.L formulünden MDA konsantrasyonu bulunup daha sonra 1 gr dokudaki MDA konsantrasyonu tespit edilmiştir. MDA içeriklerinin tespiti için kullanılan molar soğurma değeri 155 mM^{-1} cm^{-1} dir.

Prolin Miktarının Belirlenmesi

Prolin miktarının belirlenmesi için Karabal vd. (2003) kullandığı yöntem kullanılmıştır. 0.3 gr bitki dokusu %3 lük 5 ml sülfosalisilik asit çözeltisi ile havan yardımıyla ezilmiştir. Ekstrakt 15000xg de 10 dakika santrifüj edilmiştir. Süpernatanttan her tüpe 2 ml olacak şekilde ikişerli tekrarlar halinde ilave edilmiştir. Daha sonra tüplere 2 ml glasiyal asetik asit ve 2 ml asetik asit, fosforik asit, ninhidrin çözeltisi eklenerek karıştırılmıştır. Tüpler 1 saat boyunca kaynatılıp bu sürenin sonunda ani soğutma yapılmış ve örneklerin üzerine 4 ml toluen eklenip karıştırılmıştır. Toluenli kısım cam küvete alınarak OD 520 de okunmuştur. Prolin konsantrasyonunun tespit edilmesi için standart solüsyonlar hazırlanmıştır. Standart solüsyonu için 10 mM % 3'lük stok sülfosalisilik asit çözeltisi kullanılmıştır. Stoktan seyreltilen solüsyonların absorbansları spektrofotometrede okunmuştur. Elde edilen değerler ile oluşturulan grafik referans kabul edilmiştir. Bu doğrunun denkleminden faydalanılarak konsantrasyon hesaplanmıştır. y=ax+b doğru denkleminde y=absorbans, a= eğim, x=konsantrasyon, b=düzeltme faktörüdür.

Klorofil Tayini

Klorofil tayini için 2 g örnek alınarak üzerine 25 ml %96 etilalkol (Et-OH) eklenmiştir. Bir müddet çalkalandıktan sonra karanlıkta 24 saat muhafaza edilmiştir. Bu süre sonunda solüsyon başka bir kaba alınıp, yapraklar üzerine tekrar 25 ml %96 Et-OH eklenerek yukarıdaki işlem bir kez daha tekrarlanmıştır. Bu işlemin üçüncü kez tekrarlanmasından sonra elde edilen solüsyon %96 Et-OH ile 100 ml'ye tamamlanmıştır. Filtre kağıdı ile filtre edildikten sonra 10000 rpm'de +4 ^{0}C'de 20 dakika santrifüj edilmiştir. Daha sonra süpernatant alınarak spektrofotometrede OD_{645}, OD_{652} ve OD_{663} nm'de absorbansları ölçülmüştür (Arnon, 1949; Aronof, 1946).

Çıkan sonuçlar Mackinney, (1941) tarafından verilen klorofil a ve b için spesifik absorbsiyon katsayıları kullanılarak ikili bir denkleme dönüştürülmek suretiyle klorofil a, klorofil b ve toplam klorofil miktarları hesaplanmıştır.

D_{663}= 82.04 x Ca + 9.27 x Cb

D_{645}= 16.75 x Ca + 45.6 x Cb

Toplam klorofil= Ca + Cb

Sonuçların İstatistiksel Değerlendirilmesi

İncelenen karakterlere ait verilerin istatistiksel analizleri SAS istatistik paket programı (SAS, 1999) kullanılarak tesadüf parselleri deneme denesini göre yapılmıştır. Ortalama değerler arasındaki karşılaştırmalarda LSD testi kullanılmıştır.

BULGULAR

Farklı on beş sorgum çeşidinin tuz stresi altındaki antioksidan enzim aktiviteleri aşağıda her çeşit için ayrı ayrı verilmiştir.

Tablo 1 incelendiğinde BTx623 çeşidine ait CAT ve APX özellikleri istatistiksel olarak önemli çıkarken (P≤0.05) incelenen diğer tüm özelliklerin çok önemli (P≤0.01) çıktığı görülmektedir. En düşük SOD değeri 200 ppm tuz uygulamasından, en yüksek değer ise 100 ppm uygulamasından elde edilmiştir. CAT içeriği e düşük 200 ppm tuz uygulamasında gözlemlenirken, en yüksek değer ise 50 ppm tuz uygulamasından elde edilmiştir. En yüksek APX değeri 50 ppm tuz uygulamasından, en düşük değer ise 200 ppm uygulamasından elde edilmiştir. En yüksek GR ve GST değerleri 100 ppm uygulamasından elde edilirken en düşük değerler 0 ppm uygulamasından elde edilmiştir. En yüksek MDA içeriği 200 ppm ugulamasından elde edilmiş, ancak 150 ppm uygulaması da istatistiksel olarak aynı grup içinde yer almıştır. En düşük MDA içeriği 0 ppm uygulamasından elde edilmiş ve 50 ppm tuz uygulaması ile arasında istatistiksel olarak fark bulunmamıştır. En yüksek prolin miktarı 150 ppm uygulamasından elde edilirken 100 ve 200 ppm tuz uygulamaları da en yüksek grupta yer almıştır. En düşük değer 0 ppm uygulamasından elde edilmiştir.

Tablo 1. Tuz Stresinin Uygulandığı BTx 623 Genotipinin Köklerine Ait SOD, CAT, APX, GR, GST, MDA ve Prolin İçerikleri

Dozlar	SOD*	CAT*	APX*	GR**	GST**	MDA**	PROLIN*
0 ppm	3.321 d	0.084 b	2.781 b	0.188 c	5.016 d	2.305 c	149.84 b
50 ppm	5.166 b	0.143 a	3.642 a	0.378 b	6.868 c	3.097 c	164.40 b
100 ppm	5.827 a	0.121 a	2.842 b	0.478 a	8.963 a	4.473 b	231.04 ab
150 ppm	3.934 c	0.129 a	2.696 b	0.398 b	7.935 b	6.641 a	306.35 a
200 ppm	3.733 c	0.082 b	2.468 b	0.198 c	6.756 c	7.123 a	263.87 ab
LSD	**0.3628**	**0.028**	**0.3745**	**0.0627**	**0.5445**	**1.8359**	**126.71**

* P≤0.05; ** P≤0.01

BTx623 sorgum genotipine tuz uygulamasının yapraklardaki SOD, CAT, APX, GR, GST, MDA ve Prolin üzerine etkisi istatistiksel olarak çok önemli (P≤0.01) bulunmuştur. En yüksek SOD aktivitesi 200 ppm uygulamasından, en düşük aktivite ise 0 ppm tuz uygulamasından elde edilmiştir. En yüksek CAT ve APX aktiviteleri 150 ppm den elde edilmiştir. En düşük CAT aktivitesi 200 ppm tuz uygulamasından elde edilirken en düşük APX aktivitesi 0 ppm uygulamasından elde edilmiştir. En yüksek GR ve GST aktiviteleri 150 ppm uygulamasından, e

düşük aktivite değerleri ise kontrol uygulamasından elde edilmiştir. Artan tuz dozu uygulamasına bağlı olarak MDA ve Prolin içerikleri artış göstermiştir (Tablo 2).

Tablo 2. Tuz Stresinin Uygulandığı BTx 623 Genotipinin Yapraklarına Ait SOD, CAT, APX, GR, GSST, MDA ve Prolin İçerikleri

Dozlar	***SOD*****	***CAT*****	***APX*****	***GR*****	***GST*****	***MDA*****	***PROLIN*****
0 ppm	3.528 d	0.0300 bc	1.504 c	0.317 d	4.646 c	4.90 c	114.7 c
50 ppm	5.175 c	0.0387 b	2.686 a	0.412 cd	7.534 b	6.641 c	160.7 c
100 ppm	5.546 bc	0.052 a	2.479 a	0.526 bc	7.581 b	7.639 bc	648.7 c
150 ppm	5.912 b	0.064 a	2.030 b	0.763 a	8.465 a	8.464 b	4489.7 b
200 ppm	6.452 a	0.025 c	1.572 a	0.566 b	7.424 b	10.701 a	7796.5 a
LSD	**0.5106**	**0.00047**	**0.3771**	**0.1408**	**0.671**	**1.9371**	**1182.2**

* P≤0.05; ** P≤0.01

Tuz stresi uygulanan BTx623 sorgum genotipinin klorofil ve karoten içeriklerine ait ortalama değerler Tablo 3 te verilmiştir. Karoten, Klorofil a, klorofil b ve toplam klorofil üzerine tuz stresinin etkisi önemli (P≤0.01) bulunmuştur. Artan tuz dozu klorofil içeriği azalmamış, karoten içeriğinde ise artışa neden olmuştur.

Tablo 3. Tuz Stresinin Uygulandığı BTx 623 Genotipine Ait Klorofil a, Klorofil b, Toplam Klorofil ve Karoten İçerikleri

Dozlar	***KLA****	***KLB****	***TKL****	***KAROTEN****
0 ppm	718.03 c	299.83 b	1017.9 c	185.09 b
50 ppm	846.80 bc	375.57 ab	1222.4 bc	230.72 ab
100 ppm	961.36 ab	421.43 a	1382.8 ab	242.32 ab
150 ppm	1101.95 a	441.82 a	1543.8 a	278.95 a
200 ppm	837.17 bc	429.23 a	1266.4 bc	247.26 ab
LSD	**180.21**	**111.71**	**263.22**	**93.664**

* P≤0.05; ** P≤0.01

ICSR sorgum genotipine tuz uygulamasının köklerdeki SOD, APX, GR, GST, MDA ve Prolin üzerine etkisi istatistiksel olarak çok önemli (P≤0.01), CAT ise önemli (P≤0.05) bulunmuştur. En yüksek SOD, CAT, APX ve GST aktiviteleri 100 ppm tuz uygulamasından elde edilmiştir. En düşük SOD, CAT GR ve GST aktivitesi 0 ppm uygulamasından, en düşük APX aktivitesi 200 ppm uygulamasından elde edilmiştir. En düşük MDA ve Prolin içerikleri 0 ppm uygulamasından, en yüksek miktarlar ise 200 ppm uygulamasından elde edilmiştir.

Tablo 4. Tuz Stresinin Uygulandığı ICSR Genotipinin Köklerine Ait SOD, CAT, APX, GR, GST, MDA ve Prolin İçerikleri

Dozlar	*SOD***	*CAT**	*APX***	*GR***	*GST***	*MDA***	*PROLIN**
0 ppm	1.618 d	0.013 b	2.593 c	0.336 d	2.888 c	4.645 e	109.57 e
50 ppm	4.030 bc	0.034 ab	3.117 b	0.573 a	5.307 ab	5.437 d	205.86 d
100 ppm	6.194 a	0.047 a	3.417 a	0.621 a	5.479 a	6.538 c	250.67 c
150 ppm	4.215 b	0.031 ab	2.614 c	0.499 b	5.360 ab	8.293 b	293.39 b
200 ppm	3.465 c	0.031 ab	2.470 c	0.420 c	4.975 b	12.421 a	424.13 a
LSD	**0.6546**	**0.0235**	**0.3**	**0.0679**	**0.4876**	**0.7043**	**28.534**

* P≤0.05; ** P≤0.01

ICSR sorgum genotipine tuz uygulamasının yapraklarındaki SOD, CAT, APX, GR, GST, MDA ve Prolin üzerine etkisi istatistiksel olarak çok önemli (P≤0.01) çıkmıştır. SOD ve GR aktiviteleri artan tuz dozu 150 ppm'e kadar artmış ve azalmıştır. CAT, APX ve GST aktiviteleri 100 ppm'e kadar artmış ve azalmıştır. MDA ve Prolin içerikleri ise tuz artışına paralel olarak artış göstermiştir.

Tablo 5. Tuz Stresinin Uygulandığı ICSR Genotipinin Yapraklarına Ait SOD, CAT, APX, GR, GST, MDA ve Prolin İçerikleri

Dozlar	*SOD***	*CAT***	*APX***	*GR***	*GST***	*MDA***	*PROLIN***
0 ppm	2.583 c	0.021 bc	2.253 c	0.234 d	3.635 c	8.052 e	401.4 c
50 ppm	4.918 ab	0.034 ab	2.495 b	0.393 c	5.463 a	10.185 d	425.2 c
100 ppm	5.262 ab	0.041 a	2.817 a	0.456 c	5.597 a	11.665 c	1637.7 b
150 ppm	6.120 a	0.026 bc	1.691 d	0.667 a	5.340 a	14.624 b	2408.3 a
200 ppm	4.198 b	0.015 c	1.374 e	0.548 b	4.946 b	26.632 a	2764.5 a
LSD	**1.4073**	**0.0133**	**0.1514**	**0.0896**	**0.3149**	**1.0376**	**480.69**

* P≤0.05; ** P≤0.01

ICSR sorgum genotipine tuz uygulamasının klorofil ve karoten içerikleri Tablo 6'da verilmiştir. Tablo 6'ya göre tuz stresinin KLA, KLB ve toplam klorofil üzerine etkisi istatistiksel olarak %5 olurken, karoten içeriğine etkisi istatistiksel olarak %1 seviyesinde olmuştur. Klorfil ve karoten içerikleri 150 ppm'e kadar artmış daha sonra ise azalma göstermiştir.

Tablo 6. Tuz Stresinin Uygulandığı ICSR Genotipine Ait Klorofil a, Klorofil b, Toplam Klorofil ve Karoten İçerikleri

Dozlar	*KLA**	*KLB**	*TKL**	*KAROTEN***
0 ppm	171.24 c	141.30 c	156.27 c	17.444 d
50 ppm	229.96 b	173.70 bc	201.83 b	31.645 cd
100 ppm	263.73 b	157.24 bc	210.49 b	79.359 b
150 ppm	341.51 a	256.49 a	299.00 a	103.144 a
200 ppm	250.30 b	201.12 b	225.71 b	35.152 c
LSD	**56.257**	**44.065**	**45.095**	**15.267**

* P≤0.05; ** P≤0.01

Tuz stresi uygulamasının Leoti çeşidinin köklerindeki SOD aktivitesi üzerine etkisi önemli (P≤0.05) olurken GR ve GST aktivitesine etkisi çok önemli (P≤0.01) olmuştur. MDA içeriğine etkisi çok önemli (P≤0.01), prolin içeriğine ise önemli (P≤0.05) olmuştur (Tablo 7). SOD ve GST aktiviteleri 100 ppm'e kadar artmış sonra azalmıştır. En yüksek CAT aktivitesi 150 ppm'den elde edilmiş, en yüksek APX ve GR aktiviteleri 50 ppm'den elde edilmiştir. MDA içeriği tuz stresine paralel olarak artarken, en yüksek prolin içeriği 150 ppm'den elde edilmiştir.

Tablo 7. Tuz Stresinin Uygulandığı Leoti Çeşidinin Köklerine Ait SOD, CAT, APX, GR, GST, MDA ve Prolin İçerikleri

Dozlar	***SOD****	***CAT***	***APX***	***GR****	***GST****	***MDA****	***PROLIN****
0 ppm	0.275 e	0.037 d	1.632 b	0.125 c	4.427 c	2.994 d	100.05 d
50 ppm	2.265 d	0.043 c	2.299 a	0.277 a	5.211 b	3.544 c	209.17 c
100 ppm	5.153 a	0.048 bc	1.815 b	0.187 b	6.079 a	5.230 b	333.92 b
150 ppm	4.280 b	0.068 a	1.581 b	0.146 bc	5.184 b	5.952 a	465.31 a
200 ppm	3.464 c	0.051 b	1.540 b	0.119 c	3.985 c	6.159 a	168.32 c
LSD	**0.389**	**0.006**	**0.3162**	**0.0504**	**0.6602**	**0.3069**	**49.478**

* P≤0.05; ** P≤0.01

Tuz stresi uygulamasının Leoti çeşidinin yapraklarına ait antioksidan enzim aktiviteleri Tablo 8'de verilmiştir. Tuz stresi uygulamasının antioksidan enzim aktivitesi ile MDA ve prolin içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak %1 seviyesinde önemli bulunmuştur. En yüksek SOD, APX, GR ve GST aktiviteleri 100 ppm'den en yüksek CAT aktivitesi 150 ppm'den elde edilmiştir. Artan tuz stresine bağlı olarak MDA ve prolin miktarında artış gözlemlenmiş, en yüksek değerleri 200 ppm'den elde edilmiştir.

Tablo 8. Tuz Stresinin Uygulandığı Leoti Çeşidinin Yapraklarına Ait SOD, CAT, APX, GR, GST, MDA ve Prolin İçerikleri

Dozlar	***SOD****	***CAT****	***APX****	***GR****	***GST****	***MDA****	***PROLIN****
0 ppm	0.964 c	0.033 c	1.326 c	0.280 c	4.516 cd	12.628 b	293.84 d
50 ppm	3.300 b	0.044 b	1.725 a	0.318 b	5.571 b	12.972 b	313.63 d
100 ppm	5.308 a	0.055 a	1.735 a	0.362 a	7.057 a	15.621 a	1170.99 c
150 ppm	4.959 a	0.057 a	1.514 b	0.296 bc	4.677 c	15.759 a	2302.09 b
200 ppm	2.571 b	0.023 d	1.188 c	0.214 b	4.197 d	16.206 a	2506.00 a
LSD	**0.7964**	**0.009**	**0.1813**	**0.0382**	**0.3818**	**0.9549**	**180.68**

* P≤0.05; ** P≤0.01

Tuz stresi uygulamalarının Leoti çeşidinin klorofil ve karoten içeriklerine etkisi önemli (P≤0.05) bulunmuştur. En yüksek klorofil ve karoten içerikleri 200 ppm uygulamasından elde edilmiştir.

Tablo 9. Tuz Stresinin Uygulandığı Leoti Çeşidine Ait Klorofil a, Klorofil b, Toplam Klorofil ve Karoten İçerikleri

Dozlar	***KLA****	***KLB****	***TKL****	***KAROTEN****
0 ppm	288.62	136.92 b	425.54 b	29.566 d
50 ppm	288.71	143.39 b	432.10 b	40.625 cd
100 ppm	306.76	190.30 a	497.06 ab	49.691 c
150 ppm	398.56	200.15 a	532.04 a	63.811 b
200 ppm	313.63	192.58 a	489.55 ab	111.250 a
LSD	**64.059**	**42.073**	**171.21**	**13.753**

* P≤0.05; ** P≤0.01

Tuz stresi uygulamalarının Macia çeşidinin köklerine ait APX, GR, GST aktivitelerine ve MDA içeriğine etkisi çok önemli (P≤0.01) çıkarken, SOD aktivitesi ile prolin içeriğine etkisi önemli (P≤0.05) çıkmıştır. En yüksek SOD aktivitesi 150 ppm'den, CAT, APX ve GR aktiviteleri 100 ppm'den, GST aktivitesi ise 200 ppm'den elde edilmiştir. En yüksek MDA ve prolin içerikleri ise 200 ppm'den elde edilmiştir.

Tablo 10. Tuz Stresinin Uygulandığı Macia Çeşidinin Köklerine Ait SOD, CAT, APX, GR, GST, MDA ve Prolin İçerikleri

Dozlar	***SOD****	***CAT****	***APX****	***GR****	***GST****	***MDA****	***PROLIN****
0 ppm	6.470 c	0.049 c	2.822 bc	0.276 b	4.118 c	3.028 d	180.84 d
50 ppm	7.155 b	0.062 b	3.462 ab	0.340 ab	6.300 b	3.578 c	240.62 c
100 ppm	7.955 a	0.117 a	3.653 a	0.389 a	7.004 ab	3.923 bc	287.52 b
150 ppm	8.264 a	0.045 cd	3.554 a	0.349 ab	6.103 b	4.267 ab	307.60 ab
200 ppm	6.254 c	0.035 d	2.378 c	0.286 b	7.652 a	4.645 a	332.45 a
LSD	**0.5408**	**0.012**	**0.6588**	**0.088**	**1.0899**	**0.403**	**31.336**

* P≤0.05; ** P≤0.01

Macia çeşidinin tuz stresi altında yapraklarına ait antioksidan enzim aktivitesi Tablo 11'de verilmiştir. Tuz stresi uygulamasının antioksidan enzim aktivitesi ile MDA ve prolin içeriğine etkisi istatistiksel olarak %1 seviyesinde önemli olmuştur. En yüksek SOD ve GR aktivitesi ile MDA ve prolin içerikleri 200 ppm'den elde edilmiştir. En yüksek CAT, APX ve GR aktiviteleri 1500 ppm'den elde edilirken en yüksek GST aktivitesi 100 ppm'den elde edilmiştir.

Tablo 11. Tuz Stresinin Uygulandığı Macia Çeşidinin Yapraklarına Ait SOD, CAT, APX, GR, GST, MDA ve Prolin İçerikleri

Dozlar	*SOD***	*CAT***	*APX***	*GR***	*GST***	*MDA***	*PROLIN***
0 ppm	7.377 d	0.013 d	1.586 d	0.399 b	5.586 c	10.598 d	157.48 e
50 ppm	8.431 cd	0.026 cd	1.816 d	0.739 a	5.780 bc	13.213 c	287.36 d
100 ppm	9.204 bc	0.044 c	2.111 c	0.766 a	6.523 a	15.381 b	740.15 c
150 ppm	10.267 b	0.156 a	2.788 a	0.766 a	6.197 ab	16.103 b	1959.25 b
200 ppm	12.418 a	0.093 b	2.500 b	0.688 a	4.469 d	18.684 a	2130.43 a
LSD	**1.5486**	**0.0235**	**0.2859**	**0.1025**	**0.4609**	**1.6074**	**77.449**

* P≤0.05; ** P≤0.01

Tuz stresi uygulamalarının Macia çeşidinin klorofil ve karoten içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak %5 seviyesinde önemli olmuştur (Tablo 12). En yüksek klorofil a, klorofil b ve toplam klorofil 150 ppm'den elde edilirken, en yüksek karoten içeriği ise 200 ppm'den elde edilmiştir.

Tablo 12. Tuz Stresinin Uygulandığı Macia Genotipine Ait Klorofil a, Klorofil b, Toplam Klorofil ve Karoten İçerikleri

Dozlar	*KLA**	*KLB**	*TKL**	*KAROTEN**
0 ppm	684.94 b	251.77 c	936.7 b	140.83 c
50 ppm	731.38 b	306.13 bc	1037.5 b	193.64 b
100 ppm	726.86 b	315.98 ab	1042.8 b	200.10 b
150 ppm	1048.94 a	403.33 a	1452.3 a	221.67 b
200 ppm	747.75 b	367.89 ab	1115.6 b	277.49 a
LSD	**208.68**	**96.079**	**230.1**	**35.096**

* P≤0.05; ** P≤0.01

Tuz stresi uygulamalarının Redbine çeşidinin köklerine ait antioksidan enzim aktivitesi ile MDA ve prolin içerikleri Tablo 13'te verilmiştir. İncelenen tüm özellikler üzerine tuzun etkisi %1 seviyesinde önemli olmuştur. En yüksek SOD, CAT, APX ve GR aktiviteleri 1500 ppm'den elde edilirken, en yüksek GST aktivitesi 100 ppm'den elde edilmiştir. En yüksek MDA içeriği 200 ppm'den, prolin içeriği ise 150 ppm'den elde edilmiştir.

Tablo 13. Tuz Stresinin Uygulandığı Redbine Çeşidinin Köklerine Ait SOD, CAT, APX, GR, GST, MDA ve Prolin İçerikleri

Dozlar	*SOD***	*CAT***	*APX***	*GR***	*GST***	*MDA***	*PROLIN**
0 ppm	0.194 e	0.016 d	0.659 d	0.189 d	4.077 d	3.819 e	197.867 d
50 ppm	0.700 d	0.023 c	1.210 c	0.209 d	5.908 b	4.301 d	385.120 b
100 ppm	1.364 c	0.044 b	1.383 b	0.385 b	6.639 a	6.262 c	481.040 a
150 ppm	1.895 a	0.054 a	2.791 a	0.756 a	4.846 c	7.914 b	486.933 a

200 ppm	1.577 b	0.028 c	1.120 c	0.284 c	4.616 c	8.396 a	312.160 c
LSD	**0.0277**	**0.0054**	**0.1315**	**0.0331**	**0.3428**	**0.3396**	**14.8**

* P≤0.05; ** P≤0.01

Redbine çeşidinin tuz stresi altında yapraklardaki enzim aktivitelerine ait değerler Tablo 14'te verilmiştir. Yapraklardaki antioksidan enzim aktiviteleri ile MDA ve prolin içeriğine tuzun etkisi çok önemli (P≤0.01) çıkmıştır. En yüksek SOD aktivitesi ve MDA içeriği 200 ppm'den, en yüksek CAT ve GST aktivteleri 100 ppm'den, en yüksek APX ve GR aktiviteleri ile prolin içeriği 150 ppm'den elde edilmiştir.

Tablo 14. Tuz Stresinin Uygulandığı Redbine Çeşidinin Yapraklarına Ait SOD, CAT, APX, GR, GST, MDA ve Prolin İçerikleri

Dozlar	***SOD*****	***CAT*****	***APX*****	***GR*****	***GST*****	***MDA*****	***PROLIN*****
0 ppm	0.201 e	0.016 c	0.870 c	0.308 d	3.543 d	11.183 d	263.227 e
50 ppm	1.316 d	0.025 b	1.099 b	0.487 c	5.314 c	16.275 c	460.373 d
100 ppm	1.989 c	0.038 a	1.234 a	0.895 b	5.937 a	21.471 b	1396.427 b
150 ppm	3.707 b	0.028 b	1.250 a	1.037 a	5.581 b	22.882 ab	1763.253 a
200 ppm	7.831 a	0.020 bc	0.611 d	0.487 c	5.110 c	24.086 a	1257.813 c
LSD	**0.0581**	**0.0082**	**0.1027**	**0.041**	**0.2411**	**2.2743**	**20.861**

* P≤0.05; ** P≤0.01

Tuz stresi uygulamasının Redbine çeşidinin klorofil ve karoten içeriklerine etkisi istatistiksel olarak %5 seviyesinde önemli olmuştur. En yüksek klorofil içerikleri ve karotein içerikler, 200 ppm'den elde edilmiştir.

Tablo 15. Tuz Stresinin Uygulandığı Redbine Genotipine Ait Klorofil a, Klorofil b, Toplam Klorofil ve Karoten İçerikleri

Dozlar	***KLA****	***KLB****	***TKL****	***KAROTEN****
0 ppm	95.394 d	72.432 e	167.826 e	15.555 e
50 ppm	99.104 d	84.906 d	184.010 d	19.858 d
100 ppm	208.899 c	142.251 c	351.151 c	40.823 c
150 ppm	309.846 b	197.427 b	507.274 b	81.000 b
200 ppm	345.317 a	234.397 a	579.714 a	125.220 a
LSD	**6.1042**	**9.7844**	**8.9414**	**4.2437**

* P≤0.05; ** P≤0.01

Rox çeşidinin köklerine ait enzim aktivitesi ile MDA v prolin içerikleri üzerine tuz stresinin etkisi istatistiksel olarak %1 seviyesinde önemli çıkmıştır (Tablo 16). En yüksek SOD ve GST

aktivitesi 150 ppm'den elde edilmiş, en yüksek CAT, APX ve GR aktiviteleri 100 ppm'den elde dilmiştir. En yüksek MDA içeriği 200 ppm'den elde edilirken, en yüksek prolin miktarı 100 ppm tuz uygulamasından elde edilmiştir.

Tablo 16. Tuz Stresinin Uygulandığı Rox Çeşidinin Köklerine Ait SOD, CAT, APX, GR, GST, MDA ve Prolin İçerikleri

Dozlar	***SOD****	***CAT****	***APX****	***GR****	***GST****	***MDA****	***PROLIN****
0 ppm	2.955 d	0.091 c	1.511 d	0.182 d	6.264 c	4.129 e	128.560 d
50 ppm	3.353 d	0.135 b	1.771 b	0.346 c	6.547 c	5.471 d	454.400 b
100 ppm	4.018 c	0.155 a	2.039 a	0.783 a	7.108 b	8.671 c	549.120 a
150 ppm	5.717 a	0.094 c	1.674 c	0.454 b	7.864 a	12.353 b	458.747 b
200 ppm	4.694 b	0.040 d	1.607 c	0.380 c	7.371 b	18.236 a	358.027 c
LSD	**0.5946**	**0.0187**	**0.0945**	**0.0373**	**0.3645**	**0.7729**	**10.536**

* P≤0.05; ** P≤0.01

Rox çeşidinin yapraklarının tuz stresi altında antioksidan enzim aktivitesine etkisi istatistiksel olarak %1 seviyesinde önemli bulunmuştur (Tablo 17). En yüksek SOD aktivitesi ile MDA ve Prolin içeriği 200 ppm'den elde edilmiştir. En yüksek CAT, APX, GR ve GST aktiviteleri ise 100 ppm'den elde edilmiştir.

Tablo 17. Tuz Stresinin Uygulandığı Rox Çeşidinin Yapraklarına Ait SOD, CAT, APX, GR, GST, MDA ve Prolin İçerikleri

Dozlar	***SOD****	***CAT****	***APX****	***GR****	***GST****	***MDA****	***PROLIN****
0 ppm	2.473 c	0.037 c	1.218 c	0.253 d	4.349 e	12.181 e	320.00 e
50 ppm	3.135 b	0.063 b	1.343 b	0.496 c	5.505 d	18.237 d	556.56 d
100 ppm	4.992 a	0.121 a	1.776 a	0.596 a	10.530 a	21.299 c	1958.45 c
150 ppm	5.181 a	0.071 b	1.140 c	0.552 b	10.022 b	30.280 b	2663.25 b
200 ppm	5.419 a	0.037 c	0.982 d	0.477 c	6.829 c	33.308 a	4131.69 a
LSD	**0.4359**	**0.0117**	**0.1066**	**0.04**	**0.4412**	**0.5332**	**205.76**

* P≤0.05; ** P≤0.01

Tuz stresinin Rox çeşidinin klorofil içerikleri ile karoten içeriğine etkisi istatistiksel olarak %5 seviyesinde önemli çıkmıştır (Tablo 18). En yüksek klorofil içerikleri 150 ppm tuz uygulamasından elde edilirken en yüksek karoten içeriği 200 ppm tuz uygulamasından elde edilmiştir.

Tablo 18. Tuz Stresinin Uygulandığı Rox Çeşidine Ait Klorofil a, Klorofil b, Toplam Klorofil ve Karoten İçerikleri

Dozlar	*KLA**	*KLB**	*TKL**	*KAROTEN*
0 ppm	187.240 e	148.889 d	336.13 d	7.729 e
50 ppm	210.816 d	191.158 c	401.97 c	16.037 d
100 ppm	332.581 c	220.625 b	553.21 b	52.865 c
150 ppm	420.040 a	269.971 a	690.01 a	76.781 b
200 ppm	401.125 b	271.280 a	672.41 a	93.074 a
LSD	**16.141**	**11.5**	**22.858**	**6.7576**

* P≤0.05; ** P≤0.01

Suberano çeşidinin tuz stresi altındaki antioksidan enzim aktivitesine ait değerler Tablo 19'da verilmiştir. Tuz stresnin protlin miktarı üzerine etkisi %5 seviyesinde olurken CAT, APX, GR, GST ve MDA üzerine etkisi %1 seviyesinde olmuştur.

Tablo 19. Tuz Stresinin Uygulandığı Suberano Çeşidinin Köklerine Ait SOD, CAT, APX, GR, GST, MDA ve Prolin İçerikleri

Dozlar	*SOD*	*CAT**	*APX**	*GR**	*GST**	*MDA**	*PROLIN**
0 ppm	1.856	0.026 d	0.920 d	0.269 c	4.951 c	3.406 d	77.053 d
50 ppm	1.741	0.041 c	2.838 b	0.360 b	6.875 a	4.645 c	114.846 c
100 ppm	2.701	0.060 b	3.504 a	0.470 a	7.162 a	5.230 b	145.413 b
150 ppm	1.329	0.070 a	2.622 b	0.370 b	6.152 b	5.299 ab	203.349 a
200 ppm	0.888	0.062 ab	1.946 c	0.338 b	5.972 b	5.402 a	207.533 a
LSD	**2.7791**	**0.092**	**0.4046**	**0.0542**	**0.3078**	**0.1187**	**16.07**

* P≤0.05; ** P≤0.01

Suberano çeşidinin yapraklarındaki antioksidan enzim aktivitesi üzerine tuz stresinin etkisi istatistiksel olarak %1 seviyesinde önemli olmuştur (Tablo 10). En yüksek SOD, CAT ve GR aktiviteleri 150 ppm'den elde edilirken, en yüksek APX ve GST aktiviteleri 100 ppm'den elde edilmiştir. En yüksek MDA ve Prolin içerikleri 200 ppm tuz uygulamasından elde edilmiştir.

Tablo 20. Tuz Stresinin Uygulandığı Suberano Çeşidinin Yapraklarına Ait SOD, CAT, APX, GR, GST, MDA ve Prolin İçerikleri

Dozlar	*SOD**	*CAT**	*APX**	*GR**	*GST**	*MDA**	*PROLIN**
0 ppm	2.817 ab	0.021 c	2.290 c	0.640 c	4.808 d	9.910 d	94.99 e
50 ppm	2.931 ab	0.038 b	2.622 b	0.858 b	5.377 bc	13.213 c	167.58 d
100 ppm	1.994 b	0.046 a	3.295 a	0.934 b	6.049 a	14.830 b	340.97 c
150 ppm	5.656 a	0.048 a	2.284 c	1.101 a	5.776 ab	15.209 b	3038.25 b
200 ppm	4.001 ab	0.036 b	1.781 d	0.551 c	5.357 c	19.888 a	3637.75 a
LSD	**3.1492**	**0.0067**	**0.2583**	**0.1326**	**0.4118**	**1.3142**	**56.093**

* P≤0.05; ** P≤0.01

Tuz stresi uygulamasının klorofil a üzerine etkisi olmazken klorofil b, toplam klorofil ve karoten üzerine etkisi önemli (P≤0.05) olmuştur (Tablo 21). En yüksek klorofil içerikleri ile karoten içeriği 150 ppm tuz uygulamasından elde edilmiştir.

Tablo 21. Tuz Stresinin Uygulandığı Suberano Genotipine Ait Klorofil a, Klorofil b, Toplam Klorofil ve Karoten İçerikleri

Dozlar	***KLA***	***KLB****	***TKL****	***KAROTEN****
0 ppm	733.6	317.40 ab	1051.0 a	98.14 c
50 ppm	680.5	300.30 b	980.8 a	97.15 c
100 ppm	874.0	371.21 ab	1245.2 a	145.65 bc
150 ppm	1102.3	486.10 a	1570.4 a	237.29 a
200 ppm	874.7	410.36 ab	1285.0 a	221.26 ab
LSD	**455.18**	**157.76**	**608.67**	**88.767**

* P≤0.05; ** P≤0.01

Tuz stresi uygulamasının SC 333 çeşidinin köklerindeki antioksidan enzim aktivitesi üzerine etkisi istatistiksel olarak %1 seviyesinde önemli bulunmuştur (Tablo 22). En yüksek SOD aktivitesi 150 ppm'den, en yüksek CAT, APX, GR, GST ve prolin aktivitesi ise 100 ppm tuz uygulamasından elde edilmiştir.

Tablo 22. Tuz Stresinin Uygulandığı SC 333 Çeşidinin Köklerine Ait SOD, CAT, APX, GR, GST, MDA ve Prolin İçerikleri

Dozlar	***SOD****	***CAT****	***APX****	***GR****	***GST****	***MDA****	***PROLIN****
0 ppm	0.207 e	0.033 d	1.625 c	0.147 d	7.392 c	3.166 d	92.053 d
50 ppm	0.556 d	0.067 b	2.609 a	0.308 c	7.859 b	3.716 c	111.600 d
100 ppm	3.421 d	0.084 a	2.770 a	0.504 a	8.644 a	5.540 b	273.813 a
150 ppm	4.209 a	0.062 bc	2.228 b	0.403 b	7.819 b	5.884 b	201.387 b
200 ppm	2.083 c	0.052 c	1.850 c	0.231 c	7.045 d	13.763 a	153.520 c
LSD	**0.2595**	**0.0108**	**0.345**	**0.0789**	**0.2679**	**0.5243**	**21.827**

* P≤0.05; ** P≤0.01

Tuz stresinin SC 333 çeşidinin yapraklarının antioksidan enzim aktivitesi üzerine etkisi çok önemli (P≤0.01) seviyede bulunmuştur (Tablo 23). En yüksek SOD aktivitesi 150 ppm'den, en yüksek CAT aktivitesi 100 ppm'den, en yüksek APX ektivitesi yine 100 ppm'den, en yüksek GR aktivitesi 150 ppm'den, en yüksek GST aktivitesi 100 ppm'den, en yüksek MDA içeriği 200 ppm'den ve en yüksek prolin miktarı 150 ppm tuz uygulamasından elde edilmiştir.

Tablo 23. Tuz Stresinin Uygulandığı SC 333 Çeşidinin Yapraklarına Ait SOD, CAT, APX, GR, GST, MDA ve Prolin İçerikleri

Dozlar	*SOD***	*CAT***	*APX***	*GR***	*GST***	*MDA***	*PROLIN***
0 ppm	0.387 e	0.026 c	2.278 b	0.468 d	7.167 b	4.301 d	126.72 c
50 ppm	2.317 d	0.059 a	2.473 b	0.570 c	8.198 a	4.335 d	146.45 c
100 ppm	2.863 c	0.068 a	3.877 a	0.737 b	8.433 a	5.781 c	548.08 b
150 ppm	4.891 a	0.052 ab	2.164 b	0.846 a	5.909 c	7.226 b	946.29 a
200 ppm	3.732 b	0.040 bc	1.740 c	0.637 c	5.488 c	23.157 a	504.05 b
LSD	**0.4043**	**0.0173**	**0.3597**	**0.0863**	**0.4961**	**0.5677**	**93.35**

* P≤0.05; ** P≤0.01

SC 333 çeşidinde tuz stresinin klorofil içeriğine etkisi %1 seviyesinde olurken karoten içeriğine %5 seviyesinde olmuştur (Tablo 24). En yüksek klorofil a kontrol uygulamasından, en yüksek klorofil b 100 ppm tuz uygulamasından, en yüksek toplam klorofil içeriği kontrol uygulamasından, en yüksek karoten içeriği ise 100 ppm tuz uygulamasından elde edilmiştir.

Tablo 24. Tuz Stresinin Uygulandığı SC 333 Genotipine Ait Klorofil a, Klorofil b, Toplam Klorofil ve Karoten İçerikleri

Dozlar	*KLA***	*KLB***	*TKL***	*KAROTEN**
0 ppm	1181.23 a	490.80 a	1672.03 a	280.88 c
50 ppm	1119.97 ab	506.86 a	1626.83 a	304.68 bc
100 ppm	1002.25 b	539.10 a	1541.35 ab	335.43 a
150 ppm	710.38 c	432.73 b	1143.10 c	333.37 ab
200 ppm	956.96 b	414.81 b	1371.77 b	321.69 ab
LSD	**165.2**	**51.723**	**175.03**	**29.318**

* P≤0.05; ** P≤0.01

Sugar grazer çeşidinin tuz stresi altında köklerindeki antioksidan enzim aktivitesindeki değişimler Tablo 25'te verilmiştir. Tuz stresinin antioksidan enzim aktivitesi ile MDA ve prolin miktarına etkisi istatistiksel olarak çok önemli (P≤0.01) çıkmıştır. En yüksek SOD ve CAT aktivitesi ile ptolin içeriği 150 ppm tuz uygulamasından elde edilirken, en yüksek APX, GR ve GST aktiviteleri 100 ppm tuz uygulamadan elde edilmiştir. En yüksek MDA içeriği ise 200 ppm tuz uygulamasından elde edilmiştir.

Tablo 25. Tuz Stresinin Uygulandığı Sugar Grazer Çeşidinin Köklerine Ait SOD, CAT, APX, GR, GST, MDA ve Prolin İçerikleri

Dozlar	*SOD***	*CAT***	*APX*	*GR***	*GST***	*MDA***	*PROLIN**
0 ppm	4.2760 c	0.011 d	2.244 ab	0.427 bc	5.485 bc	3.578 b	84.19 d

50 ppm	4.8243 bc	0.019 cd	2.287 ab	0.502 b	5.618 b	4.095 ab	115.79 c
100 ppm	7.6750 a	0.039 ab	2.503 a	0.623 a	6.288 a	4.335 a	131.81 c
150 ppm	7.4487 a	0.050 a	1.993 bc	0.378 c	5.613 b	4.473 a	295.79 a
200 ppm	5.9067 b	0.033 bc	1.598 c	0.366 c	5.366 c	4.714 a	230.61 b
LSD	**1.3685**	**0.0153**	**0.4562**	**0.077**	**0.2308**	**0.7239**	**28.271**

* P≤0.05; ** P≤0.01

Tuz stresinin Sugar grazer çeşidinin yapraklarındaki antioksidan enzim aktivitesi üzerine etkisi istatiksel olarak %1 seviyesinde önemli çıkmıştır (Tablo 26). En yüksek SOD aktivitesi 200 ppm'den, en yüksek CAT APX ve GST aktivitesi 100 ppm'den ve en yüksek GR aktivitesi ise 150 ppm tuz uygulamasından elde edilmiştir. En yüksek MDA ve prolin miktarları ise 200 ppm tuz uygulamasından elde edilmiştir.

Tablo 26. Tuz Stresinin Uygulandığı Sugar Grazer Çeşidinin Yapraklarına Ait SOD, CAT, APX, GR, GST, MDA ve Prolin İçerikleri

Dozlar	***SOD*****	***CAT*****	***APX*****	***GR*****	***GST*****	***MDA*****	***PROLIN*****
0 ppm	4.560 c	0.019 b	0.938 c	0.351 d	5.139 a	2.615 c	100.76 e
50 ppm	6.592 b	0.028 ab	1.545 b	0.494 c	5.277 a	4.439 b	176.72 d
100 ppm	7.857 b	0.035 a	1.991 a	0.684 b	5.523 a	4.542 b	442.82 c
150 ppm	9.450 a	0.022 b	1.303 b	0.811 a	5.106 ab	5.058 b	1577.29 b
200 ppm	10.196 a	0.019 b	0.775 c	0.503 c	4.352 b	6.366 a	1665.07 a
LSD	**1.488**	**0.0112**	**0.3041**	**0.1102**	**0.7584**	**1.1166**	**68.446**

* P≤0.05; ** P≤0.01

Tuz dozları uygulamasının Sugar grazer çeşidinin klorofil ve karoten miktarına etkisi istatistiksel olarak %5 seviyesinde önemli bulunmuştur (Tablo 27). En yüksek klorofil içerikleri 50 ppm tuz uygulamasından elde edilirken, en yüksek karoten miktarı 100 ppm tuz uygulamasından elde edilmiştir.

Tablo 27. Tuz Stresinin Uygulandığı Sugar Grazer Genotipine Ait Klorofil a, Klorofil b, Toplam Klorofil ve Karoten İçerikleri

Dozlar	***KLA****	***KLB****	***TKL****	***KAROTEN****
0 ppm	624.7 ab	257.82 b	882.5 ab	124.83 b
50 ppm	859.0 a	426.80 a	1285.8 a	159.61 ab
100 ppm	669.9 ab	284.35 b	954.2 ab	208.84 a
150 ppm	618.7 ab	278.82 b	897.5 ab	150.73 ab
200 ppm	393.6 b	232.67 b	626.2 b	123.58 b
LSD	**357.01**	**100.65**	**451.28**	**70.909**

* P≤0.05; ** P≤0.01

Tuz stresi uygulamalarının sorgum Sureno çeşidinin köklerine ait antioksidan enzim aktivitesi üzerine etkisi istatistiksel olarak %1 seviyesinden olmuştur (Tablo 28). En yüksek SOD, APX ve GST aktiviteleri 150 ppm'den, CAT ve GR aktiviteleri 100 ppm tuz uygulamasından elde edilmiştir. En yüksek MDA miktarı 200 ppm'den elde edilirken en yüksek prolin miktarı 100 ppm tuz uygulamasından elde edilmiştir.

Tablo 28. Tuz Stresinin Uygulandığı Sureno Çeşidinin Köklerine Ait SOD, CAT, APX, GR, GST, MDA ve Prolin İçerikleri

Dozlar	***SOD*****	***CAT*****	***APX*****	***GR*****	***GST*****	***MDA*****	***PROLIN*****
0 ppm	1.009 c	0.071 c	2.801 cd	0.304 b	3.667 c	8.318 c	119.693 d
50 ppm	2.559 b	0.086 b	3.147 c	0.411 a	4.814 b	13.179 b	165.543 c
100 ppm	6.277 a	0.113 a	3.848 b	0.427 a	5.554 a	14.108 b	238.715 a
150 ppm	6.606 a	0.059 d	4.402 a	0.2255 c	5.646 a	14.417 b	192.267 b
200 ppm	3.336 b	0.047 e	2.501 d	0.151 d	5.346 ab	16.447 a	98.613 e
LSD	**1.0689**	**0.0088**	**0.5038**	**0.0245**	**0.5708**	**1.3783**	**13.192**

* P≤0.05; ** P≤0.01

Tuz stresi uygulamalarının sorgum Sureno çeşidinin yapraklarına ait antioksidan enzim aktivitesi üzerine etkisi istatistiksel olarak %1 seviyesinden olmuştur (Tablo 29). En yüksek SOD, APX ve GST aktiviteleri prolin miktarı 150 ppm tuz uygulamasından, en yüksek CAT ve GR aktiviteleri 100 ppm tuz uygulamasından, en yüksek MDA içeriği ise 200 ppm tuz uygulamasından elde edilmiştir.

Tablo 29. Tuz Stresinin Uygulandığı Sureno Çeşidinin Yapraklarına Ait SOD, CAT, APX, GR, GST, MDA ve Prolin İçerikleri

Dozlar	***SOD*****	***CAT*****	***APX*****	***GR*****	***GST*****	***MDA*****	***PROLIN*****
0 ppm	0.919 c	0.032 c	1.948 c	0.491 c	3.272 b	13.833 d	243.8 c
50 ppm	5.204 a	0.045 b	2.186 c	1.175 a	4.866 a	17.032 cd	269.0 c
100 ppm	5.756 a	0.104 a	3.695 b	1.208 a	5.510 a	19.716 bc	2635.2 a
150 ppm	6.077 a	0.047 b	4.439 a	0.900 b	5.537 a	21.505 b	2517.2 a
200 ppm	2.856 b	0.036 bc	2.042 c	0.835 b	5.323 a	33.239 a	2095.4 b
LSD	**0.9091**	**0.013**	**0.4675**	**0.1412**	**0.7822**	**4.0149**	**223.37**

* P≤0.05; ** P≤0.01

Tuz stresinin Sureno çeşidinin klorofil içerikleri ile karoten miktarına etkisi istatistiksel olarak %5 seviyesinde önemli bulunmuştur. En yüksek klorofil içerikleri 1500 ppm tuz

uygulamasından elde edilmiş, en yüksek karoten miktarı yine 150 ppm tuz uygulamasından elde edilmiştir.

Tablo 30. Tuz Stresinin Uygulandığı Sureno Genotipine Ait Klorofil a, Klorofil b, Toplam Klorofil ve Karoten İçerikleri

Dozlar	***KLA****	***KLB****	***TKL****	***KAROTEN****
0 ppm	771.2 ab	332.9 ab	1104.2 ab	170.38 c
50 ppm	888.8 a	392.6 ab	1281.4 ab	205.60 c
100 ppm	981.3 a	598.5 a	1579.8 a	268.95 b
150 ppm	952.4 a	492.7 ab	1445.1 a	333.25 a
200 ppm	418.0 b	162.4 b	580.4 b	95.39 d
LSD	**396.2**	**354.99**	**702.17**	**44.757**

* P≤0.05; ** P≤0.01

Tuz stresi uygulamalarının sorgum Acme brom corn çeşidinin yapraklarına ait antioksidan enzim aktivitesinde SOD aktivitesi dışında diğer enzim aktivitesi üzerine etkisi istatistiksel olarak %1 seviyesinden olmuştur (Tablo 31). En yüksek CAT ve APX aktiviteleri ile MDA içeriği 100 ppm tuz uygulamasından, en yüksek GR aktivitesi ve prolin içeriği150 ppm'den elde edilirken, en yüksek GST aktivitesi 200 ppm tuz uygulamasından elde edilmiştir.

Tablo 31. Tuz Stresinin Uygulandığı Acme Brom Corn Çeşidinin Köklerine Ait SOD, CAT, APX, GR, GST, MDA ve Prolin İçerikleri

Uygulama	***SOD***	***CAT****	***APX****	***GR****	***GST****	***MDA****	***PROLIN****
Kontrol	6.318	0.104 b	0.208 b	0.031 b	1.451 d	2.012 c	127.91 b
50 ppm	6.301	0.107 ab	0.261 a	0.036 b	1.591 c	2.639 b	171.62 b
100 ppm	5.676	0.118 a	0.278 a	0.037 b	1.764 b	3.083 a	154.95 b
150 ppm	5.572	0.106 ab	0.264 a	0.059 a	1.702 bc	2.646 b	230.69 a
200 ppm	5.417	0.087 c	0.265 a	0.042 b	2.119 a	1.674 d	136.49 b
LSD	**0.914**	**0.014**	**0.035**	**0.016**	**0.120**	**0.225**	**46.513**

* P≤0.05; ** P≤0.01

Acme brom corn çeşidinin yapraklarının tuz stresi altındaki enzim aktiviteleri Tablo 32'de verilmiştir. Yapraklara ait enzim Aktivitelerinden SOD aktivitesi istatistiksel olarak %5 seviyesinde önemli olurken diğer enzim aktiviteleri ile MDA ve prolin içeriği istatistiksel olarak %1 seviyesinde önemli olmuştur. SOD ve GST aktiviteleri artan tuz dozuna ters olarak azalma göstermiştir. En yüksek CAT, APX veGR aktiviteleri 100 ppm tuz uygulamasından elde edilmiştir. En yüksek MDA ve prolin içerikleri ise 200 ppm tuz uygulamasından elde edilmiştir.

Tablo 32. Tuz Stresinin Uygulandığı Acme Brom Corn Çeşidinin Yapraklarına Ait SOD, CAT, APX, GR, GST, MDA ve Prolin İçerikleri

Uygulama	*SOD**	*CAT***	*APX***	*GR***	*GST***	*MDA***	*PROLIN***
Kontrol	6.019 a	0.102a	0.174 b	0.072 b	1.522 a	4.341 f	174.72 d
50 ppm	5.627 ab	0.104 a	0.201 ab	0.051 b	1.441 ab	5.598 d	228.02 d
100 ppm	5.608 ab	0.109 a	0.224 a	0.138 a	1.332 b	10.400 b	1494.61 c
150 ppm	4.599 bc	0.080 b	0.115 c	0.111 a	1.322 b	9.190 c	4632.23 b
200 ppm	4.260 c	0.074 b	0.088 c	0.121 a	1.063 c	12.729 a	5804.09 a
LSD	**1.168**	**0.007**	**0.035**	**0.036**	**0.185**	**1.034**	**664.220**

* P≤0.05; ** P≤0.01

Acme brom corn sorgum çeşidinin klorofil ve karoten miktarları Tablo 33'te verilmiştir. Tuz stresinin klorofil ve karoten içeriğine etkisi istatistiksel olarak %5 seviyesinde önemli bulunmuştur. En yüksek klorofil ve karoten içerikleri 50 ppm tuz uygulamasından elde dilmiştir.

Tablo 33. Tuz Stresinin Uygulandığı Acme Brom Corn Genotipine Ait Klorofil a, Klorofil b, Toplam Klorofil ve Karoten İçerikleri

Dozlar	*KLA**	*KLB**	*TKL**	*KAROTEN**
Kontrol	702.93	334.08	1037.00	87.06
50 ppm	983.21	465.34	1448.56	140.88
100 ppm	913.00	429.37	1342.38	113.73
150 ppm	672.00	323.14	995.14	149.26
200 ppm	556.09	294.18	850.27	138.30
LSD				

* P≤0.05; ** P≤0.01

Tuz stresi uygulamasının Akdarı sorgum çeşidinin köklerindeki enzim aktivitesine ait ortalama değerler Tablo 34'te verilmiştir. Tablo 34'e göre SOD ve GR aktivitesi istatistiksel olarak %5 seviyesinde CAT, APX ve GST aktiviteleri ile MDA ve prolin içeriği %1 seviyesinde önemli çıkmıştır. En yüksek CAT ve GR aktivitesi ile MDA ve prolin içerikleri 150 ppm tuz uygulamasından elde edilmiştir. En yüksek APX, GR ve GST aktiviteleri ise 100 pp'den elde edilmiştir.

Tablo 34. Tuz Stresinin Uygulandığı Akdarı Çeşidinin Köklerine Ait SOD, CAT, APX, GR, GST, MDA ve Prolin İçerikleri

Uygulama	*SOD**	*CAT***	*APX***	*GR**	*GST***	*MDA***	*PROLIN***
Kontrol	4.337	0.042 d	0.269 c	0.023 ab	0.867 b	1.308 c	97.653 c
50 ppm	4.916	0.072 c	0.329 b	0.017 b	0.917 ab	1.720 b	100.400 c
100 ppm	5.041	0.111 ab	0.378 a	0.028 a	1.035 a	2.908 a	180.480 b
150 ppm	4.998	0.121 a	0.352 ab	0.025 a	0.843 b	2.942 a	216.987 a
200 ppm	4.790	0.105 b	0.286 c	0.019 b	0.665 c	1.548 bc	112.693 c

LSD	**0.927**	**0.015**	**0.028**	**0.006**	**0.125**	**0.269**	**15.775**

* P≤0.05; ** P≤0.01

Akdarı çeşidinin tuz stresi altındaki yapraklarının enzim aktivitesine ait ortalama değerler Tablo 35'te verilmiştir. Tablo 35 incelendiğinde SOD ve GR aktiviteleri %5 seviyesinde diğer enzim aktiviteleri ise %1 seviyesinde önemli çıkmıştır. En yüksek CAT aktivitesi ile MDA içeriği 150 tuz uygulamasından elde edilmiştir. En yüksek SOD ve APX aktiviteleri kontrol uygulamasından, en yüksek GR ve GST aktiviteleri ise 100 ppm'den elde edilmiştir. En yüksek prolin içeriği 200 ppm tuz uygulamasından elde edilmiştir.

Tablo 35. Tuz Stresinin Uygulandığı Akdarı Çeşidinin Yapraklarına Ait SOD, CAT, APX, GR, GST, MDA ve Prolin İçerikleri

Uygulama	***SOD****	***CAT***	***APX***	***GR****	***GST***	***MDA***	***PROLIN***
Kontrol	3.827 a	0.047 d	0.245 a	0.064 b	0.627 c	3.871 e	74.853 c
50 ppm	4.024 a	0.076 c	0.169 c	0.068 b	0.666 b	5.265 d	685.227 c
100 ppm	4.175 a	0.090 b	0.222 b	0.094 a	0.803 a	6.383 c	1190.293 c
150 ppm	3.805 a	0.108 a	0.119 d	0.076 b	0.566 d	10.735 a	4742.053 b
200 ppm	2.661 b	0.072 c	0.072 e	0.068 b	0.368 e	8.361 b	9218.320 a
LSD	**0.9716**	**0.014**	**0.020**	**0.018**	**0.026**	**0.991**	**1164.7**

* P≤0.05; ** P≤0.01

Akdarı çeşidinin klorofil ve karoten içerikleri Tablo 36'da verilmiştir. Tuzun Akdarı çeşidinin klorofil ve karoten içeriğine etkisi istatistiksel olarak %5 seviyesinde önemli bulunmuştur. En yüksek klorofil a 100 ppm tuz uygulamasından, klorofil b 50 ppm tuz uygulamasından toplam klorofil içeriği 50 ppm tuz uygulamasında ve en yüksek karoten içeriği ise 150 ppm tuz uygulamasından elde edilmiştir.

Tablo 36. Tuz Stresinin Uygulandığı Akdarı Genotipine Ait Klorofil a, Klorofil b, Toplam Klorofil ve Karoten İçerikleri

Dozlar	***KLA****	***KLB****	***TKL****	***KAROTEN****
Kontrol	606.62	163.57	770.19	174.79
50 ppm	947.93	699.97	1647.90	263.45
100 ppm	1040.67	395.40	1010.23	278.34
150 ppm	990.28	373.60	1363.88	379.57
200 ppm	849.75	379.63	1229.38	374.03
LSD				

* P≤0.05; ** P≤0.01

Dorado çeşidinin tuz stresi altında köklerindeki antioksidan enzim aktivitelerine ait ortalama değerler Tablo 37'de verilmiştir. Tuz stresinin SOD aktivitesine etkisi %5 seviyesinde önemli olurken CAT, APX, GR ve GST aktiviteleri ile MDA ve prolin içeriklerine etkisi %1 seviyesinde olmuştur. En yüksek SOD aktivitesi 50 ppm'den, en yüksek CAT, APX, GT ve GST aktiviteleri 100 ppm'den elde edilmiştir. En yüksek prolin ve MDA miktarları ise 150 ppm tuz uygulamasından elde edilmiştir.

Tablo 37. Tuz Stresinin Uygulandığı Dorado Çeşidinin Köklerine Ait SOD, CAT, APX, GR, GST, MDA ve Prolin İçerikleri

Uygulama	*SOD**	*CAT***	*APX***	*GR***	*GST***	*MDA***	*PROLIN***
Kontrol	6.655 ab	0.078 c	0.438 c	0.038 c	1.580 b	2.512 e	68.560 d
50 ppm	7.108 a	0.132 b	0.600 b	0.047 b	1.739 ab	6.194 b	81.029 d
100 ppm	5.897 bc	0.182 a	0.871 a	0.060 a	1.950 a	5.041 c	279.493 b
150 ppm	5.446 c	0.129 b	0.443 c	0.060 a	1.121 c	8.912a	381.707 a
200 ppm	5.190 c	0.118 b	0.294 d	0.024 d	0.969 c	3.578 d	115.387 c
LSD	**1.096**	**0.014**	**0.012**	**0.007**	**0.248**	**0.457**	**20.432**

* P≤0.05; ** P≤0.01

Tuz stresinin Dorado çeşidinin yapraklarına ait anti oksidan enzim aktiviteleri değerleri Tablo 38'de verilmiştir. Tuz stresinin antioksidan enzim aktiviteleri ile prolin ve MDA içeriklerine etkisi %1 seviyesinde önemli olmuştur. Artan tuz dozu le SOD aktivitesinde azalma olmuş, en yüksek CAT aktivtesi 50 ppm'den, en yüksek APX, GR ve GST aktiviteleri ise 100 ppm tuz uygulamasından elde edilmiştir. En yüksek MDA içeriği 200 ppm tuz uygulamasından elde edilirken, en yüksek prolin miktarı ise 150 ppm uygulamasından elde edilmiştir.

Tablo 38. Tuz Stresinin Uygulandığı Dorado Çeşidinin Yapraklarına Ait SOD, CAT, APX, GR, GST, MDA ve Prolin İçerikleri

Uygulama	*SOD***	*CAT**	*APX***	*GR***	*GST***	*MDA***	*PROLIN***
Kontrol	6.572 a	0.106 bc	0.283 c	0.053 e	0.777 a	6.882 c	484.987 d
50 ppm	6.571 a	0.124 a	0.341 b	0.071 d	1.055 b	9.944 b	2101.733 c
100 ppm	5.562 ab	0.112 ab	2.754 a	0.148 a	1.175 a	9.187 b	2011.413 c
150 ppm	4.804 bc	0.096 c	0.245 d	0.113 b	0.960 c	12.662 a	4764.587 a
200 ppm	4.504 c	0.103 bc	0.183 e	0.094 c	1.012 bc	13.385 a	3882.987 b
LSD	**1.022**	**0.0160**	**0.0312**	**0.0125**	**0.090**	**1.179**	**295.000**

* P≤0.05; ** P≤0.01

Tuz stresinin Dorada çeşidinin klorofil ve karoten içeriğine etkisi istatistiksel olarak %5 seviyesinde olmuştur. En yüksek klorofil içerikleri yönünden en yüksek değerler 150 ppm'den elde edilirken, en yüksek karoten içeriği 200 ppm tuz uygulamasından elde edilmiştir.

Tablo 39. Tuz Stresinin Uygulandığı Dorado Genotipine Ait Klorofil a, Klorofil b, Toplam Klorofil ve Karoten İçerikleri

Dozlar	***KLA****	***KLB****	***TKL****	***KAROTEN****
Kontrol	174.98	141.07	316.05	11.76
50 ppm	248.75	167.35	416.10	33.43
100 ppm	268.50	165.23	433.72	43.25
150 ppm	271.70	183.42	455.12	57.83
200 ppm	248.44	212.63	461.07	75.51
LSD				

* P≤0.05; ** P≤0.01

Tuz stresinin Öğretmenoğlu çeşidinin köklerine ait enzim aktiviteleri Tablo 40'ta verilmiştir. Tuz stresinin SOD aktvitesi dışındaki incelenen diğer enzim aktivitelerine atkisi istatistiksel olarak %1 seviyesinde önemli olmuştur. En yüksek CAT ve GR aktivteleri 100 ppm tuz uygulamasından, en yüksek APX aktivitesi ve MDA miktarı 150 ppm tuz uygulamasından, en yüksek GST aktivitesi 50 ppm tuz uygulamasından, en yüksek prolin içeriği ise 200 ppm tuz uygulamasından elde edilmiştir.

Tablo 40. Tuz Stresinin Uygulandığı Öğretmenoğlu Çeşidinin Köklerine Ait SOD, CAT, APX, GR, GST, MDA ve Prolin İçerikleri

Uygulama	***SOD***	***CAT****	***APX****	***GR****	***GST****	***MDA****	***PROLIN****
Kontrol	5.782	0.096 b	0.238 b	0.016 d	1.283 bc	2.276 c	86.385 e
50 ppm	7.012	0.134 a	0.292 ab	0.023 cd	2.321 a	3.007 a	105.290 d
100 ppm	6.415	0.138 a	0.335 a	0.034 a	1.533 b	2.641 b	157.640 c
150 ppm	6.053	0.098 b	0.340 a	0.032 ab	0.949 c	3.252 a	226.599 b
200 ppm	5.916	0.092 b	0.275 b	0.026 bc	1.166 bc	1.631 d	258.423 a
LSD	**2.056**	**0.024**	**0.055**	**0.008**	**0.481**	**0.229**	**12.792**

* P≤0.05; ** P≤0.01

Tuz stresi uygulamasının Öğretmenoğlu çeşidinin SOD aktivitesine etkisi önemsiz çıkmış, GR aktivitesine etkisi %5 seviyesinde olmuş, CAT, APX, GST aktivitesi ile MDA ve prlin miktarlarına etkisi %1 seviyesinde olmuştur (Tablo 41). En yüksek CAT ve APX aktivitesi 100 ppm'den, en yüksek GR aktivitesi 200 ppm'den, en yüksek GST aktivitesi ise 50 ppm tuz uygulamasından elde edilmiştir. En yüksek MDA miktarı 200 ppm'den elde edilirken, en yüksek prolin miktarı ise 150 ppm tuz uygulamasından elde edilmiştir.

Tablo 41. Tuz Stresinin Uygulandığı Öğretmenoğlu Çeşidinin Yapraklarına Ait SOD, CAT, APX, GR, GST, MDA ve Prolin İçerikleri

Uygulama	*SOD*	*CAT***	*APX***	*GR**	*GST***	*MDA***	*PROLIN***
Kontrol	5.139	0.088 bc	0.166 bc	0.066 a	0.737 c	3.976 c	139.822 c
50 ppm	5.196	0.091 ab	0.200 ab	0.057 a	1.150 a	4.477 c	274.997 c
100 ppm	5.079	0.097 a	0.231 a	0.052 ab	0.927 b	7.239 b	783.599 b
150 ppm	4.498	0.084 c	0.147 cd	0.037 b	0.655 c	7.783 b	3603.467 a
200 ppm	4.362	0.083 c	0.112 d	0.064 a	0.750 c	10.068 a	3557.322 a
LSD	**0.864**	**0.007**	**0.036**	**0.019**	**0.110**	**1.177**	**231.050**

* P≤0.05; ** P≤0.01

Tuz stresinin Öğretmenoğlu çeşidinin klorofil ve karoten içeriği üzerine etkisi %5 seviyesinde önemli çıkmıştır (Tablo 42). En yüksek klorofil a 50 ppm tuz uygulamasından, en yüksek klorofil b kontrol parselinden, en yüksek toplan klorofil yine kontrol parselinden elde edilirken, en yüksek karoten miktarı 100 ppm tuz uygulamasından elde edimiştir.

Tablo 42. Tuz Stresinin Uygulandığı Öğretmenoğlu Genotipine Ait Klorofil a, Klorofil b, Toplam Klorofil ve Karoten İçerikleri

Dozlar	*KLA**	*KLB**	*TKL**	*KAROTEN**
Kontrol	809.90	582.30	1392.20	127.39
50 ppm	963.02	417.75	1380.77	202.54
100 ppm	954.04	348.77	1302.81	229.40
150 ppm	790.31	394.97	1185.28	207.81
200 ppm	723.94	423.69	1147.62	248.25
LSD				

* P≤0.05; ** P≤0.01

SC 906 çeşidinin tuz stresi altındaki köklerine ait antioksidan enzim aktivitesi ile eMDA ve prolin içerikleri Tablo 43'te verilmiştir. İncelenen özelliklerde SOD aktivitesi dışındaki diğer özellikler üzerine tuzun etkisi çok önemli (P≤0.01) çıkmıştır. En yüksek CAT ve APX aktiviteleri 100 ppm'den, en yüksek GR aktivitesi ile MDA ve prolin miktarı 200 ppm'den, en yüksek GST aktivitesi ise 150 ppm tuz uygulamasından elde edilmiştir.

Tablo 43. Tuz Stresinin Uygulandığı SC 906 Çeşidinin Köklerine Ait SOD, CAT, APX, GR, GST, MDA ve Prolin İçerikleri

Uygulama	*SOD*	*CAT***	*APX***	*GR***	*GST**	*MDA***	*PROLIN***
Kontrol	6.514	0.088 c	0.354 c	0.007 d	0.887 bc	1.411 e	88.107 d
50 ppm	6.862	0.116 b	0.402 b	0.012 c	0.984 ab	2.357 d	107.387 d

100 ppm	5.939	0.140 a	0.487 a	0.017 b	1.022 ab	3.613 c	176.744 c
150 ppm	5.818	0.107 bc	0.302 d	0.015 bc	1.108 a	4.129 b	392.480 b
200 ppm	5.772	0.089 c	0.376 bc	0.032 a	0.821 c	4.731a	249.413 a
LSD	**1.409**	**0.021**	**0.031**	**0.004**	**0.145**	**0.266**	**23.703**

* P≤0.05; ** P≤0.01

Tuz stresi uygulamasının SC 906 çeşidinin yapraklarındaki antioksidan enzim aktivitesi ile prolin ve MDA içeriğine etkisi istatisksel olarak %1 seviyesinde önemli çıkmıştır. En yüksek SOD, CAT, APX, GR ve GST aktiviteleri 100 ppm tuz uygulamasından elde edilmiştir. En yüksek MDA ve prolin içerikleri 200 ppm tuz uygulamasından elde edilmiştir.

Tablo 44. Tuz Stresinin Uygulandığı SC 906 Çeşidinin Yapraklarına Ait SOD, CAT, APX, GR, GST, MDA ve Prolin İçerikleri

Uygulama	***SOD*****	***CAT*****	***APX*****	***GR*****	***GST*****	***MDA*****	***PROLIN*****
Kontrol	6.203 a	0.096 c	0.254 cd	0.004 d	0.635 a	3.131 d	167.280 e
50 ppm	6.310 a	0.111 b	0.330 b	0.020 c	0.746 a	4.972 c	558.507 d
100 ppm	6.268 a	0.124 a	0.360 a	0.062 a	0.748 a	5.092 c	4229.333 c
150 ppm	5.588 b	0.099 c	0.267 c	0.044 b	0.495 b	9.652 b	4965.867 b
200 ppm	4.778 c	0.066 d	0.237 d	0.035 b	0.406 b	8.895 a	6334.373 a
LSD	**0.238**	**0.006**	**0.028**	**0.011**	**0.127**	**0.591**	**142.500**

* P≤0.05; ** P≤0.01

Tuz stresi uygulamasının SC 906 çeşidinin klorofil ve karoten içeriğine etkisi istatistiksel olarak %5 seviyesinde önemli olmuştur (Tablo 45). En yüksek klorofil ve karoten içeriği 150 ppm tuz uygulamasından elde edilmiştir.

Tablo 45. Tuz Stresinin Uygulandığı SC 906Genotipine Ait Klorofil a, Klorofil b, Toplam Klorofil ve Karoten İçerikleri

Dozlar	***KLA****	***KLB****	***TKL****	***KAROTEN****
Kontrol	809.77	360.89	1170.66	195.78
50 ppm	1095.10	390.97	1486.08	237.20
100 ppm	1129.70	435.14	1564.84	299.74
150 ppm	1548.68	839.14	2387.82	579.99
200 ppm	665.46	347.75	1013.21	203.35
LSD				

* P≤0.05; ** P≤0.01

TARTIŞMA ve SONUÇ

Doğal koşullar altında bitkiler sıklıkla birçok değişik biyotik ve abiyotik stres faktörlerine maruz kalırlar. Tuz stresi de bitki gelişimini olumsuz etkileyen en önemli abiyotik faktörlerden birisidir.

Sorgum (*Sorghum bicolor* L.) genellikle düşük yağış alan, yüksek sıcaklığa ve tuzluluğa sahip alanlarda yetiştirilmektedir (Boursier and Lauchli 1990). Tuz stresinden dolayı özellikle dünyanın kurak ve yarıkurak alanlarında tarımsal üretimin en büyük problemlerinin başında gelmekte ve tuz stresine toleranslı bitkiler yetiştirme araştırma programlarının en öncelikli konularından birisi olarak yerini korumaktadır. Bu nedenle, fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler markırlar kullanarak tuza direncin mekanizmasını anlama ve tuza dirençli bitkiler geliştirme önerilmektedir (El-Baz et al., 2003).

Tuz stresi koşullarında büyüyen sorgum genotipleri arasında önemli farklılıklar vardır (Pathamanabhan ve Rao, 1976). Tuzun bitkiler üzerine etkisi iyon toksisitesi, ozmotik stres, mineral alımında yetersizlik, fizyolojik ve biyokimyasal pertürbasyonlar (Munns, 2002), ve benzer diğer abiyotik streslerden şeklinde olmaktadır. Tuzluluk, superoksitler ($O_2^{\bullet -}$), hidrojen peroksit (H_2O_2) ve hidroksil radikalleri ($OH^{\bullet}$) gibi reaktif oksijen türlerinde (ROS) artışa neden olarak oksidatif strese neden olabilmektedir. Bunlar yüksek oranda reaktiftir ve lipit, protein ve nükleik asitleri oksidasyona uğratarak hücresel zarara neden olabilirler (Apel and Hirt, 2004). Bitkiler bu ROS'lar tarafından meydana getirilen hasarı ortadan kaldırmak veya en aza indirmek için SOD, CAT, POD, GR ve GST gibi çeşitli detoksifikasyon enzimlerini barındırırlar. Bu enzimler toksik bileşikleri ortadan kaldırmak veya daha az toksik hale metabolize etmekle görevlidirler. Superoksit dismutas (SOD; EC 1.15.1.1) hücrelerin çeşitli bölümlerinde lokalize olmuştur ve superoksitlerin ($O_2^{\bullet -}$) en büyük uzaklaştırıcısıdırlar. Bunların enzimatik reaksiyonları sonucunda H_2O_2 ve O_2 oluşmaktadır (Smirnoff, 1993). Oluşan bu H_2O_2'ler de daha sonra catalaz (CAT; EC 1.11.1.6) ve peroksidazlar (POD; EC 1.11.1.7) tarafından zararsız hale getirilir. Katalaz dismutas çoğunlukla photorespiratory/respiratory ile su ve moleküler oksijen içerisine H_2O_2 verirken (Willekens et al., 1997) POD fenolik bileşikler ve/veya antioksidantlar benzeri co-substratların oksidasyonuyla H_2O_2'yi dekompozite eder. Glutathione reductase (GR; EC 1.6.4.2) oxidized okside glutathione (GSSH)'u NADP-bağımlı olarak indirgenmiş glutathione (GSH)'a katalizler (Mullineaux and Creissen, 1997). Birçok çalışma etkili bir antioksidant sistemin varlığı ile stres toleransı arasında bir korelasyonun varlığını önermektedir.

Ozmolitler olarak isimlendirilen çözünür karbonhidratlar, amino asitler, organik asitler ve prolin gibi soluble organik çözeltilerin uyumlu bir şekilde birikimi, bitkilerde tuz stresine akrşı verilen en yaygın yanıttır. Hücrelerde, toksik iyonlar genellikle vakuollerde birikirler ve vakuol ile sitoplazma arasındaki ozmotik dengenin değişmesi, compatible organik çözeltilerin sentez ve birikimini artırabilmektedir (Serrano and Gaxiola, 1994). Bu ozmolitler protein molekülleri veya membranların stabilizasyonunu sağlamada destek olmaktadır (Hamilton and Heckathorn, 2001) veya bitki metabolizması için koruyucu olarak hizmet vermektedir (Serrano and Gaxiola, 1994).

Tuz stresi ile karşılaşan bitkilerde, tuz tolerans göstergesi olan iyonik içerik benzeri bazı fizyolojik parametrelerin de arasında olduğu bir takım metabolik değişimlerin olduğu bilinmektedir (El-Baz et al., 2003). Bununla birlikte bitkinin tuza vermiş olduğu yanıtı genellemek zordur ve yeterli de olmayabilir. Bitki büyümesi üzerine tuzluluğun etkisi büyüme ortamının osmotik potansiyelinin düşmesi, spesifik iyon toksisitesi ve besin iyon eksikliği ile ilişkilidir (Netondo et al., 2004; Luo et al., 2005). Yüksek bitkilerde tuz stresi altında iyon akümülasyonunun kontrolü genellikle kök korteksinden iyon kaçışı (Jeschke 1984) veya yaprak dökme yoluyla fazla iyonların yeniden dağıtımına neden olmaktadır (Yeo and Flowers 1984).

Na^+'nın metabolik toksisitesi büyük oranda hücresel fonksiyonlar için önemli olan bağlanma bölgeleri için K^+ ile rekabet etmesinden dolayıdır. Sitozoldeki K^+ dengesi bitkilerin büyüme ve gelişmesi için çok önemlidir (Shabala et al., 2006). 50'den fazla enzim K^+ tarafından aktive edilemktedir, ancak Na^+ K^+'nın bu rolünü yerine getirmemektedir (Bhandal and Malik 1988). Na+ veya Na^+/K^+ oranının artması sitoplazmada çeşitli enzimatik prosesleri bozmaktadır. Bundan başka tRNA'ların ribozoma bağlanabilmeleri (Blaha et al., 2000) ve ribozomun diğer fonksiyonlarını yerine getirebilmeleri (Wyn Jones et al., 1979) için K^+ gereksiniminden dolayı protein sentezinde de yüksek oranda K^+ gerekmektedir. Bu nedenle Na+ konsantrasyonunun artmasına bağlı olarak protein sentezinin bozulmasının organizmaya büyük hasar verdiği Tester and Davenport (2003) ve Bavei et al., (2011) tarafından bildirilmektedir.

Büyüme ortamına dışarıdan ani olarak Na^+ eklendiği zaman buna ilk yanıt sitozolde Ca^{2+}'nın geçici olarak artması olmaktadır (Knight et al., 1997). Ca^{2+} transport aktivitesinde ve Ca^{2+} ilişkili sinyal iletim yolunun bileşenlerindeki tuza bağlı artış, Ca^{2+}'nın tuzluluğa karşı bitkisel yanıtta fizyolojile ile alakalı bir rol oynadığını önermektedir (Tester and Davenport, 2003). Özel olarak, Ca^{2+} tarafından ilkin Na^+ girişinin inhibisyonu sürgün Na^+ birikiminde Ca^{2+} indüklü

düşüşle direkt olarak ilişkilidir ve bu da Ca^{2+} eklenmesi üzerine Na^{+} tarafından büyüme inhibisyonunda düşüş ile ilişkilidir (Cramer 2002).

Kalsiyumun, membranın seçiciliğini desteklemesinden dolayı (Greenway and Munns 1980) bir zamanlar tuzun etkisini azalttığı düşünülmekteydi (LaHaye and Epstein, 1969), ancak yapılan çalışmalar, tuz solüsyonlarının yüksek iyonik kuvveti kök hücrelerinin membranlarından Ca^{2+}'yı uzaklaştırdığını göstermiştir (Cramer et al. 1985; Lynch and Lauchli 1985).

Prolin, K^{+} geçirgen iyon kanallarının çok etkili bir regülatörüdür ve aynı zamanda hücre içi K^{+}/Na^{+} homostazisi üzerinde direk etkiye sahiptir (Cuin and Shabala 2005, 2007a) ve osmotik stres süresince ortaya çıkan reaktif oksijen türlerinin (ROS) miktarını düşürür (Hong et al. 2000). Ayrıca bitkilerdeki prolinin geleneksel osmoprotektiv rolüne ek olarak, tuz stresi altındaki bitkilerde prolinin yüksek miktarda sentezlenmesinin faydalı bir etkisi plazma membranının bütünlüğü ve taşıyıcı proteinlerin korunmasının sonucu olabilir (Cuin and Shabala 2007b). Bundan başka prolin, fotosistem II kompleksinin stabilitesini sağlayarak free-radikal indüklü fotozarara karşı tilakoid membranlarını da korur ve enzim ve proteinlerin yapılarının devamlılığını sağlar (Sivakumar et al., 2000). Katalaz, peroksidaz ve polifenol oksidaz enzimlerinin aktiviteleri *in vivo* prolin tarafından desteklenir. Tuz, kuraklık ve don stresleri altında serbest prolin akümülasyonu birkaç bitkide daha önce rapor edilmiştir (Potluri and Devi Prasad 1996). Bazı araştırmacılar tuz toleransı ve prolin akümülasyon kapasitesi arasında pozitif bir korelasyon olduğunu rapor etmişken (Aspinall and Paleg 1981; Almansouri et al. 1999) diğer bazıları bu durumun aksi yönde görüş bildirmişlerdir (Delauney and Verma 1993; Heuer 2003). Bu nedenle, aşırı prolin birikiminin tuz stresinin bir belirtisi veya tuzluluğa direnç geliştirmek için önemli olup olmadığı konusu tartışmalıdır. Bunların yanı sıra, tuza dirençli çeşitlerde semptomatik bir indikatör oluyorken, duyarlı kültüvar veya çeşitlerde bazı etkili ROS'ların temizleyici etki sağladığı ikili bir mekanizmanın varlığı göz ardı edilmemelidir (Chen et al. 2007).

Aktif oksijen radikalleri (O_2^{-}, OH^{-} ve H_2O_2) yaygın olarak tuz stresi altında oluşurlar ve büyük peroksidadif zarar faktörü olarak değerlendirilirler ve bunların normal büyümenin devam ettirilebilmesi için temizlenmesine ihtiyaç duyulmaktadır (El-Baz et al. 2003). Bitki hücreleri bu reaktif serbest radikalleri elimine etmek veya zararsız forma dönüştürmek için katalaz, peroksidaz ve superoksid dismutaz gibi farklı antioksidant enzimlere sahiptir. Görünüşe

bakılırsa, tuza dirençli bitkilerde antioksidant enzimlerin aktivitelerinin yüksek değerde olması tuza adaptasyon prosesi ile alakalı bir durumdur (Piqueras et al. 1996; Sreenivasulu et al. 1999).

İyonik kontent, amino asit birikimi ve bunların belirli türlerin genotipleri arasında tuza dayanıklılığa katkılarının farklılığı üzerine birkaç çalışma vardır, bu nedenle, tuzluluğa yanıt bakımından bitkilerin çeşitlilik derecesi çok yükssektir. Örneğin, bazı çalışmalarda tuz tolerans ve prolin akümülasyon kapasitesi arasında pozitif bir ilişki olduğu rapor edilmektedir. Bunun aksine, diğer bazı çalışmalarda ise, tuz direnci ile prolin akümülasyonu arasında negatif bir ilişki olduğu vurgulanmaktadır, öyleki yabani tuza dirençli domatesin (*Lycopersicon peruvianum*) kültür domatesine (*L. esculentum*) oranla bünyesinde çok daha fazla Na^+ biriktirebildiği gösterilmiştir (Tal 1971; Santa-Cruz et al. 1999). Buna benzer tutarsızlık örnekleri daha çok vardır. Bu durum bizlere tür veya genotip seviyesinde bireysel metabolik aklimasyon (alışma) stratejilerinin keşfinin gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Bazı durumlarda, stres indüklü proteinlerin sentezi stres tolerans mekanizmasının bir parçasıdır (Singh et al., 1987). Prolin bitkilerdeki en önemli ozmoprotektan proteinlerden biridir. Tuz stresi altında bitki türlerinin çoğu kayda değer oranda prolin içeriklerini artırmaktadırlar (Delauney and Verma, 1993). Çalışmamaızda tüm çeşitlerde stres ile birlikte prolin miktarında artış gözlemlenmiştir.

Sibole et al (2003) yonca bitkisi (Medicago citrna L.) üzerinde yaptıkları çalışmada, 30 günlük tuz stresi uygulamasının fidelerde kontrole kıyasla çözünür protein birikimini artırdığını bildirmişlerdir. Yine aynı şekilde Kapoor ve Srivastava (2010) Vigna mungo L. üzerinde yaptıkları çalışmada da benzer sonuçlar almışlar ve tuz konsantrasyonunun artmasına paralel olarak protein içeriğinin de arttığını rapor etmişlerdir.

Peroksidaz aktivitesi üzerine NaCl'nin etkisi

Peroksidaz aktivitesi üç sorgum çeşidinde de benzer bulunmuş. Uygulanan tuz dozuna göre aktivite önemli derecede artmış. Köklerdeki peroksidaz aktivitesi yapraklardan bariz bir şekilde daha yüksek bulunmuş, ancak genel eğilim kökte de yaprakta da benzer çıkmış (Bavei et al., 2011).

Prolin akümülasyonu üzerine NaCl'nin etkisi

50-200 mM tuz uygulamaları arasında prolin birikimi yapraklarda kontrole göre yaklaşık 4-6 kat artmış (Bavei et al., 2011). El-haddad et al (1994)'un bulgularına paralel olarak bizim çalışmamızda da kök ve yapraklarda prolin birikiminde önemli oranda artış gözlenmiştir. Tuz stresine karşı adaptiv bir yanıt olarak prolin birikimi, su potansiyelini düşürebilir ve sonra yapraklarda su devamlılığının sağlanmasına yardımcı olabilir (Sabir et al., 2011).

Omari and Nhiri (2015), sorgum bitkisinin tuz stresine karşı adaptiv yanıtını çalıştıkları çalışmada 50, 100 ve 150 mM tuz stresi uygulamış ve özellikle 100 ve 150 mM tuz uygulamalarında prolin birikimininde önemli derecede artış gözlemişlerdir (kontrole göre kökte 3 yaprakta 2 kat fazla).

Klorofil ve karotenoid içeriği

Klorofil içeriği bitkinin çevresinde olan bitene karşı vermiş olduğu yanıtı anlamada en önemli belirteçlerden birisidir (Silva-Ortega et al., 2008). Eğer tuz stresine maruz kalan sorghum bitkisinin fotosentetik metabolizmasında bir hasar meydana gelmiş ise bunu yaprak klorofil içeriğine bakarak belirlemek mümkündür. Klorofil a, b ve total klorofil eksternal tuz uygulamalarında doz artışına paralel olarak dirençli bitkilerde kademeli olarak artması duyarlı bitkiler de ise azalması beklenir (Khan et al., 2009; Akram and Ashraf, 2011). Bu görüşe göre, klorofil akümülasyonu bezelye (Noreen et al., 2010) ve ayçiçeği (Khan et al., 2009) gibi farklı tahıllarda tuz toleransının potansiyel biyokimyasal indikatörlerinden birisi olarak önerilmektedir. Abiyotik strese karşı yanıtta klorofil birikimindeki artış kloroplast gelişimi veya tilakoid sayısındaki artışdan dolayıdır (García-Valenzuela et al., 2005). Omari and Nhiri (2015)'nin çalışmasında da artan tuz dozuna bağlı olarak 25 gün sonunda total klorofil, klorofil a ve b içeriğinde artış gözlenmiştir.

Enzim aktiviteleri

SOD

Omari and Nhiri (2015)'nin çalışmasında SOD aktivitesi kökte yapraktakinden daha yüksek çıkmış. Aynı şekilde Gomez et al. (2004)'un yapmış olduğu çalışmada da bezelye kloroplastlarında uzun dönem tuz uygulamasını takiben SOD enzim aktivitesinde artış gözlenmiştir. Tuz stresi altında SOD enzim aktivitesinin artması SOD'un iyi bir oksidativ stres tolere edici enzim olduğunu göstermektedir (Panda and Khan, 2004).

CAT ve POX

Hücresel zararı engellemek için SOD'un aktivitesi sonucu oluşturulan H_2O_2 toksiktir ve ek bir reaksiyon ile H_2O'ya dönüştürülerek elimine edilmelidir. Cat ve POX bitkilerde H_2O_2 seviyesini regüle eden enzimlerdir (Mittler, 2002). Omari and Nhiri (2015)'nin çalışmasında eksternal tuz uygulamalarına bağlı olarak sorghum bitkisi yapraklarında CAT aktivitesi artarken POD aktivitesinde herhangi bir değişim gözlenmemiştir. Bunun aksine köklerde CAT aktivitesi özellikle 50 ve 100 mm tuz uygulamasında yavaş yavaş artarken POD aktivitesinde hızlı bir yükseliş gözlemişlerdir. Bu durum tuz uygulanmış sorgum bitkisinde H_2O_2 detoksifiye eden temel enzimin POD olduğunu önermektedir. Bu araştırmacıların sonuçları tuza maruz bırakılmış fasulye (Jebara et al., 2005), kadifeçiçeği (Chaparzadeh et al., 2004) ve pirinç (Khan and Panda, 2008) bitkilerinin köklerinden elde edilen enzim aktiviteleri ile uyumludur. Bununla birlikte Omari and Nhiri (2015) yapraklarda en önemli H_2O_2 scavenging enzimin, Neto et al (2006)'un da önerdiği gibi CAT olduğunu bildirmişlerdir.

GR

Askorbat-glutatyon döngüsünün son enzimi GR, okside glutatyonun NADPH bağımlı redüksiyonunu katalizler. Omari and Nhiri (2015) yapmış oldukları çalışmada kök ve yapraklarda bu enzimin aktivitesinin önemli oranda arttığını gözlemişlerdir. Bu araştırmacıların çalışmasında yapraklarda GR aktivitesi 100 mM tuz uygulamasında %34, 150 mM tuz uygulamasında ise %90 artış göstermiştir. Moneguzzo et al (1999) tuza dirençli buğdayda, Meloni et al (2003) ise tuza dirençli pamuk (pora kültüvarı) da yaptıkları çalışmalarda tüm tuz uygulamalarında köklerde GR aktivitesinde önemli oranda artış gözlemişlerdir. Gomez et al. (2004), GR aktivitesinin artmasının NADP/NADPH oranını artırdığını ve dolayısıyla da NADP'nin fotosentetik elektron taşıma zincirinden elektron alabilme kabiliyetini artırdığını ve bunun da kloroplastlarda oluşan ROS'ların seviyesini ayarlamada yardımcı olduğunu önermektedir. GR, askorbatın rejenerasyonu için gerekli olan GSH/GSSG'nin yüksek oranda tutulmasında görevlidir. GSH seviyesindeki artış oksidatif stres toleransınıda artıracaktır (Meloni et al., 2003).

Sonuç olarak sorgum hat ve çeşitleri arasında tuz strresine ve stresin dozuna karşı dayanıklılık yönünden çok farklılıklar gözlemlenmiştir. Bu nedenle tarım yapılacak arazilerin tuz miktarına göre çeşitlerin seçilerek ekim yapılması verim ve kalite kayıplarını azaltacaktır. Bununla birlikte

laboratuvar koşullarında test edilen bu bitkilerin tarla koşullarında da tes edilmesi tarla tarımı açısından büyük öneme sahip olacaktır.

KAYNAKLAR

Agarwal, S. et al., Role of ABA, salicylic acid, calcium and hydrogen peeroxide on antioxidant enzymes induction in wheat seedlings, Science Direct, 559-570, 2005.

Akram, M.S. and M. Ashraf, 2011. Exogenous application of potassium dihydrogen phosphate can alleviate the adverse effects of salt stress on sunflower (*Helianthus annuus* L.). J. Plant Nutr., 34: 1041-1057.

Almansouri M, Kinet JM, Lutts S 1999. Compared effects of sudden and progressive impositions of salt stress in three durum wheat (Triticum durum Desf.) cultivars. J Plant Physiol 154:743–752

Apel, K. and H. Hirt, 2004. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress and signal transduction. Annu. Rev. Plant Biol., 55: 373-399.

Arnon, D., Copper Enzymes Im Isolated Chloroplasts, Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*, Plant Physiol., 24, 1-15, 1949.

Aronoff, S., Photochemical Reduction of Chloroplast Grana, Plant Physiol., 21, 393–409, 1946.

Arora, A. et al., Oxidative stress and antioxidative system in plant, Review Article, Curr. Sci., İndia, vol. 82, 2002.

Aspinall B, Paleg LG 1981. Proline accumulation: physiological aspects. In: Paleg LG, Aspinall D (eds) The Physiology and Biochemistry of Drought Resistance in Plants. Academic Press, New York, pp 205–241

Awika, J. M., & Rooney, L. W. 2004. Sorghum phytochemicals and their potential impact on human health. Phytochemistry, 65, 1199–1221.

Ayyıldız, M., Sulama Suyu Kalitesi ve Tuzluluk Problemleri, Ankara Üniv. Ziraat Fakültesi, Kültürteknik Bölümü, Ankara Üniv. Ziraat Fakültesi Yayınları: 1196, Ders Kitabı: 344, 282s, Ankara, 1990.

Bavei V, Shiran B, Khodambashi M, Ranjbar A 2011. Protein electrophoretic profiles and physiochemical indicators of salinity tolerance in sorghum (Sorghum bicolor L.). Afr J Biotech

Bavei V., Shiran B., and Arzani A. 2011. Evaluation of salinity tolerance in sorghum (Sorghum bicolor L.) using ion accumulation, proline and peroxidase criteria. Plant Growth Regul 64:275–285.

Bean, B., T. Mccollum, D. Pietsch, M. Rowland, B. Porter, And R. Vanmeter. 2002. Texas Panhandle Forage Sorghum Silage Trial. The Agriculture Program of Texas A&M University System. http://soilcrop.tamu.edu/publications/pubs/910465silage.pdf

Bennicelli, R.P. et al., The effect of soil aeration on superoxide dismutase activity,malondialdehyde level, pigment content and stomatal diffusive resistance in maize seedlings, Environ. Exp. Bot., 39, 203–211, 1998.

Bhandal IS, Malik CP (1988) Potassium estimation, uptake and its role in the physiology and metabolism of flowering plants. Int Rev Cytol 110:205–254

Blaha G, Stelzl U, Spahn CMT, Agrawal RK, Frank J, Nierhaus KH (2000) Preparation of functional ribosomal complexes and effect of buffer conditions on tRNA positions observed by cryoelectron microscopy. Methods Enzymol 317:292–309

Blum, A., Breeding Crop Varieties for Stres Environments, Critical Reviews in Plant Sciences, 2: 199-237, 1986.

Boursier P, La¨uchli A (1990) Growth responses and mineral nutrient relations of salt-stressed Sorghum. Crop Sci 30:1226–1233

Boyoğlu, S., Characterization of glutathione s-transferase activity in red pine (*Pinus brutia*, Ten.) variation in environmentally stressed seedlings, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, Ankara, 2004.

Bradford MM (1976) A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Anal Biochem 72:248–254

Chaparzadeh, N., M.L. D'Amico, R.A. Khavari-Nejad, R. Izzo and F. Navari-Izzo, 2004. Antioxidative responses of *Calendula officinalis* under salinity conditions. Plant Physiol. Biochem., 42: 695-701.

Chen Z, Zhou M, Newman I, Mendham N, Zhang G, Shabala S (2007) Potassium and sodium relations in salinized barley tissues as a basis of differential salt tolerance. Func Plant Biol 34:150–162

Cicerali, N. I., Effect of stress on antioxidant defense systems of sensitive and resistant cultivars of lentil (*Lens culinaris* M), Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, Ankara, 2004.

Cicerali, N.I., 2004. Effect of stress on antioxidant defense systems of sensitive and resistant cultivars of lentil (*Lens culinaris* M), Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, Ankara.

Cothren, J.T., J.E. Matocha, and L.E. Clark. 2000. Integrated Crop Management for Sorghum, Pp. 409–440. *In* C.W. Smith, R. A. Frederiksen (Eds.) Sorghum: Origin, History, Technology, and Production. Wiley Series in Crop Science, New York.

Cramer GR (2002) Sodium-calcium interactions under salinity stress. In: La¨uchli A, La¨ttge U (eds) Salinity. Environment-Plants-Molecules. Kluwer Academic Press, Dordrecht, Netherlands, pp 205–227

Cramer GR, La¨uchli A, Polito VS (1985) Displacement of $Ca^{2?}$ by $Na^{?}$ from the plasmalemma of root cells. A primary response to salt stress? Plant Physiol 79:207–211

Creighton, T.E. Encyclopedia of molecular biology, Vols 1-4 Syf. 632-634, Wiley, 1999.

Cuin TA, Shabala S (2005) Exogenously supplied compatible solutes rapidly ameliorate NaCl-induced potassium efflux from barley roots. Plant Cell Physiol 46:1924–1933

Cuin TA, Shabala S (2007a) Amino acids regulate salinity-induced potassium efflux in barley root epidermis. Planta 225:753–761

Cuin TA, Shabala S (2007b) Compatible solutes reduce ROS-induced potassium efflux in Arabidopsis roots. Plant Cell Environ 30:875–885

Davies, K.J.A., Oxidative stress, antioxidant defenses, and damage removal, repair, and replacement systems, IUBMB Life 50, 279-289, 2000.

Delauney AJ, Verma DP (1993) Proline biosynthesis and osmoreg-ulation in plants. Plant J 4:215–223

Delauney, A.J. and D.P.S. Verma, 1993. Proline biosynthesis and osmoregulation in plants. Plant J., 4: 215-223.

Demiral, T., Türkan, İ., Does exogenous glycinebetaine affect antioksidative system of rice seedlings under NaCI treatment, Journal of Plant Physiology, 161: 1089-1100, 2004.

DeVries J. and Toenniessen G. (2001). Secuting the Harvest:biotechnology, breeding and seed systems for African Crops. CAB International, Wallingford, Oxon, UK. Pp 99 – 108.

Doggett, H. 1998. Sorghum,. 2nd Ed John Wiley and Sons, Inc., New York.

Duke, J.A. 1983. Handbook of Energy Crops.

Ekmekçi, E., Kaplan, M., Kara, T., Tuzluluğun Bitki Gelişimine Etkisi, OMÜ Zir. Fak. Dergisi, 20(3): 118-125, 2005.

El–Baz FK, Mohamed AA, Aly AA (2003) Development of biochemical markers for salt stress tolerance in cucumber plants. Pak J Biol Sci 6:16–22

El–Baz FK, Mohamed AA, Aly AA (2003) Development of biochemical markers for salt stress tolerance in cucumber plants. Pak J Biol Sci 6:16–22

El-haddad, E.H.M. and J.W. O'leary, 1994. Effect of salinity and K+/Na+ ratio of irrigation water on growth and solute content of *Atriplex ammnicola* and *Sorghum bicolor*. Irrig. Sci., 14: 127-133.

García-Valenzuela, X., E. García-Moya, Q. Rascón-Cruz, L. Herrera-Estrella and G.A. Aguado-Santacruz, 2005. Chlorophyll accumulation is enhanced by osmotic stress in graminaceous chlorophyllic cells. J. Plant Physiol., 162: 650-661.

Gnansounou, E., A. Daurıat, and Wyman C.E.. 2005. Refining Sweet Sorghum to Ethanol and Sugar: Economic Trade-Offs in The Context of North China. Bioresource Technology, 96: 985–1002.

Gómez, J.M., A. Jiménez, E. Olmos and F. Sevilla, 2004. Location and effects of long-term NaCl stress on superoxide dismutase and ascorbate peroxidase isoenzymes of pea (*Pisum sativum* cv. Puget) chloroplasts. J. Exp. Bot., 55: 119-130.

Gong, H., Zhu, X., Chen, K., Wang, S., Zhang, C., Silicon Alleviates Oxidative Damage of Wheat Plants in pots under drought, Plant Science 169, 313-321, 2005.

Gosse, G. 1995. ‘‘Rendement Energetique Et Bilan De CO2 D’une Culture’’. *C.R.* Acad. Agric. Fr. 81 (5), pp. 93-107.

Gökpınar, Ş. et al., Algal Antioksidanlar E.Ü. Su Ürünleri Dergisi 23-Ek (1/1), 85-89, 2006.

Greenway H, Munns R (1980) Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. Annu Rev Plant Physiol 31:149–190

Hamilton, E.W. and S.A. Heckathorn, 2001. Mitochondrial adaptations to NaCl. Complex I is protected by anti-oxidants and small heat shock proteins, whereas complex II is protected by proline and betaine. Plant Physiol., 126: 1266-1274.

Heuer B (2003) Influence of exogenous application of proline and glycine betaine on growth of salt-stressed tomato plants. Plant Sci 165:693–699

Hill H. Lee LS. Henry RJ. 2012. Variation in sorghum starch synthesis genes associated with differences in starch phenotype. Food Chemistry 131:175–183.

Hilmi, Ş., Oksidanlar ve antioksidanlar. THTDrg, 48: 1-2, 44-49, 1994.

Hoagland DR, Arnon DI (1959) The water culture method for growing plants without soil. Calif Agric Exp Stn Circ 307:32

Hong ZL, Lakkineni K, Zhang ZM, Verma DPS (2000) Removal of feedback inhibition of D1-pyrroline-5-carboxylate synthetase results in increased proline accumulation and protection of plants from osmotic stress. Plant Physiol 122:1129–1136

Hou, W. C. et al., Detection of glutathione reductase after electrophoresis on native or sodium dodecyl sulfate polyacrylamide gels, Electrophoresis,. 25, 2926–2931, 2004.

House, L.R., M. Gomez, D.S. Murty, Yı Sun, and B.N. Werma. 2000. Development of Some Agricultural Industries in Several African and Asian Countries, pp. 131-190. *In* C. W. Smith, R. A. Frederiksen (eds.) Sorghum: Origin, History, Technology, and Production. Wiley Series in Crop Science, New York.

House, R.L. 1985. A guide to sroghum breeding. ICRISAT.

Jebara, S., M. Jebara, F. Limam and M.E. Aouani, 2005. Changes in ascorbate peroxidase, catalase, guaiacol peroxidase and superoxide dismutase activities in common bean (*Phaseolus vulgaris*) nodules under salt stress. J. Plant Physiol., 162: 929-936.

Jeschke WD (1984) K^+–Na^+ exchange at cellular membranes, intracellular compartmentation of cations and salt tolerance. In: Staples RC, Toemniessen GH (eds) Salinity Tolerance in Plants. Wiley and Sons, New York, pp 37–66

Kalefetoğlu, T., Ekmekçi, Y., The Effect of Drought on Plant and Tolerance Mechanısms, G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi, Ankara, 18(4), 723-740, 2005.

Kanber, R., Kırda, C., Tekinel, O., Sulama Suyu Niteliği ve Sulamada Tuzluluk Sorunları, Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Genel Yayın No: 21, Ders kitapları Yayın no:6, Adana, 1992.

Kaplan, M., 2009. Farklı Kökenli Tane Sorgum (*Sorghum Bicolor* L.) Genotiplerinde Verim, Verim Unsurları ile Bazı Fizyolojik Özelliklerin Belirlenmesi ve DNA Düzeyindeki Farklılıklarla İlişkilendirilmesi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Doktora Tezi.

Kapoor, K. and A. Srivastava, 2010. Assessment of salinity tolerance of *Vinga mungo* var. Pu-19 using ex vitro and *in vitro* methods. Asian J. Biotechnol., 2(2): 73-85.

Karabal, E., Yücel, M., Öktem, H.A. 2003. Antioxidant Responses of Tolerant and Sensitive Barley Cultivars to Boron Toxicity. Plant Science 925-933.

Keleş, Y., Öncel, I., Response of antioxidative defence system to temperature and water stres combinations in wheat seedlings, Plant Science, 163: 783-790, 2002.

Khan, M.A., M.U. Shirazi, M. Alikhan and M. Ashraf, 2009. Role of proline, K/Na ratio and chlorophyll content in salt tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.). Pak. J. Bot., 41(2): 633-638.

Khan, M.H. and S.K. Panda, 2008. Alterations in root lipid peroxidation and antioxidative responses in two rice cultivars under NaCl-salinity stress. Acta Physiologiae Plantarum, 30: 81-89.

Kimber, C.T. 2000. Origins of Domesticated Sorghum and Its Early Diffusion to India and China, pp. 3-96. *In* C. W. Smith, R. A. Frederiksen (Eds.) Sorghum: Origin, History, Technology, And Production. Wiley Series in Crop Science, New York.

Klopfenstein, C.F., R.C. Hoseney. 1995. Nutritional Properties of Sorghum and the Millets. in: Dendy, D.A.V., (Ed.), Sorghum and Millets:Chemistry and Technology, American Association of Cereal Chemists, St Paul, MN, pp. 125–168.

Knight H, Trewavas AJ, Knight MR (1997) Calcium signaling in Arabidopsis thaliana in responding to drought and salinity. Plant J 12:1067–1078

Knudson, L.L., Tibbitts W.T., Edwards E.G., Measurement of Ozone Injury by Determination of Leaf Chlorophyll Concentration, Plant physiol., 60, 606–608, 1977.

LaHaye PA, Epstein E (1969) Salt tolerance by plants: enhancement with calcium. Science 166:395–396

Li R. Zhang H. Zhou X. Guan Y. Yao F. Song G. Wang J. Zhang C. 2010. Genetic diversity in Chinese sorghum landraces revealed by chloroplast simple sequence repeats. Genet Resour Crop Evol, 57:1–15.

Lichtenhaler, H. K., Vegetation stres: an introduction to the stres concept in plant, J. Plant Physiol., 148: 4-14, 1996.

Lo, W. J. et al., Enzymatic and nonenzymatic synthesis of glutathione conjugates: application to the understanding of a parasite's defense system and alternative to the discovery of potent glutathione s-transferase ınhibitors ,Bioconjugate Chem., 18, 109-120, 2007.

Luo Q, Yu B, Liu Y (2005) Differential sensitivity to chloride and sodium ions in seedlings of *Glycine max* and *G. soja* under NaCl stress. J Plant Physiol 162:1003–1012

Lynch J, La¨uchli A (1985) Salt stress disturbs the calcium nutrition of barley (*Hordeum vulgare* L.). New Phytol 99:345–354

Mackınney, G., Absorption of Light by Chlorophyll Solutions, Jour. Biol. Chem., 140, 315-322, 1941.

Mahajan, S. et. al., Cold, salinity and drought stresses: An overview, Science Direct, 444: 139-158, 2005.

Martin, G.M., J.C. Baret, Reaktive oksijen species as double-edged swords in cellular processes: low dose cell signalling versus high-dose toxicity, Hum. Exp. Toxicol.21: 71-75, 2002.

McKersie, D. B., Oxidative Stress" Retrieved October 25, 2000 from theWorld Wide Web: http://www.agronomy.psu.edu/Courses/AGRO518 /Oxygen.htm.

Meloni, D.A., M.A. Oliva, C.A. Martinez and J. Cambraia, 2003. Photosynthesis and activity of superoxide dismutase, peroxidase and glutathione reductase in cotton under salt stress. Environ. Exp. Bot., 49: 69-76.

Meneguzzo, S., F. Navari-Izzo and R. Izzo, 1999. Antioxidative responses of shoots and roots of wheat to increasing NaCl concentrations. J. Plant Physiol., 155: 274-280.

Misra, N., Gupta, A.K. 2006. Effect of Salinity and Different Nitrogen Sources on the Activity of Antioxidant Enziymes and Indole Alkoloid Content in *Catarantus roseus* Seedlings. Journal of Plant Physiology, 163(1):11-8.

Mittler, R., 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. Trends Plant Sci., 7: 405-410.

Mullineaux, P.M. and G.P. Creissen, 1997. Glutathione reductase: regulation and role in oxidative stress. In: oxidative stress and the molecular biology of antioxidant defenses. (Ed. JG Scandalios) Cold Spring Harbor Laboratory Press: Cold Spring Harbor. NY, pp: 667-713.

Munns, R., 2002. Comparative physiology of salt and water stress. Plant Cell Environ., 25: 239-250.

Murty, D.S. Kumar, K.A. 1995. Traditional uses of sorghum and millets. *In*: Dendy, D.A.V., (Ed.), Sorghum and Millets: Chemistry and Technology, American Association of Cereal Chemists, St Paul, MN, pp. 185–221.

Mustafa, R. ve ark., Alternation of oxidative and carbonhydrate metabolism under abiyotik stres in two rice (Oyza sativa L.) genotypes contrasting in chilling tolerance, Journal of Plant Physiology, 2005

Mvududu, E. Nyabanga, L. Gopo, J. Woods, J. 2000. 3rd Year Report: Demonstrating Increased Resource use Efficiency in the Sugar Industry of Southern Africa Through Environmentally Sustainable Energy Production, Common Fund for Commodities (CFC) Sweet Sorghum Project Progress Reports, CFC, Amsterdam, the Netherlands.

Neto, A.D.A., J.T. Prisco and J. Emeas-Filho, 2006. Effect of salt stress on antioxidative enzymes and lipid peroxidation in leaves and roots of salt-tolerant and salt-sensitive maize genotypes. Environ. Exp. Bot., 56: 87-94.

Netondo GW, Onyango JC, Beck E (2004) Sorghum and Salinity: I. Response of growth, water relations, and ion accumulation to NaCl salinity. Crop Sci 44:797–805

Noreen, Z., M. Ashraf and N.A. Akram, 2010. Saltinduced modulation in some key gas exchange characteristics and ionic relations in pea (*Pisum sativum* L.) and their use as selection criteria. Crop Pasture Sci., 61: 369-378.

Northwest Life Science Specialties NWLSS ™ catalase activity assay data sheete E-mail: sales@nwlifescience.com

Omari R.E.L and Nhiri M. 2015. Adaptive response to salt stress in sorghum (*Sorghum bicolor*). Am-Euras. J. Agric. And Environ. Sci., 15(7): 1351-1360.

Oxford Biomedical Research USA. spectrophotometric assay for catalase www.oxfordbiomed.com.

*Oxis*Research™A Division of OXIS health products, ınc. spectrophotometric assay for glutathione reductase for research, http.// www.oxfordbiomed.com, Catalog Number 21018D data sheete.

Özcan, S., Gürel, E., Babaoğlu, M., Bitki Biyoteknolojisi –II- , syf., 308-313, S.Ü., Vakfı Yay., 2001.

Öztürk, R. et al., Purification and characterization of superoxide dismutase from *Phanerochaete chrysosporium*, Enzyme Microb. Tech., 25, 392–399, 1999.

Panda, S.K. and M.H. Khan., 2004. Changes in growth and superoxide dismutase activity in *Hydrilla verticillata* L.under abiotic stress. Braz. J. Plant. Physiol., 16: 115-118.

Pathamanabhan, G. and J.S. Rao, 1976. Note on potassium as a possible index for screening
Piqueras AJ, Olmos Hernandez E, Hellin E, Sevilla F (1996) Changes in antioxidant enzymes and organic solutes associated with adaptation of citrus cells to salt stress. Plant Cell Tiss Org Cult 45:53–60

Potluri SD, Devi Prasad PV (1996) Influence of salinity on auxiliary bud cultures of six lowland tropical varieties of potato (Salanum tuberosum L.). Plant Cell Tiss Org Cult 32:185–191

Prochazkova, D. et al., Oxidative stres and antioxidant activity as the basis of senescence in maize leaves, Plant Science, 161: 765-771, 2001.

Rajvanshi, A.K., Nimbkar, N., 2001. Sweet Sorghum Research and Development at the Nimbkar Agricultural Research Institute (NARI). Nimbkar Agricultural Research Institute (NARI), P.O. Box 44, PHALTAN–415 523, Maharashtra, India. http://nariphaltan.virtualave.net/sorghum.htm

Raven, E.L., Understanding functional diversity and substrate specifity haem peroxidases, University of Leicester, Nat. Prod. Rep., 20, 367-381, 2003.

Raza, H.S. et al., Glycinebetaine-induced modulation of antioxidant enzymes activities and ion accumulation in two wheat cultivars differing in salt tolerance, Environmental and Experimental Botany, 60: 368-376, 2006.

Rooney, W.L., 2004. Sorghum Improvements-Integrating Traditional and New Technology to Produce Improved Genotypes. Advances in Agronomy, Volume 83, pp. 37–109.

Sabir, P., M. Ashraf and N.A. Akram, 2011. Accession variation for salt tolerance in proso millet (*Panicum miliaceum* L.) using leaf proline content and activities of some key antioxidant enzymes. J. Agron. Crop. Sci., 197: 340-347.

Sairam, R.K., Srivastava, G.C., Changes in antioxidant activity ,n sub-cellular fractions of tolerant and susceptible wheat genotypes in response to long term salt stres,Plant Science 162: 897-904, 2002.

Sanchez, A.C., Subudhi, P.K., Rosenow, D.T., and Nguyen H.T., 2002. Mapping QTLs associated with drought resistance in sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). Journal of Plant Molekuler Biology, 48: 713–726.

Sanderson, M. A., Jones, R. M., Ward, J., and Wolfe, R., 1992. Silage Sorghum Performance Trial at Stevensville: Forage Research in Texas. Rep. PR-5018. Texas Agric. Exp. Stn., Stephensville.

Sankar, B. et al., Drought-induce biochemical modifications and proline metabolism in *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench, Acta Bot. Croat. 66 (1), 43-56, İndia, 2007.

Santa-Cruz A, Acosta M, Rus A, Bolarin MC (1999) Short-term salt tolerance mechanisms in different salt tolerant tomato species. Plant Physiol Biochem 37:65–71

SAS. (1999). SAS User's Guide: Statistic. Statistical Analysis Systems Institute Inc., Cary, NC.

Serrano, R. and R. Gaxiola, 1994. Microbial models and salt stress tolerance in plants. Crit. Rev. Plant Sci., 13: 121-138.

Shabala S, Demidchik V, Shabala L, Cuin TA, Smith SJ, Miller AJ, Davies JM, Newman IA (2006) Extracellular $Ca^{2?}$ ameliorates NaCl-induced $K^{?}$ loss from Arabidopsis root and leaf cells by controlling plasma membrane $K^{?}$-permeable channels. Plant Physiol 141:1653–1665

Sharp, K.H., Raven, E., Enzyme-substurat interactions ın askorbate peroxidase, University of Leicester, Cambridge, UK, NPR, 2003.

Sibole, J.V., C. Cabot, C. Poschenrieder and J. Barceló, 2003. Ion allocation in two different salttolerant Medicago species. J. Plant Physiol., 160: 1361-1365.

Silva-Ortega, C.O., A.E. Ochoa-Alfaro, J.A. Reyes-Agüero, A.A.S. Gerardo and J.F. Jiménez-Bremont, 2008. Salt stress increases the expression of p5cs gene and induces proline accumulation in cactus pear. Plant Physiology and Biochemistry, 46: 82-92.

Singh, N.K., C.A. Bracken, P.M. Hasegawa, A.K. Handa, S. Buckel, M.A. Hermodson, F. Pfankoch, F.E. Regnier and R.A. Bressan, 1987. Characterization of osmotin. A thaumatin-like protein associated with osmotic adjustment in plant cells. Plant Physiol., 85: 529-536.

Sivakumar P, Sharmila P, Saradhi PP (2000) Proline alleviates salt-stressed induced enhancement in ribulose-1, 5-bisphosphate oxy-genase activity. Biochem Biophysic Res Commun 279:512–515

Smirnoff, N., 1993. The role of active oxygen in the response of plants to water deficit and desiccation. New Phytol., 125: 27-58.

Sreenivasulu N, Ramanjulu S, Ramachandra-kini K, Prakash HS, Shekar-Shetty H, Savithri HS, Sudhakar C (1999) Total perox-idase activity and peroxidase isoforms as modified by salt stress in two cultivars of fox-tail millet with differential salt tolerance. Plant Sci 141:1–9

Tal M (1971) Salt tolerance in the wild relatives of cultivated tomato: responses of Lycopersicon sculentum, L. pruvianum and L. sculentum minor to sodium chloride solution. Aust J Agric Res 24:353–361

Tester M, Davenport RJ (2003) Na^+ transport and Na^+ tolerance in higher plants. Ann Bot 91:503–527

Toprak, G., 2007. Cd ve Cu Ağır Metal Stresi Uygulanan *Phanerochaete chrysosporium*'da Antioksidan Enzimlerde Değişen Miktarların Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi.

Wei, Y.H., pang, C.Y., The Role of Mitocondria in human aging process, Biotech International,17: 8-13, 2005.

Wenman, C., (Technical Director, Triangle Ltd, Zimbabwe), 1999. Pers. comm., 'Potential for crystalline sugar production from sweet sorghum''.

Willekens, H., S. Chamnongpol, M. Schraudner, C. Langebartels, M. Van Montagu, D. Inze and W. Van Camp, 1997. Catalase sink for H2O2 and is indispensable for stress defense C3 plants. E.M.B.O. J., 16: 4806-4816.

Woods, J., D.O. Hall, M.I. Muzondo, .G Gosse, And P. Soontornchainackseng. 1995. Bioethanol Production from Sweet Sorghum: Interchange of Research and Experience Between EU and Developing Countries (Zimbabwe and Thailand), Brussels, EU, pp. 1–74. www.hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy/Sorghum_bicolor.html

Wyn Jones RG, Brady CJ, Spears J (1979) Ionic and osmotic relations in plant cell. In: Liadman DL, Wyn Jones RG (eds) Recent advances in the biochemistry of cereals. Academic Press, London, pp 63–103

Yeo AR, Flowers TJ (1984) Mechanisms of salinity resistance in rice and their role as physiological criteria in plant breeding. In: Staples RC, Toemniessen GH (eds) Salinity Tolerance in Plants. Wiley, New York, pp 37–46

Zhou, F. et al.,Physiological and Growth Responses of Tomato Progenies Harboring the Betaine Alhyde Dehydrogenase Gene to Salt Stres, Journal of Integrative Plant biology, 49 (5): 628-637, 2007

Zulfiqar, A. M., And M, Asim. 2002. Fodder Yield and Quality Evaluation of the Sorghum Varieties. Pakistan Journal of Agronomy, 1 (2–3): 60–63.