

**EGE ÜNİVERSİTESİ BİLİMSEL ARAŞTIRMA
PROJE RAPORU**

**EGE UNIVERSITY SCIENTIFIC RESEARCH
PROJECT REPORT**

**BOR VE TUZ STRESLERİNİN ÜLKEMİZDE
YETİŞTİRİLEN BAZI ŞEKER PANCARI
(*Beta vulgaris L.*) ÇEŞİTLERİNDE VE YABANI PANCAR
Beta lomatogona L.'DA BÜYÜME VE
ANTIOKSİDATİF SAVUNMA SİSTEMİ
ÜZERİNDE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI
PROJE NO : FEN-2002-047**

Prof. Dr. İsmail TÜRKAN

Prof. Dr. Filiz ÖZDEMİR

Dr. Melike BOR

Hulusi KOCA

OCAK 2006

İZMİR

III

ÖZET

BOR VE TUZ STRESLERİNİN ÜLKEMİZDE YETİŞTİRİLEN BAZI ŞEKER PANCARI (*Beta vulgaris L.*) ÇEŞİTLERİNDE VE YABANI PANCAR *Beta lomatogona L.*'DA. BÜYÜME VE ANTIOKSİDATİF SAVUNMA SİSTEMİ ÜZERİNDE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Bu proje kapsamında bor ve tuz streslerinin ayrı ayrı ve birlikte yapılan uygulamalarının, şeker pancarı (*Beta vulgaris cv.ansa*) ve yabancı pancar türü (*Beta lomatogona*) üzerine etkilerinin detaylı olarak incelenmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla stres ve kontrol gruplarında büyüme parametrelerinden, kök, gövde uzunluğu, yaş ve kuru ağırlıklarının yanı sıra, fotosentetik verim, bağıl su içeriği, protein, prolin ve lipid peroksidasyonu miktarları ölçülmüştür. Bu analizlerin yanı sıra antioksidant enzim aktiviteleri (SOD, APX, POX, CAT ve GR), bor,Na ve Cl miktarlarındaki değişimlerde belirlenmiştir.

Genel olarak bitkilere tuz ve bor streslerinin birlikte uygulandığı gruplarda meydana gelen değişimler daha dikkat çekici olmuştur. Bu anlamda gerek büyüme parametrelerine ait sonuçlar, gerekse antioksidant enzim aktivite sonuçları incelendiğinde, yabancı türün (*Beta lomatogona*) stres koşulları altında daha iyi geliştiği ve antioksidatif savunma sisteminin daha iyi çalıştığı görülmüştür. Bununla birlikte, her iki pancar türü de boru yapraklarında biriktirmemiştir.

Anahtar sözcükler : Borik asit, Antioksidant enzimler, NaCl,

IV

ABSTRACT

INVESTIGATION OF BORON AND SALT STRESS EFFECTS ON SUGAR BEET (*Beta vulgaris L.*) AND WILD BEET *Beta lomatogona L* VIA GROWTH AND ANTIOXIDATIVE DEFENCE SYSTEM

In this project combined and separate effects of boron and salt stress on sugar beet (*Beta vulgaris cv.ansa*) and its wild relative *Beta lomatogona* were aimed to be studied in detailed. The differences in growth parameters like, root, shoot length, root and shoot fresh and dry weights, photosynthetic efficiency, relative water content, protein, proline and lipid peroxidation contents were determined between stressed and control groups. Besides these measurements, differences in antioxidative enzyme activities (SOD, APX, POX, CAT and GR), boron, Na and Cl contents were also analysed.

In general, plants which were stressed with both salt and boron have shown significant differences as compared to control groups. According to both growth parameters and antioxidative enzymes activity results, wild species, (*Beta lomatogona*) was superior to cultivated one under stress conditions and its antioxidative defence system works more efficient. On the other hand, boron was not accumulated in the leaves of both beet species.

Key words : Boric acid, Antioxidative enzymes, NaCl

İÇİNDEKİLER

| | |
|---|----|
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 2. MATERYAL VE YÖNTEM | 15 |
| 2.1 Bitki Materyalinin Yetiştirilmesi ve Örnekleme | 15 |
| 2.2 Büyüme Parametrelerinin İncelenmesi | 15 |
| 2.3 Total Protein Miktarının Belirlenmesi | 16 |
| 2.4 Süperoksit Dismutaz Enziminin Aktivitesinin Belirlenmesi | 16 |
| 2.5 Peroksidaz Enziminin Aktivitesinin Belirlenmesi | 17 |
| 2.6 Katalaz Enziminin Aktivitesinin Belirlenmesi | 17 |
| 2.7 Askorbat Peroksidaz Enziminin Aktivitesinin Belirlenmesi | 17 |
| 2.8 Glutasyon Redüktaz Enziminin Aktivitesinin Belirlenmesi | 17 |
| 2.9 Prolin Miktarının Belirlenmesi | 18 |
| 2.10 Lipid Peroksidasyonu Miktarının Belirlenmesi | 18 |
| 2.11 Fotosentetik Verimin Ölçülmesi | 18 |
| 2.12 Bağlı Su İçeriği | 18 |
| 2.13 Bor Analizi | 19 |
| 2.14 Na ⁺ ve Cl ⁻ İyonlarının Analizleri | 19 |
| 3. SONUÇLAR | 20 |
| 3.1 Büyüme Parametreleri ile İlgili Sonuçlar | 20 |
| 3.2 Fotosentetik Verim ile İlgili Sonuçlar | 24 |
| 3.3 Bağlı Su İçeriği ile İlgili Sonuçlar | 25 |
| 3.4 Total Protein Miktarı ile İlgili Sonuçlar | 26 |
| 3.5 Antioksidant Enzim Aktiviteleri ile İlgili Sonuçlar | 27 |
| 3.6 Prolin Miktarları ile İlgili Sonuçlar | 31 |
| 3.7 Lipid Peroksidasyonu ile İlgili Sonuçlar | 32 |
| 3.8 Bor Miktarı ile İlgili Sonuçlar | 33 |
| 3.9 Na ⁺ ve Cl ⁻ Miktarları ile İlgili Sonuçlar | 34 |
| 4. TARTIŞMA | 36 |
| 5.KAYNAKLAR DİZİNİ | 42 |

VI

ŞEKİL LİSTESİ

| | | |
|----------------|---|----|
| Şekil 1 | Oksijen ve türevlerinin elektron konfigürasyonları | 5 |
| Şekil 2 | Aktif oksijen türlerinin oluşması ve detoksifikasyon metodları | 8 |
| Şekil 3 | Mehler reaksiyonu | 10 |
| Şekil 4 | Bitkilerde antioksidatif enzim savunma mekanizması | 12 |
| Şekil 5 | Bitkilerde antioksidatif savunma sistemlerinin lokalizasyonu, kaynağı ve ilgili enzim ve reaksiyonlar sonucu oluşan ürünler | 13 |

VII ÇİZELGE LİSTESİ

- Çizelge 1:** 0., 10. ve 20. günlerde 0 (Kontrol), 200mM NaCl ve Bor + tuz (10 ppm Bor + 200 mM NaCl; 20 ppm Bor +200 mM NaCl) uygulanmış bitkilerde gözlenen gövde uzunluğu (cm) değişimler 20
- Çizelge 2:** 0., 10. ve 20. günlerde 0 (Kontrol), 200mM NaCl ve Bor + tuz (10 ppm Bor + 200 mM NaCl; 20 ppm Bor +200 mM NaCl) uygulanmış bitkilerde gözlenen kök uzunluğu (cm) değişimler 21
- Çizelge 3:** 0., 10. ve 20. günlerde 0 (Kontrol), 200mM NaCl ve Bor + tuz (10 ppm Bor + 200 mM NaCl; 20 ppm Bor +200 mM NaCl) uygulanmış bitkilerde gözlenen gövde yaş ve kuru ağırlıklarındaki (g) değişimler 22
- Çizelge 4:** 0., 10. ve 20. günlerde 0 (Kontrol), 200mM NaCl ve Bor + tuz (10 ppm Bor + 200 mM NaCl; 20 ppm Bor +200 mM NaCl) uygulanmış bitkilerde gözlenen kök yaş ve kuru ağırlıklarındaki (g) değişimler 23
- Çizelge 5:** 0., 10. ve 20. günlerde 0 (Kontrol), 200mM NaCl ve Bor + tuz (10 ppm Bor + 200 mM NaCl; 20 ppm Bor +200 mM NaCl) uygulanmış bitkilerde fotosentetik verimdeki (Fv/Fm değerleri) değişimler 24
- Çizelge 6:** 0., 10. ve 20. günlerde 0 (Kontrol), 200mM NaCl ve Bor + tuz (10 ppm Bor + 200 mM NaCl; 20 ppm Bor +200 mM NaCl) uygulanmış bitkilerde bağıl su içeriğindeki (%) değişimler 25
- Çizelge 7:** 0., 10. ve 20. günlerde 0 (Kontrol), 200mM NaCl ve Bor + tuz (10 ppm Bor + 200 mM NaCl; 20 ppm Bor +200 mM NaCl) uygulanmış bitkilerde protein miktarındaki (mg g yaş ağırlık⁻¹) değişimler 26
- Çizelge 8:** 0., 10. ve 20. günlerde 0 (Kontrol), 200mM NaCl ve Bor + tuz (10 ppm Bor + 200 mM NaCl; 20 ppm Bor +200 mM NaCl) uygulanmış bitkilerde SOD aktivitesindeki (ünite g yaş ağırlık⁻¹) değişimler 27
- Çizelge 9:** 0., 10. ve 20. günlerde 0 (Kontrol), 200mM NaCl ve Bor + tuz

| | |
|--|----|
| (10 ppm Bor + 200 mM NaCl; 20 ppm Bor +200 mM NaCl) uygulanmış bitkilerde APX aktivitesindeki (ünite g yaş ağırlık ⁻¹) değişimler | 28 |
| Çizelge 10: 0., 10. ve 20. günlerde 0 (Kontrol), 200mM NaCl ve Bor + tuz (10 ppm Bor + 200 mM NaCl; 20 ppm Bor +200 mM NaCl) uygulanmış bitkilerde POX aktivitesindeki (ünite g yaş ağırlık ⁻¹) değişimler | 29 |
| Çizelge 11: 0., 10. ve 20. günlerde 0 (Kontrol), 200mM NaCl ve Bor + tuz (10 ppm Bor + 200 mM NaCl; 20 ppm Bor +200 mM NaCl) uygulanmış bitkilerde CAT aktivitesindeki (ünite g yaş ağırlık ⁻¹) değişimler | 30 |
| Çizelge 12: 0., 10. ve 20. günlerde 0 (Kontrol), 200mM NaCl ve Bor + tuz (10 ppm Bor + 200 mM NaCl; 20 ppm Bor +200 mM NaCl) uygulanmış bitkilerde GR aktivitesindeki (ünite g yaş ağırlık ⁻¹) değişimler | 31 |
| Çizelge 13: 0., 10. ve 20. günlerde 0 (Kontrol), 200mM NaCl ve Bor + tuz (10 ppm Bor + 200 mM NaCl; 20 ppm Bor +200 mM NaCl) uygulanmış bitkilerde prolin miktarındaki (µg g yaş ağırlık ⁻¹) değişimler | 32 |
| Çizelge 14: 0., 10. ve 20. günlerde 0 (Kontrol), 200mM NaCl ve Bor + tuz (10 ppm Bor + 200 mM NaCl; 20 ppm Bor +200 mM NaCl) uygulanmış bitkilerde lipid peroksidasyonundaki (nmol g yaş ağırlık ⁻¹) değişimler | 33 |
| Çizelge 15: 0., 10. ve 20. günlerde 0 (Kontrol), 200mM NaCl ve Bor + tuz (10 ppm Bor + 200 mM NaCl; 20 ppm Bor +200 mM NaCl) uygulanmış bitkilerde Bor miktarındaki (ppm g kuru ağırlık ⁻¹) değişimler | 34 |
| Çizelge 16: 0., 10. ve 20. günlerde 0 (Kontrol), 200mM NaCl ve Bor + tuz (10 ppm Bor + 200 mM NaCl; 20 ppm Bor +200 mM NaCl) uygulanmış bitkilerde Na miktarındaki (%) değişimler | 35 |
| Çizelge 17: 0., 10. ve 20. günlerde 0 (Kontrol), 200mM NaCl ve Bor + tuz (10 ppm Bor + 200 mM NaCl; 20 ppm Bor +200 mM NaCl) uygulanmış bitkilerde Na miktarındaki (%) değişimler | 35 |

1. GİRİŞ

Ekonomik açıdan büyük önem taşıyan şeker pancarı tarımı, ülkemizin çok çeşitli yörelerinde yapılmaktadır. Bunun yanı sıra ekolojik olarak geniş bir yayılış alanına sahip olan yabancı pancar türleri de ülkemizde çok farklı stres koşullarının hakim olduğu yörelerde yetişmektedir (Bor, 2002, 2003). Pancar bitkisinin, şeker pancarı, yemlik pancar, pazı, ıspanak pancarı, kırmızı ve sarı pancar gibi pek çok kültür türü vardır. Bu türlerden, ülkemizde, doğudan-batıya, kuzeyden-güneye çok çeşitli bölgelerde tarımı yapılan şeker pancarının yanı sıra (*Beta vulgaris L.*), *Beta maritima*, *Beta macrorhiza*, *Beta lomatogona*, *Beta patellaris*, *Beta corolliflora* gibi pek çok yabancı tür de doğal olarak yetişmektedir (Tan, 1992).

Ülkemizin ve Dünya'nın gelecekteki enerji kaynakları olarak önem taşıyan, yer altı madenlerinden bor, günümüzde doğada bulunması gerekenden fazla miktarda bulunmaktadır. Bu mineral madde kurak ve yarı kurak çevrelerde bora karşı toleransı düşük olan bitkiler üzerinde bitki gelişimde bozulmalar ve önemli rahatsızlıklara sebep olmaktadır. Bitkiler için önemli bir mikro besleyici olan bor elementi borik asit formunda topraktan alınmakta ve hücre düzeyinde büyüme ve gelişme ile ilgili bir çok olayda iş görmektedir. Bununla birlikte, belirli bir düzeyin üzerindeki bor içeriği, bitkilerde toksik etkiler yaratmaktadır. Bor eksikliği ve bor toksisitesi oluşturan değerler birbirine çok yakın değerlerdir (Nable ve ark., 1997). Tarımsal ekonomi açısından çok önemli olmasına rağmen bor toksisitesi ile ilgili bilgilerimiz yeterli değildir (Nable ve ark., 1997). Dünyada bilinen bor yataklarının % 65'i Türkiye'de bulunmaktadır (Özkara,1991; Gündüz,1987). Türkiye'nin bor yatakları Marmara Denizinin güneyinde 300 km. doğu-batı, 150 km. kuzey-güney yönlerinde uzanan bir alanda yer alır. Bigadiç, Kestelek, Sultançayırı, Emet ve Kırka önemli bor alanlarıdır (Kistler ve Helvacı, 1994).

Toprak ya da yer altı suları belirli oranlarda bor içermektedir. Ayrıca yüzey sularıyla, gübrelerle ve madencilik işlemleri sonucunda topraktaki bor miktarında artış olur (Neable ve ark., 1997). Bor, bitkiler, hayvanlar ve insanlar için belli düzeyde yararlı olmasına karşın optimum sınırları aştığında canlılarda toksik etkilere neden olmaktadır. Ayrıca, topraktaki bor miktarı arttığında elde edilen ürünün verimi düşmektedir. Buna ek olarak insan kaynaklı artışlar bitkilerde toksik etki yapabilir. En önemli kaynak sulama suları olmasına rağmen yüzey madenciliği, uçucu kül ve endüstriyel işlevler sonucundan da toksik seviyeye ulaşılır. Bu tip kirlenmelere maruz kalan toprakların iyileştirilmesi çok zordur. En yaygın olarak kullanılan iyileştirme işlemi, düşük bor içerikli su ile geniş çapta süzme işlemidir. Bu işlem

kalıcı sonuç elde etmeye yeterli olmayabilir. Bunu nedeni çıkan atıkların yok edilmesindeki zorluktur. Diğer iyileştirme işlemi ise toprağın ıslah edilmesi (örneğin limon ve pamuk) ve yüksek bor konsantrasyonuna toleranslı bitki türlerinin o bölgede yetiştirilmesidir (Neable ve ark., 1997). Bor madeninin yaygın olarak bulunduğu alanlarda ya da içme ve kullanma sularında bor yoğunluğu yüksek bölgelerde yaşayan insanlar, bor ve bileşiklerine daha fazla maruz kalmaktadırlar.

Bitkilerin ihtiyacı olan miktar esas alınarak yapılan sınıflandırmaya göre bitki besin elementleri makro ve mikro besin elementleri şeklinde sınıflandırılır (Boşgelmez, 2001). Bor, bitki büyümesi ve gelişiminde gerekli bir mikro besin elementidir (Karabal ve ark., 2002; Boşgelmez, 2001). Bitkilerin bor ihtiyacı çok sınırlıdır (Mahalakshmi ve ark., 1995). Borun yüksek bitkiler için temel bir element olduğu ilk olarak 1923 yılında Warington tarafından açıklanmıştır (Hu ve Brown, 1994).

Bor bitkilerde, şeker taşınımında, hücre çeper sentezinde ve yapısında, karbohidrat, RNA, IAA metabolizmasında, solunumda, fenol metabolizmasında, zarlara taşınım gibi birçok metabolik olayda ve hücre çeperinde pektinle ilişkili olarak görev alır (Blewins ve Lukesjewski, 1994). Bor eksikliğinde büyüme esnasında normal uzamanın bozulduğu, tüm bitki gelişiminin yavaşladığı, hücre çeperinin genişlediği belirlenmiştir (Hu ve Brown, 1994).

Tüm bitki türlerinde, bor eksikliğinde gözlenen belirtiler benzerlik gösterir. İlk etki büyümekte olan dokularda gözlenir. Radikula gelişimi hızla bozulur, radikula ve plumula da apikal meristem uzaması engellenir, bodurlaşma ya da cücelik meydana gelir (Kouchi ve Kumazawa, 1976; Dugger, 1983). Bor eksikliğinde bitki gelişiminde hızlı bir şekilde yavaşlama gözlenmektedir. Bordan kaynaklanan bitkilerdeki hızlı ve spesifik engelleme bor fiziolojisinin iki önemli etkisinden dolayıdır. Birincisi, borun hücre çeperinde spesifik bir işleve sahip olması (Hu ve Brown, 1994; Loomis ve Durst, 1992), diğeri ise türlerin çoğunda borun taşınımının kısıtlı olmasıdır (Brown ve Shelp 1997; Oertli ve Richardson, 1970). Bu önemli işlevin sonucu olarak dokuların büyümesinde ve bor değişkenliğinin kısıtlı olmasından dolayı bitki yaşamı boyunca sürekli olarak borun ihtiyaç kadarını alabilmelidir. Bor alımı köklerle gerçekleşmektedir, bor kökler tarafından topraktan borik asidin ayrışmamış formunda alınır.

Bor toksisitesi, tüm dünyada kurak ve yarı-kurak topraklarda bitki büyümesini engelleyen önemli bir sorundur. Yüksek konsantrasyonlarda bor, toprakta ve yer altı sularında doğal olarak bulunur veya ortama madenlerden, gübrelerden veya sulama sularında da ilave olabilir. Günümüzde çeşitli işlemler sonucunda doğada bulunması gerekenden fazla miktarda bor bulunmaktadır. Bu mineral madde kurak ve yarı kurak çevrelerde bora karşı toleransı

düşük olan bitkiler üzerinde bitki gelişiminde bozulmalar ve önemli rahatsızlıklara neden olmaktadır.

Monokotillerin bor ihtiyaçları, dikotillere oranla dört kat daha fazladır (Benger, 1949). Borun toprak solusyonundaki 0,5 mg/ml'den küçük değerleri çoğu bitki için güvenlidir. Bir çok bitki 0,5-5 mg/ml değerleri arasında olumsuz etkilenir (Wilcox,1960; Adriano, 1986). Wilcox (1960) sulama sırasında bor 4 ppm (0.06mM)'in üzerine çıktığında, bitkiler için uygun olmadığını belirtmiştir. Sulama suları bor içeriğine göre, hassas bitkiler için 0.3-1.0 mg/ml, yarı tolerant bitkiler için 1.0-2.0 mg/ml, tolerant bitkiler için 2.0-4.0mg/ml olmak üzere üç gruba ayrılır.

Bor fazlalığının yanı sıra, verimli tarımsal toprakların tuzlanması (özellikle NaCl tuzluluğu), tüm dünyada ve özellikle de gelişmekte olan ülkelerde, giderek büyük bir sorun haline gelmektedir. Çeşitli kaynaklara göre, tuzlu toprakların dünya genelindeki yüzölçümü 340 milyon ile 1.0 milyar hektar arasında değişmektedir (Christiansen, 1982). Ülkemiz topraklarının büyük bir kısmında olduğu gibi, kurak ve yarı-kurak topraklarda, ekonomik türlerin yetiştirilmesi için yağışların yeterli olmadığı dönemlerde sulama yapılmaktadır. Sulama sonucunda topraklarda çok çeşitli tuz iyonları birikir. Yapılan araştırmalar, dünya üzerinde sulama yapılan toprakların üçte birinin aşırı tuzlanmaya maruz kaldığını göstermiştir (Ekholm, 1975; Kovda 1980) Yurdumuzun yarı kurak bir kuşak içinde olması, yanlış sulamalar Anadolu'da ki bir milyon hektardan fazla çorak arazinin daha da artmasına yol açmıştır. Yurdumuzda dört milyon hektar alanın tuz ile etkilenmiş topraklara sahip olduğu, bunun ise sulanabilir alan potansiyelimizin yaklaşık %18'ini oluşturduğu belirtilmektedir (Sönmez, 1990).

Diğer kültür bitkileri ile karşılaştırıldığında şeker pancarı (*Beta vulgaris L.*) her ne kadar, tuza dayanıklı bir tür olarak kabul edilse de (Katerji ve ark. 1997; Hanson ve Wyse, 1982), bu bitkinin çimlenme ve erken fide döneminde tuz stresinden olumsuz etkilendiği ve bu nedenle önemli derecede verim kayıpları meydana geldiği birçok araştırmacı tarafından vurgulanmıştır (Durrant ve ark., 1974; Ghoulam ve Fares, 2001; Ghoulam ve ark. 2002). Şeker pancarı ile yapılan stres fizyolojisi çalışmaları incelendiğinde, bunların daha çok kuraklık stresinin, ürün verimi üzerine etkilerine yönelik olduğu görülmüştür. Azam Ali ve ark. (1994) tarafından yapılan bir araştırmada, kuraklık sonucu ürün veriminin üçte bir oranda azaldığı saptanmıştır. Bunun yanı sıra, şeker kalitesi, kuraklık sonucu, depo kökte oluşan bazı bileşikler (özellikle azot içeren) nedeniyle bozulur ve bu bileşikler şeker ekstraksiyonunu da engeller (Brown ve ark., 1987). Kurak koşullarda, şeker pancarı bitkisinde, transpirasyonu

azaltmak amacıyla, stoma iletkenliğini de azaltıldığından, ortamda fotosentez için gerekli, CO₂ miktarı yeterli düzeyde kalmaz, bu da fotosentetik verimi düşürür (Lawlor ve Milford,1975). Yine bu bitkide yapılan bir başka çalışmada, kuraklığın, Kalvin döngüsü enzimlerinin aktivitesini azalttığı ve bu şekilde fotosentezin etkilendiği bulunmuştur (O'toole ve ark., 1976).

Tuz stresi, bitkilerin yetiştirildikleri ortamda, büyüme ve gelişmelerini olumsuz etkileyecek düzeyde, yani aşırı miktarda çözünmüş tuzların bulunması sonucu ortaya çıkar (Yahya, 1998). Tuzluluk bitkilerde iki çeşit strese neden olmaktadır. Bunlardan biri, yüksek iyon konsantrasyonlarının neden olduğu osmotik strestir. Bu olay sonunda, düşük su potansiyeli ortaya çıkar ve osmotik basınçtan dolayı tohumlar gereken miktarda su alamaz. Yaprakların apoplastında meydana geldiğinde hücre dehidrasyonu, sürgünlerde ise sürgün dehidrasyonu tuzluluk stresine bir tepki olarak gelişir (Greenway ve Munns, 1980).Diğeri ise köklerin yetiştiği ortamda bulunan, yüksek iyon konsantrasyonlarının neden olduğu bazı iyonların spesifik etkisidir. Spesifik etki, embriyo yada genç fideler için toksik etki yapabilir (Bozcuk, 1991). Spesifik etki, sitoplazmada Na⁺ ve Cl⁻ iyonlarının aşırı birikiminden kaynaklanan spesifik toksisite olarak da adlandırılır (Greenway ve Munns, 1980). Genellikle, 2600mg/l (≈ 4dS/m) den yüksek konsantrasyonlar bu bitkilerde toksik etki gösterir (Shannon ve ark. 1994).

Özellikle kültür bitkileri, toprakların tuzlanmasıdan çok zarar görmektedir ve her yıl bu nedenle büyük verim kayıpları meydana gelmektedir. Toprakta bulunan tuz, su potansiyelini düşürerek ve mineral alınımını engelleyerek bitkilerin tüm büyüme ve gelişme faaliyetlerini olumsuz etkiler. Tuz zararlarının etki konsantrasyonları, türlerin genetik özelliklerine, bitkinin bulunduğu büyüme dönemine, çevresel etkileşimlere ve tuzluluğu oluşturan iyonun cinsine göre farklılık gösterir. Yabani türler, özellikle tuzlu bataklık, deniz kenarları gibi yerlerde yayılış gösterenler, çok ekstrem konsantrasyonlarda bile yaşamlarını sürdürebilirken, kültür bitkileri kök çevrelerinde ancak çok düşük bir tuz konsantrasyonuna toleranslıdırlar. Tuz stresi, bitkilerde önce kökler tarafından algılanmasına rağmen, büyüme gerilemesi ve iyon toksisitesi yapraklarda görülür. Özellikle halofit olmayan bitkilerde, yaprak büyümesi azalırken, kök büyümesi daha az etkilendiği için, kök / gövde oranı artar (Munns ve Termaat, 1986). Bu etki tuz stresinin kısa-dönem (bir veya iki gün) etkileri grubuna girer. İkinci grup etkiler yani, uzun-dönem (haftalar, aylar) etkileri, kök bölgesinde tuz varlığı sonucunda toprak suyunun ozmotik potansiyelinin düşmesi ve bitkinin turgorunu kaybetmesi sonucu ortaya çıkar. Turgor kaybı sonrasında, hücre bölünmesi, gelişimi, ve uzaması olumsuz etkilenir, ayrıca stomaların kapanması sonucunda gaz alışverişi önlendiği için, fotosentez ve

solunum engellenir (Kingsbury ve ark. 1984; Munns ve Termaat, 1986, Pasternak, 1987). Bunların yanı sıra, tuzun bitki beslenmesi üzerindeki etkileri, Na ve Cl birikimi ile direkt toksisite veya aşırı element birikimi sonucu besin alınımında meydana gelen dengesizlikler olarak belirmektedir (Pasternak, 1987). Örneğin, bitki hücrelerinde, enzimatik ve metabolik fonksiyonlar için esansiyel olan K^+ (Glass, 1989) sitoplazmada yüksek Na^+ varlığında etken biçimde fonksiyon gösteremez ve taşınımları da Na^+ toksisitesinin sonucu olarak zarar görür (Wyn Jones ve ark., 1979).

Yüksek tuz konsantrasyonlarında, suyun hücre dışına, iyonların ise hücre içine taşınım dengesi bozulur. Örneğin, ortamda aşırı Na^+ varlığında, hücre hızla suyunu kaybederken, iyonlar içeride birikir, böylece sitoplazmada Na^+ konsantrasyonu hızla artarken, iyon taşınımı ve hücrenin büyümesi ile ilgili tüm biyokimyasal reaksiyonlar zarar görür (Hayashi ve Murata, 1998). Tuz stresi koşullarında, ortamda aşırı Na^+ varlığı veya yüksek Na^+/K^+ oranı enzimatik aktivite için çok tehlikelidir. Na^+ 'un aktif bir şekilde dışarıya atılması, Na^+ -ATPase pompası veya Na^+/H^+ antiport mekanizmaları ile gerçekleştirilir. Bitki hücrelerinde, Na^+/H^+ antiportu plazma membranında veya tonoplastta yer alarak sitoplazmada mümkün olan en düşük Na^+ düzeyini sağlamaya çalışır. Tuz varlığında, Na^+/H^+ antiportunun aktivitesinin arttığı saptanmıştır (Hayashi ve Murata, 1998).

Bitkiler tuza verdikleri cevaplara göre halofitler ve glikofitler olarak iki farklı grupta incelenebilirler. Halofitler, doğal ortamlarında tuza toleranslıdır ve genellikle belirli bir düzeye kadar ortamdaki tuz (NaCl) miktarı ($\approx 170 - 250$ mM) gelişmelerini olumlu yönde etkiler (Lauchli and Epstein, 1984). Bitkilerde tuz toleransının temel mekanizmaları; Na^+ 'un etkili bir şekilde dışarı atılmasını veya hücre içinde kademelenmesini, yüksek K^+ konsantrasyonlarını, doku dehidrasyonuna toleransı, prolin ve glisin betain gibi ozmolitlerin sentezini ve Cl^- 'un hücrede etkin kademelenmesini içermektedir (Matoh ve ark., 1988; Bousier ve Lauchli, 1989). Bazı halofitler, Na ve Cl elementlerini, çok yüksek oranlarda alarak yapraklarında biriktirirler ve bunları düşük toprak su potansiyelini yenebilmek için ozmotik düzenleyici olarak kullanırlar (Lauchli ve Epstein, 1984 ; Matoh ve ark. 1988). Bu iyonlar, yaprak hücrelerinin vakuolünde biriktirilir ve bu şekilde sitoplazma ve organellerde düşük iyon konsantrasyonları sağlanarak enzimatik ve metabolik fonksiyonlar zarar görmeden devam edebilir (Ramani ve Kannan, 1986 ; Matoh ve ark. 1988). Sitoplazmadaki ozmotik düzenlenme bu bitkilerde, enzimatik ve metabolik olarak sentezlenen glisin betain, prolin gibi azot içeren bileşiklerle veya sorbitol, mannitol gibi şeker içeren bileşiklerle sağlanır. Buna ilave olarak, vakuolü sitoplazmadan ayıran membran olan, tonoplast, tuz stresi altında, turgor

basıncını koruyarak ve çözgen gradientlerini ayarlayarak osmotik düzenlemeye yardımcı olur (Shannon ve ark. 1994).

Glikofitler, tuza -çok duyarlıdan, orta derecede toleranslıya- kadar çok farklı gruplar içerirler. Tarımı yapılan türlerin büyük bir çoğunluğu glikofitik karakterde olduğu için bu grupta yer alan ve tuza verdikleri cevaplar açısından her zaman kesin sınırlarla birbirlerinden ayrılamayan bu bitkileri incelemek araştırmacılar için çok daha ilgi çekici olmuştur. Genellikle toleranslı kabul edilen türlerin adaptasyon mekanizmaları, uzak durmak, toksik tuzların köklerden dışarı atılması, aktif dışarı atan pompalar ve subsellüler lokalizasyon gibi çeşitli stratejileri içerir (Stavarek ve Rains, 1983; Lauchli ve Epstein, 1984; Pasternak, 1987).

Pek çok organizma tarafından tuza tolerans mekanizmalarından biri olan, yukarıda adı geçen ozmotik koruyucu bileşiklerin sentezlenmesi ve hücre içinde biriktirilmesi ile çevrenin su potansiyeli ile eşit hücre içi su potansiyeli sağlanmaya çalışılmaktadır (Hayashi and Murata, 1998). Bu bileşikler ozmotik koruyucu olarak ve proteinlerin yapılarını kararlı hale getirerek önemli görevler üstlenirler. Şekerlerden, sükröz, trihaloz, glikosilgliserol, vb., şeker alkollerinden, mannitol, sorbitol, gliserol, vb., amino asitlerden, glutamat, prolin ve quaterner amonyum bileşiklerinden, glisin betain, prolin betain, β -alaninebetaine vb. düşük molekül ağırlığına sahip, toksik olmayan bileşikler olmaları nedeniyle hücre düzeyinde normal fizyolojik proseslere zarar vermeden, yüksek konsantrasyonlara kadar birikebilmektedirler (Hayashi ve Murata, 1998).

Tarımsal alanlarda verim kayıplarına neden olan bu stres kaynakları bitkilerde bulunan antioksidatif savunma mekanizmalarının önemli indükleyicilerindedir. Bitkilerde, aktif oksijen türlerini elimine etmek ve serbest radikallerden korunmak için, enzimatik olan ve olmayan korunma mekanizmaları vardır. Süperoksit dismutaz (SOD), peroksidaz (POX), askorbat peroksidaz (APOX), katalaz (CAT) ve glutasyon redüktaz (GR) antioksidant enzimlerin başında gelirler. Bunların yanı sıra, β -karoten gibi karotenoidler, askorbat, glutasyon, α -tokoferol ve bazı fenolik bileşikler gibi enzim olmayan bileşikler de savunma sisteminde yer alır (Halliwell ve Gutteridge, 1989; Bowler ve ark. 1992; Shalata ve ark. 2001).

Süperoksit dismutaz, savunma mekanizmasının ilk basamağı olan, süperoksitin, oksijen ve H_2O_2 'ye dönüşümünü gerçekleştirir. Eğer süperoksit radikali bu aşamada etkisiz hale getirilmezse, süper oksit özellikle üç değerlikli (Fe ve Cu) metallere birleşerek oksitlenmelerine neden olur, bunun sonucunda bitkiler için çok tehlikeli olan ve metabolizmada herhangi bir yok edilme mekanizması bulunmayan hidroksil radikali ($\cdot OH$) oluşur. Bundan sonraki aşama olan H_2O_2 'in elimine edilmesi, hücrenin farklı bölümlerinde

lokalize olmuş katalaz ve peroksidaz enzimleri veya askorbat-glutasyon döngüsü enzimleri tarafından gerçekleştirilir (Foyer ve ark. 1994; Fridovic, 1978).

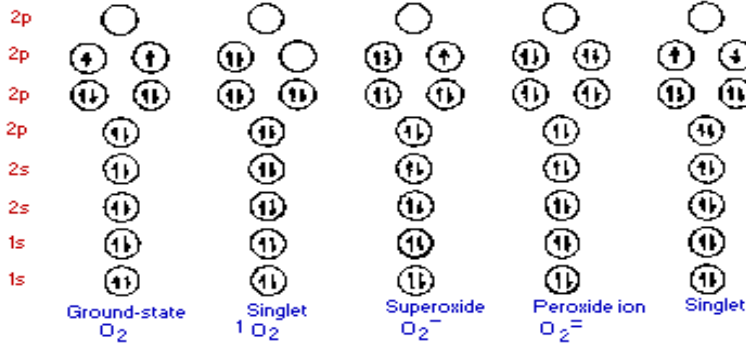


Figure 1. Electron configurations of oxygen and its derivatives.

Şekil 1: Oksijen ve türevlerinin elektron konfigürasyonları (Dodd, 2002)

Aslında serbest radikaller, özellikle de reaktif (aktif) oksijen türleri, tüm canlılarda normal metabolizmanın bileşenleridir. Solunum ve fotosentez gibi enerjistik reaksiyonların doğal sonucu olarak ortaya çıkarlar. Bu radikaller, daha sonra açıklanacağı gibi çok çeşitli, organizmalarda, enzimatik olan ve enzimatik olmayan çeşitli antioksidant savunma sistemleri ile oluştukları bölgede yok edilirler. Normal koşullar altında serbest radikalleri oluşturan reaksiyonlar kontrol altında tutulur ve idare edilir (Mc Kersie ve Leshem, 1994; Edreva,1998). Hücre düzeyinde moleküler oksijen (O_2) kararlıdır ve nispeten reaktif değildir, fakat H_2O_2 (hidrojen peroksit), süperoksit ($O_2^{\cdot-}$) radikalleri, hidroksil radikalleri ($\cdot OH$) ve tek değerlikli oksijen (1O_2) gibi aktif oksijen türlerinin (şekil 1) hücre içi (intraselular) konsantrasyonlarının artması çok çeşitli olumsuz etkilere neden olur. Moleküler oksijen şekil 1'de görüldüğü gibi eşlenmemiş elektron çiftine sahip olmasına rağmen, bu elektronların paralel yörüngelerde bulunması nedeniyle kararlıdır. Oysa tek değerlikli oksijende yörüngeler antiparaleldir ve bu oksidasyon kapasitesini artırır. Tek değerlikli oksijene moleküler oksijen eklenmesi ile süperoksit oluşur (Dodd, 2002).

Bu olayların bitkilerde gerçekleşme biçimi şekil 2'de görülmektedir. Tek değerlikli oksijen klorofildeki fazla enerjinin absorblanması ile, süperoksit ise elektron taşınım zincirindeki fazla elektronun bağlanması ile oluşmaktadır. Süperoksitin metal iyonları ile etkileşime girmeden uzaklaştırılması önemlidir. Eğer bu gerçekleşmezse, indirgenmiş metal iyonları hidrojen peroksit ile birleşerek hidroksil radikallerini oluştururlar ve bu radikaller de enzim ve lipidleri oksitleyerek hücre içinde toksisiteye neden olur.

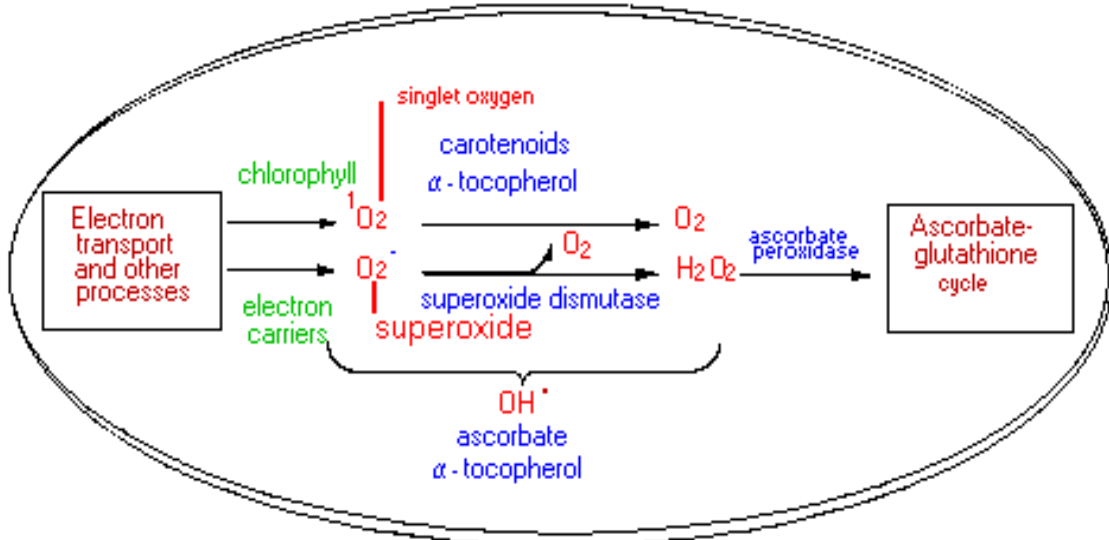


Figure 2. Generation of active oxygen species and associated methods of detoxification. Adapted from Foyer, Lelendais and Kunert, 1994.

Şekil 2: Aktif oksijen türlerinin oluşması ve detoksifikasyon metodları (Foyer ve ark., 1994)

Organizmalarda, olgunlaşmayla birlikte hızlanan yaşlanma, zararlı ve hastalık etmenlerinden kaynaklanan biyotik stresler ve düşük (üşüme, donma) ya da yüksek sıcaklık, su (eksikliği ya da fazlalığı), ultraviyole ışınlar, iyonize radyasyon, iyonik etkileşimler, basınç, kimyasallar, ses, manyetik ve elektriksel alan gibi abiyotik stresler sonucu aktif oksijen türlerinin birikimi artar (Edreva, 1998).

Genel olarak aktif oksijen türleri tarafından meydana getirilen oksidatif stres hücre düzeyinde membran bütünlüğünün bozulmasına, organellerin fonksiyonlarının aksamasına, metabolik işlevlerin azalmasına, bitki hücrelerinde karbon fiksasyonunun azalmasına, membranlardaki yapısal bozulma nedeniyle elektrolit sızıntısına ve çok çeşitli mutasyonlara neden olmaktadır (Halliwell ve Gutteridge, 1989; Bowler ve ark. 1992; Shalata ve ark. 2001). Bu zararların temelini oluşturan moleküler düzeydeki etkileşimleri incelersek, membranlarda bulunan, çok sayıdaki doymamış (çift bağ içeren) yağ asitlerinin serbest radikaller tarafından oksitlenerek aldehit ve ketonlara dönüştürüldüğünü görürüz. Çok sayıda reaktif bölgeye sahip olan proteinler serbest radikaller ile etkileşime girerek, geri dönüşümü olmayan yapısal bozunmalara uğrayabilirler. Özellikle metal bağlı bölgelere sahip olan enzimlere oksijen radikalleri bağlanarak önemli zararlar oluşturur. DNA ve RNA ile de etkileşime giren oksijen radikalleri mutasyonlara neden olurlar. Organizmalar için hayati öneme sahip polimerik bileşiklerin (karbohidrat vb.) yapısını bozarlar (Halliwell ve Gutteridge, 1989; Bowler ve ark. 1992; Shalata ve ark. 2001).

Bitkilerde, özellikle kloroplastların oksidatif streten korunması çok önemlidir ve normal koşullar altında yeterli korunma antioksidatif yol ile gerçekleştirilir (Asada ve Takashi, 1987). Süperoksit radikali, süperoksit dismutaz (SOD) enzimi ile, hidrojen peroksit, katalaz (CAT), askorbat peroksidaz (APX) ve askorbat-glutasyon döngüsü ile hidroksil radikali ve tek değerlikli oksijen ise enzimatik olmayan, askorbat, karotenoidler ve α -tokoferol ile yok edilir (Mc Kersie ve Leshem, 1994; Edreva, 1998). Fotosentetik elektron transferi esnasında, ferrodoksin çok fazla indirgenmediği zaman, moleküler oksijenle birleşen elektronlar süperoksitleri oluştururlar, bu olay Mehler Reaksiyonu olarak isimlendirilir. Bu olay, PSI'den (fotosistem I) enerji akışı yoluyla indirgenmiş NADPH'nin kullanımını içerir. ATP kullanılmadığı için bu reaksiyon sonucu ortamdaki proton konsantrasyonu artar. Yukarıda bahsedilen Mehler askorbat peroksidaz döngüsünün asıl fonksiyonu PS-II'deki aşırı eksitasyon enerjisini ısı şeklinde dağıtmaktır. PS-I tarafından total 8 eksiton (ışık enerjisinin 1 kuantumunun bir molekülden diğerine geçişine eksiton denir) absorbe edilirse, 2 süperoksit radikalini ve hidrojen peroksiti elimine etmek için, bir indirgen olarak görev alan 2 molekül indirgenmiş ferrodoksin oluşur (Foyer ve ark., 1994).

Elektronların O_2 'ne transferi, PS-II tarafından suyun parçalanmasının tersine dönüşümü olarak da değerlendirilebilir. Bu reaksiyondan elde edilen tek kazanç, PS-II ve cyt-b₆/f kompleksi boyunca gerçekleşen elektron taşınımından bir proton gradientinin meydana getirilmesidir. Bu proton gradienti, ortamda ADP bulunduğu zaman ATP sentezi için kullanılabilir. Fakat Mehler reaksiyonunun gerçekleştiği koşullar altında genelde bir ADP kıtlığı yaşandığından bu durum çoğunlukla yüksek bir pH gradientinin oluşumuyla sonuçlanır. Mehler reaksiyonu ve devirsel elektron transferi arasındaki ortak bir özellik NADP'nin indirgenmesiyle net bir NADPH üretimi olmayışıdır. Bu nedenle Mehler reaksiyonuyla gerçekleşen e^- taşınımı yalancı devirsel elektron taşınımı (pseudocyclic electron transport) olarak isimlendirilmiştir (Foyer ve ark., 1994).

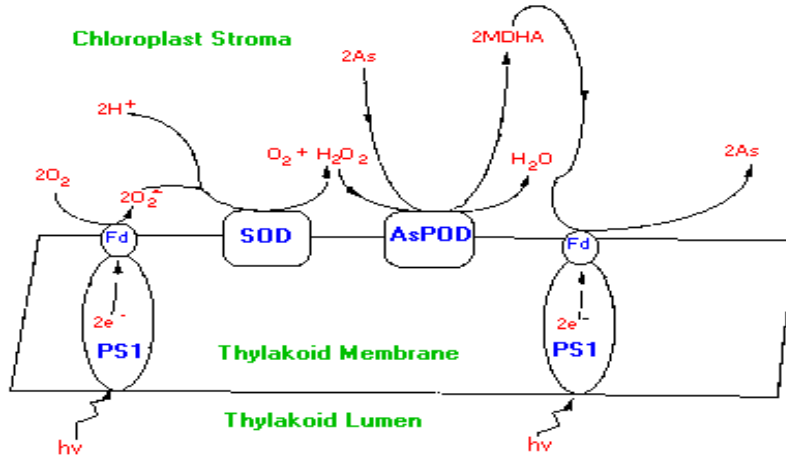
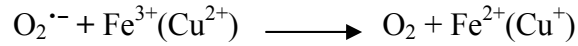


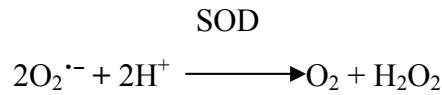
Figure 4. The Mehler-peroxidase reaction sequence associated with the thylakoid membrane. Adapted from Foyer, Lelendais and Kunert 1994

Şekil 3: Mehler reaksiyonu (Foyer ve ark., 1994)

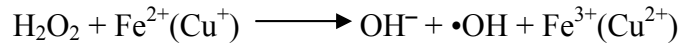
Süperoksit radikali kimyasal bakımdan çok kararsız bir moleküldür. Bu radikal, hücrede mevcut olan Fe^{3+} ve Cu^{2+} metal iyonlarını indirgeyerek, kararlı hale geçer.



Bu yüzden süperoksit radikallerinin etkili bir şekilde elimine edilmesi gerekir. Tilakoid membranda bulunan süperoksit dismutaz (süperoksit: süperoksit oksidoredüktaz, EC 1.15.1.1) enzimi, süperoksitin H_2O_2 ve O_2 'ne dönüşümünü katalizleyerek savunma sisteminde anahtar bir rol oynar. Bu reaksiyona 2 proton alınımı eşlik eder.



Süperoksit tarafından indirgenen metal iyonları, hidroksil radikallerini oluşturmak üzere H_2O_2 ile reaksiyona girer.



Hidroksil radikali de çok kararsız bir moleküldür ve oksidasyon ile enzimlere ve lipitlere hasar verir. Bitki hücresi $\cdot OH$ radikaline karşı koruyucu enzimlere sahip değildir. Bu nedenle metal iyonlarının indirgenmesi, $O_2^{\cdot-}$ 'in SOD tarafından hızlıca elimine edilmesi sayesinde önlenir. SOD enzimi 1969 yılında Mc Cord ve Fridovic tarafından keşfedildi. Metal kofaktörlerine göre üç tip SOD ayırdedilmektedir, Cu / Zn- SOD, Mn-SOD ve Fe-SOD.

Bu enzimler KCN ve H_2O_2 'ye duyarlılıklarına göre ayırt edilirler. Tüm prokaryotik organizmalarda Mn-SOD ve Fe-SOD bulunur. Birkaç durum dışında Cu-SOD içermezler. Ökaryotik algler (fragmoplastik hücre bölünmesi gösterenler dışında) ve

protozoalar hem Mn-SOD hem de Fe-SOD içerirler, Cu-SOD içermezler. Cu /Zn⁻ - SOD hayvanlar alemi içindeki tüm yüksek yapılı ökaryotlarda bulunur. Cu /Zn⁻ - SOD sitosol ve plastitlerden ,Mn-SOD ise mitokondriden izole edilmektedir.Diğer dikotilodonlardan farklı olarak pirinçte Fe-izoenzimlerine (Fe-SOD) rastlanmamıştır.

SOD aktivitesiyle oluşan H₂O₂'in de derhal elimine edilmesi gerekir, çünkü kloroplastların CO₂ indirgenme döngüsünde görev alan bir çok enzim hidrojen peroksit oldukça duyarlıdır ve bu yüzden CO₂ fiksasyonu inhibe edilmektedir. Bu reaksiyon peroksidaz sınıfı enzimlerden olan askorbat peroksidaz tarafından gerçekleştirilir.

Peroksidazlar, oksidaz sınıfı enzimlerdir, hidrojen akseptörü olarak oksijeni kullanarak, substrattan hidrojen ayrılması reaksiyonlarını katalizleyen enzimlerdir. Ürün genellikle ya H₂O yada H₂O₂'dir.

Hidroksiperoksidazlar (peroksidazlar ve katalazlar) substrat olarak hidrojen peroksiti veya organik peroksiti kullanırlar. Peroksidazlar, sadece bitkilerde bulunmazlar. Sütte, lökositlerde, trombositlerde eritrosit ve diğer hayvansal dokularda çeşitli peroksidaz sınıfı enzimleri mevcuttur. Örneğin, eritrositlerde bulunan Glutasyon peroksidaz enzimi, selenyum içerir ve indirgenmiş glutasyon tarafından H₂O₂ ve lipid peroksitlerin parçalanmasını katalizler. Bu şekilde membran lipidlerini ve hemoglobini peroksit oksidasyonundan korurlar. Peroksidazların prostetik grubu protohemdir ve bu grup apoproteine gevşek bağlıdır.

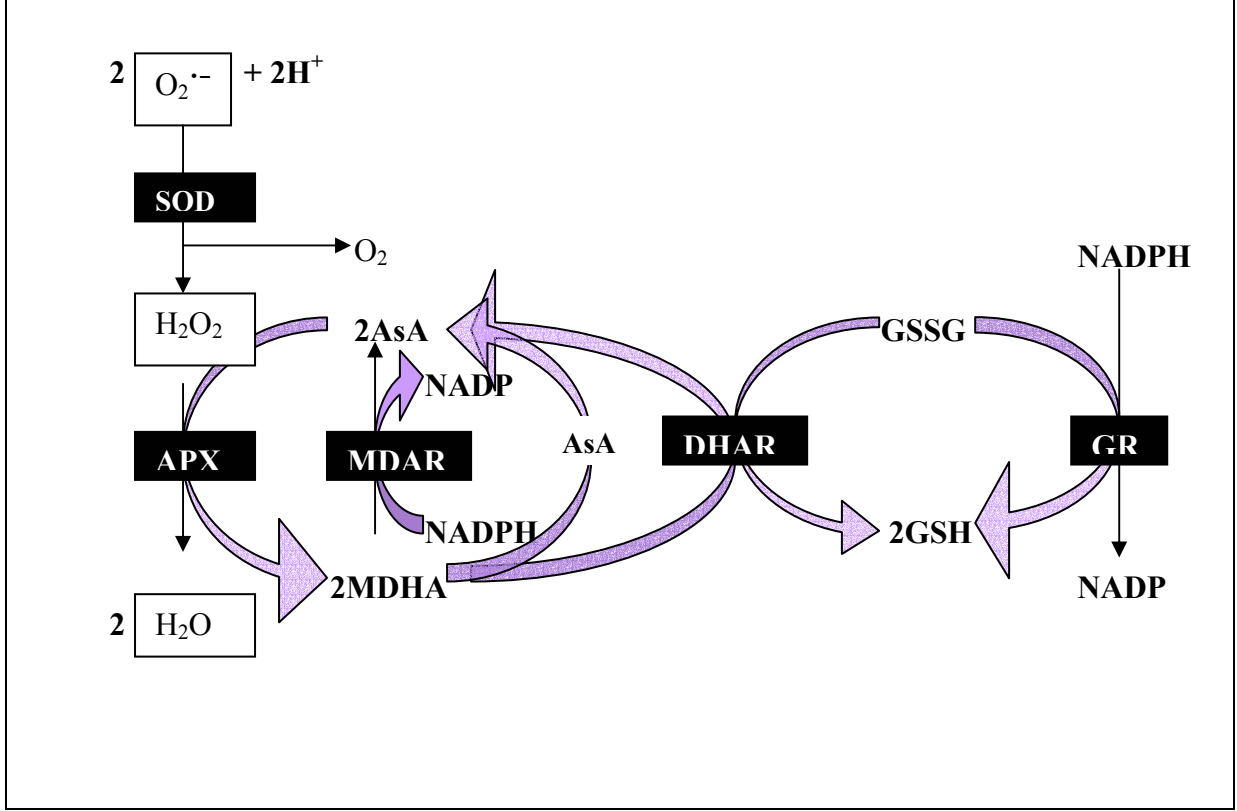
Bitkilerde bulunan çeşitli peroksidazların görev aldığı reaksiyonları şöyle sıralanabilir; lignin oluşumu (H₂O₂ yolu ile), oksin katabolizması, patojenlere karşı geliştirilen savunma reaksiyonları, solunum, etilen biyosentezi, fitokromlardaki bazı reaksiyonlar, pigment savunma sistemleri

Peroksidazlar içinde en iyi bilineni, sitosol ve kloroplastlarda bulunan Askorbat Peroksidazdır (APX). Bu enzimin başlıca görevi, Askorbat ve glutasyon döngüleri boyunca H₂O₂'nin uzaklaştırılmasıdır. Bu proses özellikle H₂O₂'e çok duyarlı olan Calvin döngüsü enzimleri için çok önemlidir. APOX elektron verici olarak Askorbatı kullanır (genellikle konsantrasyonu 10 mM civarındadır).



Askorbat peroksidazın kloroplast formu, askorbata yüksek spesifiklik gösteren, askorbat yokluğunda bozulan ve dar optimum pH aralığında çalışan bir enzimdir. Kloroplastlardaki APOX, çözülmüş formda stromada (sAPOX) ve tilakoide bağlı formda (tAPOX) bulunur. Peroksidazlarda bulunan APOX; fotorespirasyonun glikolat metabolizmasıyla bol miktarda

üretilen H_2O_2 'nin uzaklaştırılmasında katalaz enzimine yardımcı olmaktadır (Satoh ve Murata, 1998). Askorbat peroksidazın en az üç genden oluşan bir multigen ailesi tarafından kodlandığı bilinmektedir. Bu genlerden ikisi, kloroplastlarda bulunanları, diğeri de sitosolik olanı kodlamaktadır.



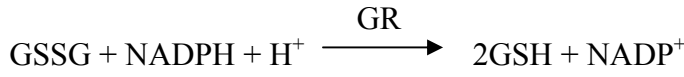
Şekil 4.: Bitkilerde antioksidatif enzim savunma mekanizması (Satoh ve Murata, 1998)

Askorbat, monodehidroaskorbata parçalandıktan sonra sistemin etken biçimde çalışması için gerekli askorbat konsantrasyonunu sabit tutabilmek için ilave bazı dönüşüm reaksiyonları bulunmaktadır. Bitki hücrelerinin önemli bir antioksidantı olan askorbat, AP enzimi tarafından monodehidroaskorbat (MDA) radikaline okside edilir. MDA, kloroplast stromasında ve sitozolde bulunan, NAD(P)H bağımlı bir monodehidroaskorbat redüktaz (MDHAR; EC 1.6.5.4) enzimi tarafından askorbata indirgenebilir veya MDHA, indirgenmiş ferrodoksin aracılığıyla spontan olarak PS-I tarafından yeniden askorbata dönüştürülür. İki molekül MDHA radikali bir başka alternatif olarak Asc ve dehidroaskorbata parçalanabilir. MDHA hızlıca Askorbat (Asc) ve DHA'a parçalandığından dolayı hücrelerin MDHA konsantrasyonları genellikle düşüktür. MDHA lipid gibi diğer moleküllerle hemen etkileşime girmediğinden nispeten zararsızdır (Satoh ve Murata, 1998).

Antioksidant savunma mekanizmasının önemli bir elemanı olan glutasyon (GSH), fotosentezin yan ürünleri olarak oluşan oksijen radikallerini askorbatla beraber elimine eder. Ayrıca glutasyon, ksenobiotiklerle (bitki tarafından üretilen veya dışarıdan alınan toksik

maddeler) konjugatlar oluşturarak bitki için koruyucu bir fonksiyon görür ve ağır metallerin detoksifikasyonunda görev alan fitoşelatinlerin sentezlenmesinde bir öncül rolü oynar. Aynı zamanda bir organik kükürt kaynağı olarak da iş görür. Eğer gerekirse glutasyonun yapısında yer alan sistein, enzimatik parçalanmayla glutasyondan ayrılabilir (Satoh ve Murata, 1998).

Glutasyonun metabolik düzenleyici ve antioksidant olarak oynadığı bir çok rol onun glutasyon disülfid'e (GSSG) okside olmasıyla sonuçlanır. Glutasyonun oksidasyonu, 2 glutasyon molekülündeki sistein aminoasitleri arasında bir disülfid bağının oluşmasıyla sonuçlanır. Fonksiyonlarının birçoğunu yerine getirebilmek için glutasyon, indirgenmiş formda (GSH) bulunmalıdır. Okside olmuş glutasyonun (GSSG), GSH'a indirgenmesi Glutasyon redüktaz enzimi (GR) tarafından, NADPH bağımlı bir reaksiyonla gerçekleştirilir.



Glutasyon redüktaz enzimi, prokaryot ve ökaryotlarda yaygın bir şekilde bulunur ve heterotrofik ve fotosentetik bakterilerden bitkiler ve hayvanlara kadar bir çok organizma grubunda çalışılmıştır. Glutasyon redüktaz, gymnospermleri ve angiospermleri de içeren çeşitli bitkilerde de çalışılmıştır.

Bu enzimler dışında peroksizomlarda bulunan ve heme grubu içeren katalaz (CAT) enzimi de H₂O₂'in eliminasyonunda görevlidir. Burada bulunan hidrojen peroksitin kaynağı, peroksizomlarda yağ asitlerinin oksidasyonu veya fotorespirasyondur.

Çizelge 1: Bitkilerde antioksidatif savunma sistemlerinin lokalizasyonu, kaynağı ve ilgili enzim ve reaksiyonlar sonucu oluşan ürünler (Scandalios J.G., 1993).

| LOKALİZASYON | RADİKAL TİPİ | KAYNAĞI | ENZİM | SON ÜRÜN |
|--------------|---|--------------------------------------|-----------------|---|
| KLOROPLAST | ¹ O ₂ O ₂ ⁻ , H ₂ O ₂ | PS II ENZİMATİK | SOD APOX | H ₂ O ₂ , DHA, GSH, NADP ⁺ |
| MİTOKONDİRİ | O ₂ ⁻ , H ₂ O ₂ | e ⁻ TAŞINIMI ENZİMATİK | SOD, POX CAT | H ₂ O ₂ , H ₂ O, H ₂ O, O ₂ |
| SİTOSOL | O ₂ ⁻ , H ₂ O ₂ | ENZİMATİK | SOD, CAT POX | H ₂ O ₂ , H ₂ O, O ₂ , H ₂ O |
| PEROKSİZOM | H ₂ O ₂ | OKSİDASYON FOTORESPİRASYON | CAT | H ₂ O, O ₂ |

Türkiye topraklarında, özellikle şeker pancarı tarımı yapılan İç Anadolu bölgesinde bor toksisitesi (Güneş ve ark., 1997) ve tuzluluk (Sönmez, 1990) probleminin olduğu bilinmektedir. Şeker pancarı bor elementini hücre düzeyinde biriktirebilme yeteneğine sahiptir fakat bu yeteneğin bitkinin normal gelişme ve büyüme süreçlerini nasıl etkilediği belirgin değildir (Nable ve ark., 1997). Bu konuda çok çeşitli çalışmalar yapılmakla birlikte ve bu faktörün bitkiler üzerinde etkilerinin hangi temel fizyolojik mekanizmalara dayanmakta olduğu açıklığa kavuşturulmamıştır.

Yukarıda belirtilen konulara bağlı olarak, ülkemizde bir çok alanda yetiştirilen şeker pancarının tuz ve bor streslerinden nasıl etkilendiğinin araştırılması büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, projemiz kapsamında, pancar fideleri üzerinde tuz ve bor toksisitesinin meydana getirdiği fizyolojik değişimlerle beraber büyüme parametrelerinin ve antioksidant enzim aktivitelerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Elde ettiğimiz sonuçlarla, bitki stres fizyolojisi alanının, tuz stresi ve bor toksisitesi gibi iki önemli konusuna, farklı bir bakış açısı getirileceği ve önemli katkılar sağlanacağı düşünülmektedir.

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Bitki Materyalinin Yetiştirilmesi ve Örnekleme

Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü'nden temin edilen *Beta lomatoğona L.* tohumları ve Ankara'daki Şeker Pancarı Enstitüsü'nden sağlanan *Beta vulgaris cv. ansa* tohumları, 20x30 cm'lik saksılara perlit içine ekildi. Yaklaşık bir haftalık çimlenme döneminden itibaren bitkiler 2'şer günlük periyotlarda ½ oranında seyreltilmiş Hoagland çözeltisi ile sulandı. Yetiştirme ortamı koşulları, 16 saat aydınlık / 8 saat karanlık, 25 / 20 °C sıcaklık, yaklaşık % 60-70 nem ve 350 µmol m⁻²s⁻¹ ışıktır. Deneme serileri aynı anda birbirinden bağımsız olarak kuruldu.

Bitkiler, dört yapraklı olgunlaşma dönemine (40 günlük) ulaştıklarında, 20 gün süre ile, bor, tuz ve bor+tuz uygulamalarına maruz bırakıldılar. Bitkiler, kontrol grubu, iki ayrı bor grubu (10 ve 20 ppm), tuz grubu (200mM NaCl), iki ayrı bor+tuz grubu (10 ppm bor+200 mM NaCl; 20 ppm bor+200 mM NaCl) olmak üzere altı farklı uygulama grubuna ayrıldı. Bor uygulaması ½ oranında seyreltilmiş Hoagland çözeltisine belirtilen konsantrasyonlarda H₃BO₃ (borik asit) eklenmesi ve 2'şer günlük periyotlarda sulama yapılması yoluyla gerçekleştirildi. Tuz uygulaması ve bor +tuz uygulamaları da yine gerekli tuz borik asit miktarlarının ½ oranında seyreltilmiş Hoagland çözeltisine ilave edilmesi ile gerçekleşti, yukarıda belirtildiği şekilde sulama yapıldı.

Total protein, antioksidant enzim aktiviteleri, prolin, lipid peroksidasyonu ve glisin betain analizleri için bor ve tuz uygulamalarının 0.,10. ve 20. günlerinde her uygulama grubundan yaprak örnekleri (genellikle dördüncü yapraklar) alınarak, çok hızlı bir şekilde donduruldu ve analiz gününe kadar -20°C'de saklandı. Her grupta, kendi içinde 3'er tekrarı sağlayacak miktarda bitki örneği alındı (n=6).

2.2. Büyüme Parametrelerinin İncelenmesi

Bitkiler, 40 günlük büyüklüğe ulaştıktan sonra, sırasıyla bor ve tuz uygulamalarının, 0.,10. ve 20. günlerinde büyüme parametreleri incelendi. Tüm gruplarda [kontrol grubu, iki ayrı bor grubu (10 ve 20 ppm), tuz grubu (200mM NaCl), iki ayrı bor+tuz grubu (10 ppm bor+200 mM NaCl; 20 ppm bor+200 mM NaCl)] her deneme serisinden 10'ar bitkide kök, toprak üstü organların uzunluğu ölçüldü (n=20), kök, toprak üstü organların yaş ve kuru ağırlıkları tartıldı (kuru ağırlık, bitkiler 48 saat süre ile 65-70 °C etüvde kurutulduktan sonra).

2.3. Total Protein Miktarının Belirlenmesi

Total protein ve antioksidant enzim aktivite analizleri için, altı farklı deneme serisinden, alınan 3'er tekrarlı yaş yaprak örneklerinin her birisinden, 1'er g yaş yaprak örneği tartılarak, 1mM EDTA ve 2 % (w/v) PVPP içeren, 3ml pH 7.8'lik 0.05 M Na-Fosfat tamponu ile 4 °C'de homojenize edildi. Homojenat 4 °C'de 13000 g'de 40 dakika süre ile santrifüj yapıldı. Total protein miktar analizleri Bradford'a (1976) göre BSA (Bovine Serum Albümin) standartları kullanılarak yapıldı. Uygun hacimde alınan ve gerekli oranda seyreltilen süpernatantlara 1ml reaksiyon karışımı (coomassie blue protein boyası içeren) eklendi. Oda sıcaklığında 10 dk bekletilen örneklerden 595 nm'de absorbans alındı. BSA standartları (0.02-0.2 mg / ml) ile oluşturulan kalibrasyon eğrisinden faydalanılarak, çözünebilen total protein miktarı mg g yaş ağırlık⁻¹ olarak belirlendi.

2.4. Süperoksit Dismutaz Enziminin Aktivitesinin Belirlenmesi

Pancar (*Beta*) türlerinden alınan örneklerden 0,5 gr yaprak materyali, 0,1 µm Na₂ EDTA, %2 (w / v) PVPP içeren 3 ml 0,05 µ sodyum fosfat tamponunda (pH =7.8) homojenize edildi. Homojenatlar + 4 °C'de 14000 rpm de 40 dk. santrifüjlendi. Elde edilen süpernatantlar enzim ve protein analizleri için kullanıldı.

Süperoksit dismutaz (SOD) enziminin aktivitesi, Beauchamp ve Fridovic (1971) tarafından belirtilen yönteme göre yapıldı. Yöntem, 560 nm'de nitroblue tetrazoliumun (NBT) fotokimyasal indirgenmesinin örnekte bulunan SOD enzimi tarafından inhibe edilmesine dayanır. NBT'nin azalmasının %50 inhibe edilmesi için gerekli 500 miktarı bir birim enzim aktivitesi olarak tanımlanır. Reaksiyon karışımı, 50 mM Na-fosfat tamponu (pH 7.8), 33 µM NBT, 10 mM L-Methionine, 0,66 mM EDTA ve 0.0033 mM Riboflavin içerir. Süpernatant uygun miktarda seyreltildi ve reaksiyon karışımı (3ml) ilave edildi. Reaksiyonun gerçekleşmesi için bu karışım, 10 dakika 300 µmol⁻¹m⁻¹s⁻¹ ışık şiddeti altında, oda sıcaklığında bekletildi. Bu süre sonunda örneklerin 560 nm'de absorbans değerleri alındı. Enzim aktivitesi, NBT'nin % 50 inhibisyonu için gerekli SOD miktarı olarak 1 enzim ünitesi olarak hesaplandı. Spesifik enzim aktivitesi, enzim ünitesi mg protein⁻¹ olarak belirtildi.

2.5. Peroksidaz Enziminin Aktivitesinin Belirlenmesi

Yaprak örneklerinde Peroksidaz (POX) enziminin aktivitesi, Herzog ve Fahimi (1973) 'nin tanımlandığı metoda göre yapıldı. DAB'nın (diamino benzidine tetrahydrochloride dihydrate), 465 nm'de okside olma oranına göre enzim aktivitesi tayin edildi.

Reaksiyon karışımı (3 ml), 2,75 ml DAB solüsyonu (jelatinde çözülmüş ve %50 (w / v). 0,15 μ Na-fosfat-sitrat tamponu içeren), 200 ml bitki ekstraktı ve 50 ml %0,6 hidrojen peroksid kullanıldı. 465 nm'de absorbans değişimi ölçüldü. Ölçüm süresi 3 dakika olarak alındı.

2.6. Katalaz Enziminin Aktivitesinin Belirlenmesi

Katalaz (CAT) enziminin aktivite analizi, Bergmeyer (1970)'e göre yapıldı. 240 nm'de H₂O₂'in tüketilmesi 3 dk süre ile izlendi. Reaksiyon karışımı 0.05 M Na-fosfat tamponu (pH 7.0), % 3 H₂O₂ ve 1 mM EDTA içerir. Dakikada tüketilen μ mol H₂O₂ miktarı 1 enzim ünitesi olarak saptandı. Spesifik enzim aktivitesi, enzim ünitesi mg protein⁻¹ g yaş ağırlık⁻¹ olarak belirtildi.

2.7. Askorbat Peroksidaz Enziminin Aktivitesinin Belirlenmesi

Askorbat peroksidaz (APOX) enziminin aktivitesi, Nakano ve Asada (1981) yöntemine göre yapıldı. Yöntem, örnekteki enzim tarafından askorbat okside edildikçe, 290nm'deki absorbans düşüşünün belirlenmesine dayanmaktadır. Reaksiyon karışımı, 50 mM Na-fosfat tamponu (pH 7.0), 0.5 mM askorbat, 0.1 mM EDTA Na₂ ve 1.2 mM H₂O₂ içerir. Seyreltilen örneklerle reaksiyon karışımı ilave edilerek, reaksiyon 3 dakika süresince izlendi. Okside olan askorbat miktarı ekstinksiyon katsayısından ($\epsilon = 2.8 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) hesaplandı. 1 enzim ünitesi, dakikada okside olan askorbat ($\mu\text{mol ml}^{-1}$) miktarıdır. Spesifik enzim aktivitesi, enzim ünitesi mg protein⁻¹ g yaş ağırlık⁻¹ olarak belirtildi.

2.8. Glutasyon Redüktaz Enziminin Aktivitesinin Belirlenmesi

Glutasyon redüktaz (GR) enziminin aktivitesi, Foyer ve Halliwell (1976) metoduna göre gerçekleştirildi. Reaksiyon sırasında NADPH varlığında, 3 dk süre ile tüketilen okside glutasyonun miktarındaki azalma, absorbans (340 nm) düşüşü izlenerek tespit edildi. İndirgenen glutasyon (GSSG) düzeyi ekstinksiyon katsayısından ($\epsilon = 6.2 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) hesaplandı. 1 enzim ünitesi dakikada okside olan glutasyon ($\mu\text{mol ml}^{-1}$) miktarıdır. Spesifik enzim aktivitesi, enzim ünitesi mg protein⁻¹ g yaş ağırlık⁻¹ olarak belirtildi.

2.9. Prolin Miktarının Belirlenmesi

Prolin miktarının belirlenmesi Bates (1973)'e göre yapıldı. Her gruptan, 0.5 g yaş yaprak örneği % 3'lük sülfosalisilik asit ile homojenize edildi. Filtrasyon sonrasında homojenatlara, asit ninhidrin ve glasiyel asetik asit eklenerek 1 saat süre ile 100 °C'de su banyosunda bekletildi. Reaksiyonun durdurulması için buz banyosu kullanıldı. Karışım toluen ile ekstrakte edildi ve sıvı fazdan aspire edilen toluen içeren fraksiyonun 520 nm'de absorbansı alındı. Prolin konsantrasyonu kalibrasyon eğrisinden hesaplandı ve mg prolin g yaş ağırlık⁻¹ olarak ifade edildi.

2.10. Lipid Peroksidasyonu Miktarının Belirlenmesi

Lipid peroksidasyonu, thiobarbütrik asit (TBAR) reaksiyonu sonucu oluşan malondialdehit (MDA) miktarının belirlenmesi yöntemine göre yapıldı (Madhava et al. 2000). Her gruptan 1'er g yaş yaprak örneği, trikloroasetik asit (TCA) ile homojenize edildi. Santrifüj sonrası süpernatanta TCA ve TBAR içeren reaksiyon karışımı ilave edildi. Örnekler, 1 saat süre ile 95 °C'de su banyosunda bekletildi ve bu süre sonunda tekrar santrifüj edildi. 532 ve 600 nm'de absorbans değerleri alındı ve MDA konsantrasyonu ekstinksiyon katsayısından yararlanılarak hesaplandı ($\epsilon = 155 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) ve nmol g yaş ağırlık⁻¹ olarak ifade edildi.

2.11. Fotosentetik Verimin Ölçülmesi

Fotosentetik verim, Plant Efficiency Analyser (Licor marka) cihazı ile ölçüldü. Her gruptan yaklaşık 1cm² yüzey alanına sahip yaprak örnekleri alındı. Yaprak fluoresansının daha önceden saptanmış en yüksek değere ulaştığı süre olan 30 dakika boyunca bu örnekler karanlıkta bekletildi. Ölçüm yapılarak her bitki örneği için Fv / Fm değerleri kaydedildi.

2.12. Bağlı Su İçeriği

Bağlı su içeriğinin belirlenmesi için her örnekleme gününde (0., 10. ve 20. günler) olgunlaşmış yaprak örneklerinin yaş ağırlıkları tespit edildi. Turgorlu hale getirilmek için bu yapraklar 7 saat süre ile suda bekletildi. Bu süre sonunda, tartılan yaprak örnekleri, 48 saat süre ile 65-70 °C'de etüvde kurutuldu. Kuru ağırlıkları tartılan örneklerin bağlı su içeriği aşağıdaki formüle göre % olarak hesaplandı (Smart ve Bingham, 1974).

$$\text{Bağlı Su İçeriği (\%)}: [(YA - KA) / (TA - KA)] \times 100$$

2.13. Bor Analizi

Bitkilerde bor analizi, Berger (1944) yöntemi modifiye edilerek yapıldı. Örnekleme günlerinde tüm uygulama gruplarından alınan yaprak örnekleri 48 saat süre ile 65-70 °C etüvde kurutuldu. Her gruptan 0.5 gr yaprak örneği tartılarak öğütüldü ve % 0.1 CaCl₂.H₂O çözeltisi ile ekstrakte edilerek, sıcak su banyosunda 1 saat süre ile bekletildi. Daha sonra örnekler santrifüj yapılarak (2700 g ; 15 dakika), analiz için hazırlandı. Süpernatantlardan 0,5 ml alınarak Ammonyumasetat çözeltisi (EDTA Na₂ ve glasiyel asetik asit içeren) ve azomethine-H solusyonu (% 1'lik askorbik asitte hazırlanmış) ilave edilerek, spektrofotometrede 420 nm'de absorbans değerleri okundu. Bor standartları (0.2-1.6 mg/L) ile oluşturulan kalibrasyon eğrisinden faydalanılarak, ekstrakte edilebilen bor miktarı mg g kuru ağırlık⁻¹ olarak belirlendi.

2. 14 Na⁺ ve Cl⁻ İyonlarının Analizleri:

Na ve Cl analizleri, sadece NaCl ve NaCl + Bor uygulanan gruplarda yapıldı. Na analizi için hasat edilen yapraklar 48 saat süre ile 70 °C sıcaklıkta kurutuldu. Bu işlem sonrasında kuru ağırlığı yaklaşık 0.5 g olan örnekler, nitrik-perklorik asit (4:1) karışımında 2 saat süre ile 200 °C'de öğütüldü. Bu işlem sonrasında örnekler filtre kağıdından süzüldü ve distile H₂O ile hacim 50 ml ye tamamlandı. Standartların absorbansları dikkate alınarak örneklerdeki Na miktarı, alev-fotometresi (Eppendorf) ile belirlendi.

Cl analizi potansiyometrik olarak Nelson (1960)'a göre yapıldı. 0.5 g kurutulmuş yaprak örneği parçalanarak 100 ml H₂O ile karıştırıldı ve üzerine 1 ml HNO₃ eklendi. Örnekler sürekli karıştırılarak 0.1 N gümüş nitrat (AgNO₃) varlığında hacimsel titrasyon yapıldı, indikatör olarak % 10'luk potasyum bikromat (K₂CrO₄) kullanıldı. Potansiyometrik değerlerde meydana gelen değişimler kaydedildi ve en yüksek değer hesaplamada kullanıldı. Na ve Cl analizlerinde, bu iyonların referans çözeltilerine ait değerler belirlendikten sonra örneklerdeki miktarları hesaplandı.

Tüm spektrofotometrik ölçümler, Shimadzu marka UV-1600 model spektrofotometre cihazı ile yapıldı.

3. BULGULAR

3.1. Büyüme parametreleri ile ilgili sonuçlar

Kontrol, bor, tuz ve tuz+bor uygulaması yapılan gruplara ait bitkilerde büyüme parametreleri karşılaştırmalı olarak incelendi. Bu verilere ait bilgiler çizelgeler 3.1-4'te verilmektedir. *Beta vulgaris cv. ansa*'da toprak üstü organların uzunluğuna tuzun olumsuz etkisi 10. günden itibaren gözlenirken, *B. lomatogona* da bu etki 20. günde görülmeye başlandı. 10 ppm borik asit uygulanan denemelerde 10. ve 20. gün sonunda her iki türde de gövde uzunluğunda olumsuz bir etki görülmedi. 20 ppm borik asit uygulanan serilerde ise 10. gün sonunda *B. vulgaris cv. ansa*'nın gövde uzunluğunda yaklaşık %4'lük azalma, *B. lomatogona* da ise %3'lük bir artış saptandı. 20. gün sonunda ise, *Beta vulgaris cv. ansa*'da %18, *B. lomatogona* da ise %5 azalma gözlemlendi. Bor ve tuzun birlikte uygulandığı serilerde, 20 gün sonunda *Beta vulgaris cv. ansa*'nın gövde uzunluğundaki azalma %28'e ulaşırken, *B. lomatogona* da ise %17 de kaldı (Çizelge. 1).

Çizelge 1 : 0.,10. ve 20. günlerde 0(kontrol), 10 ppm ve 20 ppm bor, 200mM NaCl ve bor+tuz (10 ppm bor+200 mM NaCl; 20 ppm bor+200 mM NaCl) uygulanmış bitkilerde gövde uzunluğundaki (cm) değişimler (n=20).

| Uygulama Grupları | <i>B. vulgaris cv. ansa</i> | <i>Beta lomatogona L.</i> |
|--|-----------------------------|---------------------------|
| 0. Gün | 12,97 | 11,76 |
| 10. gün kontrol | 16,44 | 14,85 |
| 10. gün 200 mM NaCl | 15,22 | 14,96 |
| 10. gün 10 ppm H₃BO₃ | 15,3 | 15,14 |
| 10. gün 20 ppm H₃BO₃ | 15,87 | 15,27 |
| 10. gün 10ppm H₃BO₃+200mMNaCl | 15 | 14,88 |
| 10. gün 20ppm H₃BO₃+200mMNaCl | 14,82 | 14,22 |
| 20. gün kontrol | 17,08 | 15,56 |
| 20. gün 200 mM NaCl | 16,02 | 14,78 |
| 20. gün 10 ppm H₃BO₃ | 17,42 | 15,14 |
| 20. gün 20 ppm H₃BO₃ | 13,95 | 14,66 |
| 20. gün 10ppm H₃BO₃+200mMNaCl | 15,12 | 14,12 |
| 20. gün 20ppm H₃BO₃+200mMNaCl | 12,23 | 12,87 |

Çizelge 2 de her iki türde de 10. günde tuz ve bor uygulamaları sonucunda kök uzunluklarında önemli değişiklikler gözlenmedi. 20. gün sonunda ise 200 mM NaCl uygulanan serilerde *B. vulgaris* c.v. ansa da kontrollere göre %9'luk bir azalma *B. lomatogona* da ise %3'lük bir azalma gözlemlendi. 10 ppm borik asit uygulaması ise iki türde de kök uzunluğunda artışa neden oldu. 20 ppm borik asit uygulaması *B. vulgaris* c.v. ansa ve *B. lomatogona*'nın kök uzunluğunda sırasıyla %11 ve % 5 azalmaya neden olurken, 20 ppm borik asit ve 200 mM NaCl uygulaması zararlı uygulaması zararlı etkinin artmasına neden oldu (Çizelge.2).

Çizelge 2 : 0.,10. ve 20. günlerde 0(kontrol), 10 ppm ve 20 ppm bor, 200mM NaCl ve bor+tuz (10 ppm bor+200 mM NaCl; 20 ppm bor+200 mM NaCl) uygulanmış bitkilerde kök uzunluğundaki (cm) değişimler (n=20).

| Uygulama Grupları | <i>B. vulgaris</i> cv. ansa | <i>Beta lomatogona</i> L. |
|--|-----------------------------|---------------------------|
| 0. Gün | 8,65 | 7,90 |
| 10. gün kontrol | 8,34 | 8,10 |
| 10. gün 200 mM NaCl | 8,13 | 8,02 |
| 10. gün 10 ppm H₃BO₃ | 8,84 | 8,34 |
| 10. gün 20 ppm H₃BO₃ | 8,19 | 8,20 |
| 10. gün 10ppm H₃BO₃+200mMNaCl | 8,01 | 8,11 |
| 10. gün 20ppm H₃BO₃+200mMNaCl | 7,94 | 7,82 |
| 20. gün kontrol | 8,94 | 8,67 |
| 20. gün 200 mM NaCl | 8,17 | 8,44 |
| 20. gün 10 ppm H₃BO₃ | 10,59 | 9,56 |
| 20. gün 20 ppm H₃BO₃ | 7,92 | 8,22 |
| 20. gün 10ppm H₃BO₃+200mMNaCl | 8,34 | 8,45 |
| 20. gün 20ppm H₃BO₃+200mMNaCl | 7,50 | 7,88 |

Çizelge 3 : 0.,10. ve 20. günlerde 0(kontrol), 10 ppm ve 20 ppm bor, 200mM NaCl ve bor+tuz (10 ppm bor+200 mM NaCl; 20 ppm bor+200 mM NaCl) uygulanmış bitkilerde gövde yaş ve kuru ağırlık (g) değişimleri (n=20).

| Uygulama Grupları | <i>B. vulgaris cv. ansa</i> | | <i>Beta lomatoğona L.</i> | |
|--|-----------------------------|--------------------|---------------------------|--------------------|
| | Gövde yaş ağırlık | Gövde kuru ağırlık | Gövde yaş ağırlık | Gövde kuru ağırlık |
| 0. Gün | 1,28 | 0,076 | 1,15 | 0,065 |
| 10. gün kontrol | 2,35 | 0,170 | 2,42 | 0,177 |
| 10. gün 200 mM NaCl | 2,02 | 0,139 | 2,21 | 0,149 |
| 10. gün 10 ppm H₃BO₃ | 1,86 | 0,142 | 2,37 | 0,172 |
| 10. gün 20 ppm H₃BO₃ | 2,34 | 0,163 | 2,45 | 0,180 |
| 10. gün 10ppm H₃BO₃+200mMNaCl | 2,22 | 0,151 | 2,35 | 0,175 |
| 10. gün 20ppm H₃BO₃+200mMNaCl | 1,98 | 0,139 | 2,23 | 0,153 |
| 20. gün kontrol | 2,81 | 0,237 | 3,01 | 0,255 |
| 20. gün 200 mM NaCl | 2,40 | 0,205 | 2,75 | 0,231 |
| 20. gün 10 ppm H₃BO₃ | 3,62 | 0,303 | 3,29 | 0,274 |
| 20. gün 20 ppm H₃BO₃ | 2,19 | 0,183 | 2,76 | 0,230 |
| 20. gün 10ppm H₃BO₃+200mMNaCl | 2,58 | 0,212 | 2,88 | 0,238 |
| 20. gün 20ppm H₃BO₃+200mMNaCl | 1,82 | 0,152 | 2,55 | 0,213 |

Her iki türün farklı bor ve tuz uygulamaları sonucunda, gövde yaş ve kuru ağırlıklarında gözlenen değişimler çizelge 3'te görülmektedir. *B. vulgaris cv. ansa* da 10 günlük NaCl ve 10 ppm borik asit uygulaması gövde yaş ağırlığında kontrole göre sırasıyla %14, %20 azalmaya neden oldu. 20 ppm borik asit uygulamasında ise belirgin bir fark gözlenmedi. 20 ppm borik asit ve 200 mM NaCl uygulanan seride de gövde yaş ağırlığında yaklaşık %16 azalma oldu. Bor ve tuz uygulamalarının 20. gününde ise *B. vulgaris cv. ansa* 'nın gövde

yaş ağırlığı 10 ppm borik asit uygulamasıyla %29 artarken 20 ppm borik asit uygulaması ile %22 azaldı. 20 ppm borik asit ve 200mM tuz uygulamasında ise %35 azalma gözlemlendi.

Yabani tür *B. lomatogona* da ise 10 günlük bor ve tuz uygulamaları, gövde yaş ağırlığında diğer türe göre daha az bir düşüşe neden oldu (200mM NaCl'da: %9; 20ppm borik asit+200mM NaCl'de: %8). 20. günde ise 20ppm bor ile 200mM NaCl'ün birlikte uygulandığı serilerde, gövde yaş ağırlığı %15 azaldı. Gövde kuru ağırlıklarında ise her iki türde benzer sonuçlar elde edildi.

Çizelge 4 : 0.,10. ve 20. günlerde 0(kontrol), 10 ppm ve 20 ppm bor, 200mM NaCl ve bor+tuz (10 ppm bor+200 mM NaCl; 20 ppm bor+200 mM NaCl) uygulanmış bitkilerde kök yaş ve kuru ağırlık (g) değişimleri (n=20).

| Uygulama Grupları | <i>B. vulgaris cv. ansa</i> | | <i>Beta lomatogona L.</i> | |
|--|-----------------------------|------------------|---------------------------|------------------|
| | Kök yaş ağırlık | Kök kuru ağırlık | Kök yaş ağırlık | Kök kuru ağırlık |
| 0. Gün | 0,069 | 0,0050 | 0,065 | 0,0047 |
| 10. gün kontrol | 0,063 | 0,0078 | 0,067 | 0,0083 |
| 10. gün 200 mM NaCl | 0,057 | 0,0070 | 0,061 | 0,0068 |
| 10. gün 10 ppm H₃BO₃ | 0,059 | 0,0073 | 0,065 | 0,0072 |
| 10. gün 20 ppm H₃BO₃ | 0,077 | 0,0086 | 0,069 | 0,0077 |
| 10. gün 10ppm H₃BO₃+200mMNaCl | 0,061 | 0,0068 | 0,064 | 0,0071 |
| 10. gün 20ppm H₃BO₃+200mMNaCl | 0,049 | 0,056 | 0,062 | 0,0069 |
| 20. gün kontrol | 0,092 | 0,0137 | 0,108 | 0,0157 |
| 20. gün 200 mM NaCl | 0,083 | 0,0124 | 0,097 | 0,0142 |
| 20. gün 10 ppm H₃BO₃ | 0,1448 | 0,0229 | 0,1337 | 0,0210 |
| 20. gün 20 ppm H₃BO₃ | 0,07071 | 0,0089 | 0,099 | 0,0120 |
| 20. gün 10ppm H₃BO₃+200mMNaCl | 0,0851 | 0,0109 | 0,096 | 0,0113 |
| 20. gün 20ppm H₃BO₃+200mMNaCl | 0,0642 | 0,0081 | 0,091 | 0,0110 |

İki türe ait kök yaş ve kuru ağırlıkları Çizelge 4’de görülmektedir. *B. vulgaris cv. ansa* da 10 günlük 200 mM NaCl uygulaması sonunda kök yaş ağırlığında yaklaşık %9 luk, 10 ppm bor uygulaması sonunda ise %6 lık bir azalma oldu. 20 ppm bor uygulaması ise kök yaş ağırlığında %22 lik bir artış yarattı. 10 ppm bor+ 200 mM NaCl uygulanan serilerde önemli bir fark gözlenmezken, 10 gün 20 ppm bor ve 200 mM NaCl uygulaması kök yaş ağırlığında %22 azalmaya neden oldu. 20 günlük bor ve tuz uygulamaları sonunda ise 10 ppm bor uygulaması % 57 artışa neden olurken 20 ppm bor uygulaması % 23 azalma oluşturdu. 20 ppm bor +200mM NaCl uygulanan bitkilerde ise kök yaş ağırlığının % 30 azaldığı saptandı. *B. lomatogona* da ise 10 günlük farklı bor ve tuz uygulamaları kontrol grubuna göre kök yaş ağırlığında önemli bir değişim yaratmadı. 20. günün sonunda ise, 10 ppm bor uygulaması %24 artışa neden olurken, 20 ppm bor uygulaması % 9 azalma yarattı. 20ppm bor+ 200mMNaCl uygulanan serilerde ise kök yaş ağırlığında %16 azalma saptandı.

3.2 Fotosentetik Verimle İlgili Sonuçlar

Çizelge 5 : 0.,10. ve 20. günlerde 0(kontrol), 10 ppm ve 20 ppm bor, 200mM NaCl ve bor+tuz (10 ppm bor+200 mM NaCl; 20 ppm bor+200 mM NaCl) uygulanmış bitkilerde Fotosentetik verim sonuçları (Fv/Fm değerleri).

| Uygulama Grupları | <i>B. vulgaris cv. ansa</i> | <i>Beta lomatogona L.</i> |
|--|-----------------------------|---------------------------|
| 0. Gün | 0,835 | 0,826 |
| 10. gün kontrol | 0,835 | 0,824 |
| 10. gün 200 mM NaCl | 0,830 | 0,832 |
| 10. gün 10 ppm H₃BO₃ | 0,834 | 0,837 |
| 10. gün 20 ppm H₃BO₃ | 0,832 | 0,835 |
| 10. gün 10ppm H₃BO₃+200mMNaCl | 0,834 | 0,840 |
| 10. gün 20ppm H₃BO₃+200mMNaCl | 0,830 | 0,842 |
| 20. gün kontrol | 0,834 | 0,828 |
| 20. gün 200 mM NaCl | 0,832 | 0,833 |
| 20. gün 10 ppm H₃BO₃ | 0,835 | 0,840 |
| 20. gün 20 ppm H₃BO₃ | 0,832 | 0,842 |
| 20. gün 10ppm H₃BO₃+200mMNaCl | 0,833 | 0,845 |
| 20. gün 20ppm H₃BO₃+200mMNaCl | 0,830 | 0,842 |

Farklı miktarlarda bor ve tuz uygulanan bitkilerin fotosentetik verimlerini belirlemek için Fv/Fm değerleri ölçüldü (Çizelge 5). *B. vulgaris cv. ansa* da, bor ve tuz uygulanan serilerde, Fv/Fm değerlerinde kontrol gruplarına göre az da olsa bir düşüş gözlemlendi. *B. lomatogona* da ise bor ve tuz uygulanmış grupların Fv/Fm değerlerinin arttığı belirlendi.

3.3 Bağlı Su İçeriği ile İlgili Sonuçlar

Çizelge 6 : 0.,10. ve 20. günlerde 0(kontrol), 10 ppm ve 20 ppm bor, 200mM NaCl ve bor+tuz (10 ppm bor+200 mM NaCl; 20 ppm bor+200 mM NaCl) uygulanmış bitkilerde Bağlı su içeriği (%)

| Uygulama Grupları | <i>B. vulgaris cv. ansa</i> | <i>Beta lomatogona L.</i> |
|--|-----------------------------|---------------------------|
| 0. Gün | 86,02 | 84,76 |
| 10. gün kontrol | 84,12 | 84,84 |
| 10. gün 200 mM NaCl | 82,74 | 83,77 |
| 10. gün 10 ppm H₃BO₃ | 83,49 | 83,53 |
| 10. gün 20 ppm H₃BO₃ | 84,07 | 83,22 |
| 10. gün 10ppm H₃BO₃+200mMNaCl | 82,15 | 84,15 |
| 10. gün 20ppm H₃BO₃+200mMNaCl | 81,08 | 82,37 |
| 20. gün kontrol | 85,33 | 85,78 |
| 20. gün 200 mM NaCl | 82,55 | 84, 42 |
| 20. gün 10 ppm H₃BO₃ | 83,92 | 84,82 |
| 20. gün 20 ppm H₃BO₃ | 82,12 | 83,25 |
| 20. gün 10ppm H₃BO₃+200mMNaCl | 81,43 | 83,15 |
| 20. gün 20ppm H₃BO₃+200mMNaCl | 80,09 | 82,68 |

Çizelge 6'da *B. vulgaris cv. ansa* ve *B. lomatogona* bitkilerinin farklı bor ve tuz uygulanmış gruplarında belirlenen bağlı su içeriği değerleri görülmektedir. *B. vulgaris cv. ansa* da bor ve tuz uygulamasına bağlı olarak bağlı su içeriklerinde az miktarda düşüşler saptandı. En fazla düşüş, 20. günde 20 ppm bor+200 mm NaCl tuz uygulanan serilerde gözlemlendi. *B. lomatogona* da ise bor ve tuz bağlı su içeriğinde çok daha az düşüşe neden oldu.

3.4 Total Protein Miktarı ile İlgili Sonuçlar

Bor ve tuz uygulamalarının, çözünmüş protein miktarları üzerine bağımsız ve birlikte etkileri Çizelge 7 de verilmiştir. Çizelgeden de anlaşıldığı gibi, özellikle tuz stresinin etkisi ile her iki bitki grubunda da protein seviyelerinde azalma kaydedilirken, bu azalma 20. gün de daha belirgin görüldü. *B. vulgaris cv ansa*'da 10. gün NaCl uygulamasında azalma yaklaşık % 27, *B. lomatogona*'da ise % 9 seviyelerinde gözlemlendi. Yine 10. günde, 10 ve 20 ppm lik bor uygulamalarında, protein miktarlarında, *B. vulgaris cv ansa*'da sırasıyla % 5 ve % 9 oranlarında azalma, *B. lomatogona*'da % 3 ve % 5 oranlarında artış elde edildi. 20. gün sonuçları incelendiğinde, tuz stresi uygulamasında, *B. lomatogona*'da protein miktarındaki azalmanın (% 17), *B. vulgaris cv ansa*'dan (% 30) daha düşük düzeyde kaldığı görüldü. Bor ve Bor + NaCl uygulanan gruplarda ise protein miktarlarındaki azalma, tam tersi bir eğilim gösterdi.

Çizelge 7 : 0., 10. ve 20. günlerde 0 (kontrol), 10 ppm ve 20 ppm Bor, 200mM NaCl ve Bor + tuz (10 ppm Bor + 200 mM NaCl; 20 ppm Bor +200 mM NaCl) uygulanmış bitkilerde protein miktarlarındaki (mg g yaş ağırlık⁻¹) değişimler (n = 6).

| Uygulama Grupları | <i>B. vulgaris cv. ansa</i> | <i>Beta lomatogona L.</i> |
|--|-----------------------------|---------------------------|
| 0. Gün | 1.67 | 1.44 |
| 10. gün kontrol | 1.69 | 1.50 |
| 10. gün 200 mM NaCl | 1.23 | 1.36 |
| 10. gün 10 ppm H₃BO₃ | 1.61 | 1.55 |
| 10. gün 20 ppm H₃BO₃ | 1.54 | 1.58 |
| 10. gün 10ppm H₃BO₃+200mMNaCl | 1.45 | 1.45 |
| 10. gün 20ppm H₃BO₃+200mMNaCl | 1.52 | 1.49 |
| 20. gün kontrol | 1.68 | 1.55 |
| 20. gün 200 mM NaCl | 1.18 | 1.28 |
| 20. gün 10 ppm H₃BO₃ | 1.62 | 1.34 |
| 20. gün 20 ppm H₃BO₃ | 1.62 | 1.38 |
| 20. gün 10ppm H₃BO₃+200mMNaCl | 1.56 | 1.39 |
| 20. gün 20ppm H₃BO₃+200mMNaCl | 1.54 | 1.41 |

3.5 Antioksidant Enzim Aktiviteleri ile İlgili Sonuçlar

B. vulgaris cv ansa ve *B. lomatogona* bitkilerinde, antioksidant enzim aktivitelerindeki değişimler incelendiğinde, SOD, APX, POX, CAT ve GR enzimlerine ait sonuçların tümünde genel olarak en belirgin etkinin 20 günde ve tuz uygulaması sonucunda ortaya çıktığı ve yabancı türün temel enzim düzeyleri ve aktivitelerdeki yükseliş açısından daha üstün olduğu görüldü (Çizelgeler 8,9,10,11,12).

SOD enzimine ait sonuçlar, çizelge 8 de verilmiştir. 10. gün sonuçları incelendiğinde, NaCl ve Bor uygulamalarında her iki grupta da azalma görüldü, en belirgin olanlar sırasıyla, % 7 ve % 13 ile *B. vulgaris cv ansa*'da, % 12 ve % 24 ile *B. lomatogona*'da görüldü. Ayrıca, 10 ppm H₃BO₃ + 200 mM NaCl ve 20 ppm H₃BO₃ + 200 mM NaCl uygulamalarında, SOD aktivitelerinde, *B. lomatogona*'da sırasıyla % 20 ve 16 oranlarında azalma görülürken, *B. vulgaris cv ansa*'da % 20 ve 13 oranlarında artış belirlendi. 20. gün sonuçları ele alındığında, NaCl uygulamasında, *B. vulgaris cv ansa*'da artış % 7 düzeyinde kalırken, yabancı türde, bu oran % 17 seviyelerindeydi. *B. lomatogona*'da, NaCl + Bor uygulanan gruplarda ise % 33 ve %37'lik artış görüldü.

Çizelge 8 : 0., 10. ve 20. günlerde 0 (Kontrol), 10 ppm ve 20 ppm Bor, 200mM NaCl ve Bor + tuz (10 ppm Bor + 200 mM NaCl; 20 ppm Bor +200 mM NaCl) uygulanmış bitkilerde SOD aktivitesindeki (ünite g yaş ağırlık⁻¹) değişimler (n = 6).

| Uygulama Grupları | <i>B. vulgaris cv. ansa</i> | <i>Beta lomatogona L.</i> |
|--|-----------------------------|---------------------------|
| 0. Gün | 11 | 20 |
| 10. gün kontrol | 15 | 25 |
| 10. gün 200 mM NaCl | 14 | 22 |
| 10. gün 10 ppm H₃BO₃ | 13 | 19 |
| 10. gün 20 ppm H₃BO₃ | 13 | 18 |
| 10. gün 10ppm H₃BO₃+200mMNaCl | 18 | 20 |
| 10. gün 20ppm H₃BO₃+200mMNaCl | 17 | 21 |
| 20. gün kontrol | 14 | 30 |
| 20. gün 200 mM NaCl | 15 | 35 |
| 20. gün 10 ppm H₃BO₃ | 14 | 28 |
| 20. gün 20 ppm H₃BO₃ | 15 | 30 |
| 20. gün 10ppm H₃BO₃+200mMNaCl | 20 | 40 |
| 20. gün 20ppm H₃BO₃+200mMNaCl | 24 | 41 |

APX aktivitelerindeki değişim incelendiğinde, her iki bitkide de 10. ve 20. günlerde, NaCl ve Bor + NaCl gruplarında artış görüldü (çizelge 9). 10. günde en yüksek artış *B. lomatogona*'da NaCl, 10 ppm H₃BO₃ + 200 mM NaCl ve 20 ppm H₃BO₃ + 200 mM NaCl uygulamalarında, sırasıyla, % 13, % 19 ve % 25 seviyelerinde gözlemlendi. 20. günde tüm uygulama gruplarında iki türde de enzim düzeylerinde artış elde edildi. Özellikle, 10 ppm H₃BO₃ + 200 mM NaCl ve 20 ppm H₃BO₃ + 200 mM NaCl uygulama yapılan gruplarda artış, *B. vulgaris cv ansa*'da, % 25 ve % 32; *B. lomatogona*'da ise % 33 ve % 36 olarak belirlendi.

Çizelge 9 : 0., 10. ve 20. günlerde 0 (Kontrol), 10 ppm ve 20 ppm Bor, 200mM NaCl ve Bor + tuz (10 ppm Bor + 200 mM NaCl; 20 ppm Bor +200 mM NaCl) uygulanmış bitkilerde APX aktivitesindeki (ünite g yaş ağırlık⁻¹) değişimler (n = 6).

| Uygulama Grupları | <i>B. vulgaris cv. ansa</i> | <i>Beta lomatogona L.</i> |
|--|-----------------------------|---------------------------|
| 0. Gün | 50 | 75 |
| 10. gün kontrol | 65 | 80 |
| 10. gün 200 mM NaCl | 69 | 90 |
| 10. gün 10 ppm H₃BO₃ | 55 | 87 |
| 10. gün 20 ppm H₃BO₃ | 60 | 89 |
| 10. gün 10ppm H₃BO₃+200mMNaCl | 70 | 95 |
| 10. gün 20ppm H₃BO₃+200mMNaCl | 72 | 100 |
| 20. gün kontrol | 68 | 90 |
| 20. gün 200 mM NaCl | 80 | 100 |
| 20. gün 10 ppm H₃BO₃ | 70 | 95 |
| 20. gün 20 ppm H₃BO₃ | 74 | 98 |
| 20. gün 10ppm H₃BO₃+200mMNaCl | 85 | 120 |
| 20. gün 20ppm H₃BO₃+200mMNaCl | 90 | 122 |

POX aktivitesindeki değişimler, NaCl uygulanan gruplarda 10. günde her iki türde de % 50 olarak görülürken, 20. günde, *B. vulgaris cv ansa*'da, % 75 ve *B. lomatogona*'da % 43 olarak belirlendi (çizelge 10). 20 gün sonuçları incelendiğinde *B. vulgaris cv ansa*'da artış seviyelerinin tüm uygulama gruplarında daha fazla olduğu saptandı. Yabani türde ise her iki

günde de kontrol gruplarında temel enzim seviyeleri yüksek olmasına rağmen, 10. günde 10 ppm bor uygulaması dışındaki tüm uygulamalarda, aktivite artışı kültür türünün gerisinde kaldı. *B. vulgaris cv ansa*'da, 20. günde, 10 ppm H₃BO₃ + 200 mM NaCl uygulanan grupta POX aktivitesi % 108 oranında artarken, 20 ppm H₃BO₃ + 200 mM NaCl uygulanan grupta, artış % 125 oranında belirlendi (çizelge 10).

Çizelge 10: 0., 10. ve 20. günlerde 0 (Kontrol), 10 ppm ve 20 ppm Bor, 200mM NaCl ve Bor + tuz (10 ppm Bor + 200 mM NaCl; 20 ppm Bor +200 mM NaCl) uygulanmış bitkilerde POX aktivitesindeki (ünite g yaş ağırlık⁻¹) değişimler (n = 6).

| Uygulama Grupları | <i>B. vulgaris cv. ansa</i> | <i>Beta lomatogona L.</i> |
|--|-----------------------------|---------------------------|
| 0. Gün | 5 | 9 |
| 10. gün kontrol | 8 | 12 |
| 10. gün 200 mM NaCl | 12 | 18 |
| 10. gün 10 ppm H₃BO₃ | 9 | 14 |
| 10. gün 20 ppm H₃BO₃ | 11 | 13 |
| 10. gün 10ppm H₃BO₃+200mMNaCl | 16 | 20 |
| 10. gün 20ppm H₃BO₃+200mMNaCl | 20 | 22 |
| 20. gün kontrol | 12 | 21 |
| 20. gün 200 mM NaCl | 21 | 30 |
| 20. gün 10 ppm H₃BO₃ | 15 | 25 |
| 20. gün 20 ppm H₃BO₃ | 14 | 23 |
| 20. gün 10ppm H₃BO₃+200mMNaCl | 25 | 32 |
| 20. gün 20ppm H₃BO₃+200mMNaCl | 27 | 35 |

CAT aktivitesindeki artış, 10. günde, tüm uygulama gruplarında, *B. vulgaris cv ansa*'da ve *B. lomatogona*'da hemen hemen benzer düzeylerde kaldı (Çizelge11). Diğer enzimlerde de görüldüğü gibi, yabani türün 10. ve 20. gündeki temel seviyeleri diğer türe göre çok daha yüksektir. Bununla birlikte, özellikle 20. günde, *B. vulgaris cv ansa*'da NaCl uygulamasında % 47, 10 ppm H₃BO₃ + 200 mM NaCl uygulamasında % 60 ve 20 ppm H₃BO₃ + 200 mM NaCl uygulamasında % 67 olarak saptanan CAT enziminin aktivitesindeki artış, aynı uygulama grupları için, *B. lomatogona*'da sırasıyla % 20, % 26 ve % 36 olarak belirlendi.

Çizelge 11 : 0., 10. ve 20. günlerde 0 (Kontrol), 10 ppm ve 20 ppm Bor, 200mM NaCl ve Bor + tuz (10 ppm Bor + 200 mM NaCl; 20 ppm Bor +200 mM NaCl) uygulanmış bitkilerde CAT aktivitesindeki (ünite g yaş ağırlık⁻¹) değişimler (n = 6).

| Uygulama Grupları | <i>B. vulgaris cv. ansa</i> | <i>Beta lomatogona L.</i> |
|--|-----------------------------|---------------------------|
| 0. Gün | 15 | 20 |
| 10. gün kontrol | 18 | 30 |
| 10. gün 200 mM NaCl | 28 | 45 |
| 10. gün 10 ppm H₃BO₃ | 22 | 35 |
| 10. gün 20 ppm H₃BO₃ | 25 | 39 |
| 10. gün 10ppm H₃BO₃+200mMNaCl | 30 | 49 |
| 10. gün 20ppm H₃BO₃+200mMNaCl | 31 | 52 |
| 20. gün kontrol | 30 | 50 |
| 20. gün 200 mM NaCl | 44 | 60 |
| 20. gün 10 ppm H₃BO₃ | 36 | 52 |
| 20. gün 20 ppm H₃BO₃ | 39 | 55 |
| 20. gün 10ppm H₃BO₃+200mMNaCl | 48 | 63 |
| 20. gün 20ppm H₃BO₃+200mMNaCl | 50 | 68 |

Glutasyon redüktaz enziminin aktivitesindeki değişimler incelendiğinde, yabani türün temel düzeylerinin her iki günde de diğerine göre çok daha yüksek olduğu görülmektedir (çizelge12). NaCl ve Bor + NaCl uygulanan grupların sonuçları incelendiğinde, *B. vulgaris cv ansa*'da artış oranları sırasıyla 10. günde % 35, % 48 ve % 61; 20. günde ise % 43, % 60 ve % 69 olarak belirlendi. *B. lomatogona*'da ise, artış oranları sırasıyla 10. günde % 24, % 33 ve % 43; 20. günde ise % 35, % 44 ve % 52 olarak elde edildi. Bor uygulamasının yapıldığı gruplardaki artış oranları özellikle *B. vulgaris cv ansa*'da 20. günde (% 12 ve % 24), *B. lomatogona*'da ise, 10. günde (% 10 ve % 14) daha büyük farklılık gösterdi.

Genel olarak her iki türde de tüm antioksidant enzim (SOD, APX, POX, CAT, GR) aktivitelerinde meydana gelen değişimler, bu bitkilerin Bor uygulamasından çok NaCl ve NaCl + Bor uygulamasından etkilendiğini ortaya koymaktadır. Yine tüm enzim sonuçlarında daha önceden de belirtildiği gibi temel enzim seviyelerinin yüksek olması nedeni ile *B.*

lomatogona, antioksidant savunma sistemini daha iyi kültür türüne göre daha iyi çalıştırdığı düşünülmektedir.

Çizelge 12 : 0., 10. ve 20. günlerde 0 (Kontrol), 10 ppm ve 20 ppm Bor, 200mM NaCl ve Bor + tuz (10 ppm Bor + 200 mM NaCl; 20 ppm Bor +200 mM NaCl) uygulanmış bitkilerde GR aktivitesindeki (ünite g yaş ağırlık⁻¹) değişimler (n = 6).

| Uygulama Grupları | <i>B. vulgaris cv. ansa</i> | <i>Beta lomatogona L.</i> |
|---|-----------------------------|---------------------------|
| 0. Gün | 20 | 35 |
| 10. gün kontrol | 31 | 42 |
| 10. gün 200 mM NaCl | 42 | 52 |
| 10. gün 10 ppm H ₃ BO ₃ | 33 | 46 |
| 10. gün 20 ppm H ₃ BO ₃ | 34 | 48 |
| 10. gün 10ppm H ₃ BO ₃ +200mMNaCl | 46 | 56 |
| 10. gün 20ppm H ₃ BO ₃ +200mMNaCl | 50 | 60 |
| 20. gün kontrol | 42 | 54 |
| 20. gün 200 mM NaCl | 60 | 73 |
| 20. gün 10 ppm H ₃ BO ₃ | 47 | 56 |
| 20. gün 20 ppm H ₃ BO ₃ | 52 | 61 |
| 20. gün 10ppm H ₃ BO ₃ +200mMNaCl | 67 | 78 |
| 20. gün 20ppm H ₃ BO ₃ +200mMNaCl | 71 | 82 |

3.6 Prolin Miktarları ileİlgili Sonuçlar

Serbest prolin düzeylerindeki değişimler çizelge 13 de verilmiştir. Prolin miktarlarındaki değişimler incelendiğinde, yabancı türün özellikle tuz stresi altında daha fazla miktarda prolin biriktirdiği görüldü. Bu oranlar, 10. gün NaCl uygulamasında, % 100, 10 ppm H₃BO₃ + 200 mM NaCl uygulamasında, % 126, 20 ppm H₃BO₃ + 200 mM NaCl uygulamasında % 128 olarak belirlenirken 20. günde NaCl uygulamasında, % 63, 10 ppm H₃BO₃ + 200 mM NaCl uygulamasında, % 88, 20 ppm H₃BO₃ + 200 mM NaCl uygulamasında % 105 olarak elde edildi. *B. vulgaris cv ansa*'da ise en yüksek prolin birikimi 20. günde, 20 ppm H₃BO₃ + 200 mM NaCl uygulanan grupta saptandı (% 160).

Çizelge 13 : 0., 10. ve 20. günlerde Kontrol, 10 ppm ve 20 ppm Bor, 200mM NaCl ve Bor + tuz uygulanmış bitkilerde prolin miktarındaki ($\mu\text{g g yaş ağırlık}^{-1}$) değişimler (n = 6).

| Uygulama Grupları | <i>B. vulgaris cv. ansa</i> | <i>Beta lomatogona L.</i> |
|--|-----------------------------|---------------------------|
| 0. Gün | 1.5 | 2.2 |
| 10. gün kontrol | 1.8 | 2.5 |
| 10. gün 200 mM NaCl | 3.5 | 5.0 |
| 10. gün 10 ppm H₃BO₃ | 2.0 | 3.0 |
| 10. gün 20 ppm H₃BO₃ | 2.2 | 3.4 |
| 10. gün 10ppm H₃BO₃+200mMNaCl | 4.0 | 5.5 |
| 10. gün 20ppm H₃BO₃+200mMNaCl | 4.4 | 5.7 |
| 20. gün kontrol | 2.0 | 4.0 |
| 20. gün 200 mM NaCl | 4.5 | 6.5 |
| 20. gün 10 ppm H₃BO₃ | 2.5 | 6.8 |
| 20. gün 20 ppm H₃BO₃ | 3.0 | 7.0 |
| 20. gün 10ppm H₃BO₃+200mMNaCl | 4.9 | 7.5 |
| 20. gün 20ppm H₃BO₃+200mMNaCl | 5.2 | 8.2 |

3.7 Lipid Peroksidasyonu ile İlgili Sonuçlar

Lipid peroksidasyonu sonuçları incelendiğinde ise, çizelge 14 de de görüldüğü gibi en yüksek değerler *B. vulgaris cv ansa*'da belirlendi. Özellikle NaCl ve NaCl + Bor uygulanan gruplarda, her iki günde de lipid peroksidasyonun da artış kaydedildi. Bu artış 10. günde sırasıyla, % 40, % 48 ve % 58 iken, 20. günde % 26, % 32 ve %38 olarak gözlemlendi. *B. lomatogona*'da ise, 200 mM NaCl, 10 ppm H₃BO₃ + 200 mM NaCl ve 20 ppm H₃BO₃ + 200 mM NaCl uygulanan gruplarda değişim oranları 10. günde sırasıyla % 9, % 13 ve % 19 iken, 20. günde % 17, % 20 ve % 23 olarak saptandı.

Çizelge 14 : 0., 10. ve 20. günlerde Kontrol, 10 ppm ve 20 ppm Bor, 200mM NaCl ve Bor + tuz uygulanmış bitkilerde lipid peroksidasyonundaki (nmol g yaş ağırlık⁻¹) değişimler (n=6).

| Uygulama Grupları | <i>B. vulgaris cv. ansa</i> | <i>Beta lomatogona L.</i> |
|--|-----------------------------|---------------------------|
| 0. Gün | 4.5 | 4.8 |
| 10. gün kontrol | 5.0 | 5.3 |
| 10. gün 200 mM NaCl | 7.0 | 5.8 |
| 10. gün 10 ppm H₃BO₃ | 6.2 | 5.5 |
| 10. gün 20 ppm H₃BO₃ | 6.6 | 5.6 |
| 10. gün 10ppm H₃BO₃+200mMNaCl | 7.4 | 6.0 |
| 10. gün 20ppm H₃BO₃+200mMNaCl | 7.9 | 6.3 |
| 20. gün kontrol | 6.5 | 6.0 |
| 20. gün 200 mM NaCl | 8.2 | 7.0 |
| 20. gün 10 ppm H₃BO₃ | 7.6 | 6.3 |
| 20. gün 20 ppm H₃BO₃ | 7.8 | 6.6 |
| 20. gün 10ppm H₃BO₃+200mMNaCl | 8.6 | 7.2 |

3.8 Bor Miktarı ile İlgili Sonuçlar

Bor miktarındaki değişimler, iki bitkide de benzer eğilim göstermiştir (çizelge 15). Genel olarak her iki türünde bor uygulanan gruplarda, daha az bor biriktirdiği veya bor düzeylerinin değişmediği belirlendi. 10. günde *B. vulgaris cv ansa*'da, her iki bor uygulamasında da bor miktarı yaklaşık % 17 oranında azalırken, *B. lomatogona*'da bor miktarı kontrol düzeylerinde kaldı. 20. günde ise, *B. vulgaris cv ansa*'da 10 ppm H₃BO₃ uygulamasında, % 50 oranında azalma görülürken, 20 ppm H₃BO₃ uygulanan grupta ise kontrol ile aynı düzeyde bor birikti. Yabani türde ise, 10 ppm H₃BO₃ uygulamasında, % 28, 20 ppm H₃BO₃ uygulanan grupta ise, % 39 oranında azalma gözlemlendi. NaCl ve NaCl + Bor uygulanan gruplar incelendiğinde ise, 20. gün sonuçları daha belirgin değişimler gösterdi. *B. vulgaris cv ansa*'da, NaCl uygulanan grupta bor birikimi % 15 oranında azalırken bu oran *B. lomatogona*'da % 33 olarak tespit edildi. Sırasıyla, 10 ppm H₃BO₃ + 200 mM NaCl ve 20 ppm H₃BO₃ + 200 mM NaCl uygulanan gruplardaki değişimler, *B. vulgaris cv ansa*'da % 25 ve % 30 iken, *B. lomatogona*'da, % 44 ve % 50 olarak belirlendi.

Çizelge 15 : 0., 10. ve 20. günlerde 0 (Kontrol), 10 ppm ve 20 ppm Bor, 200mM NaCl ve Bor + tuz (10 ppm Bor + 200 mM NaCl; 20 ppm Bor +200 mM NaCl) uygulanmış bitkilerde Bor miktarındaki (ppm g kuru ağırlık⁻¹) değişimler (n = 6).

| Uygulama Grupları | <i>B. vulgaris cv. ansa</i> | <i>Beta lomatogona L.</i> |
|--|-----------------------------|---------------------------|
| 0. Gün | 7 | 8 |
| 10. gün kontrol | 12 | 10 |
| 10. gün 200 mM NaCl | 10 | 9 |
| 10. gün 10 ppm H₃BO₃ | 10 | 10 |
| 10. gün 20 ppm H₃BO₃ | 8 | 10 |
| 10. gün 10ppm H₃BO₃+200mMNaCl | 11 | 9 |
| 10. gün 20ppm H₃BO₃+200mMNaCl | 12 | 8 |
| 20. gün kontrol | 20 | 18 |
| 20. gün 200 mM NaCl | 17 | 12 |
| 20. gün 10 ppm H₃BO₃ | 10 | 13 |
| 20. gün 20 ppm H₃BO₃ | 20 | 11 |
| 20. gün 10ppm H₃BO₃+200mMNaCl | 15 | 10 |
| 20. gün 20ppm H₃BO₃+200mMNaCl | 14 | 9 |

3.9 Na⁺ ve Cl⁻ Miktarları ile İlgili Sonuçlar

Çizelgeler 16 ve 17den görüldüğü gibi, genel olarak tüm uygulama gruplarında, 10. ve 20. günlerde, *B. lomatogona* daha fazla Na biriktirirken, *B. vulgaris cv ansa* daha fazla Cl biriktirmiştir. Her iki bitkide de NaCl ve Borun birlikte uygulandığı gruplarda iyon birikimi oranları artmıştır. *B. lomatogona*'da Na birikimi en yüksek düzeye 10. gün, 10 ppm H₃BO₃ + 200 mM NaCl uygulamasında, *B. vulgaris cv ansa*'da, Cl birikimi en yüksek düzeye 20. gün, 20 ppm H₃BO₃ + 200 mM NaCl uygulamasında ulaştı.

Çizelge 16 : 0., 10. ve 20. günlerde 0 (Kontrol), 200mM NaCl ve Bor + tuz (10 ppm Bor + 200 mM NaCl; 20 ppm Bor +200 mM NaCl) uygulanmış bitkilerde Na miktarındaki (%) değişimler (n = 6).

| Uygulama Grupları | <i>B. vulgaris cv. ansa</i> | <i>Beta lomatogona L.</i> |
|--|-----------------------------|---------------------------|
| 0. Gün | 0.9 | 1.0 |
| 10. gün kontrol | 1.2 | 1.4 |
| 10. gün 200 mM NaCl | 3.6 | 5.2 |
| 10. gün 10ppm H₃BO₃+200mMNaCl | 4.2 | 6.0 |
| 10. gün 20ppm H₃BO₃+200mMNaCl | 4.6 | 5.8 |
| 20. gün kontrol | 2.3 | 3.1 |
| 20. gün 200 mM NaCl | 4.5 | 6.3 |
| 20. gün 10ppm H₃BO₃+200mMNaCl | 4.9 | 6.5 |
| 20. gün 20ppm H₃BO₃+200mMNaCl | 5.1 | 6.4 |

Çizelge 17 : 0., 10. ve 20. günlerde 0 (Kontrol), 200mM NaCl ve Bor + tuz (10 ppm Bor + 200 mM NaCl; 20 ppm Bor +200 mM NaCl) uygulanmış bitkilerde Cl miktarındaki (%) değişimler (n = 6).

| Uygulama Grupları | <i>B. vulgaris cv. ansa</i> | <i>Beta lomatogona L.</i> |
|--|-----------------------------|---------------------------|
| 0. Gün | 0.2 | 0.3 |
| 10. gün kontrol | 0.3 | 0.3 |
| 10. gün 200 mM NaCl | 0.8 | 0.5 |
| 10. gün 10ppm H₃BO₃+200mMNaCl | 1.4 | 0.8 |
| 10. gün 20ppm H₃BO₃+200mMNaCl | 1.8 | 1.0 |
| 20. gün kontrol | 0.4 | 0.4 |
| 20. gün 200 mM NaCl | 2.2 | 1.1 |
| 20. gün 10ppm H₃BO₃+200mMNaCl | 2.8 | 1.5 |
| 20. gün 20ppm H₃BO₃+200mMNaCl | 3.1 | 1.7 |

4. TARTIŞMA

Bor elementinin fazlalığı sonucu oluşan bor toksisitesi sadece bizim değil tüm dünyanın da önemli bir sorunudur. Tarımsal alanlarda verim kayıplarına neden olan bu stres kaynağı bitkilerde bulunan antioksidatif savunma mekanizmalarının önemli indükleyicilerindendir. Bu konuda çok çeşitli çalışmalar yapılmakla birlikte ve bu faktörün bitkiler üzerinde etkilerinin hangi temel fizyolojik mekanizmalara dayanmakta olduğu açıklığa kavuşturulmamıştır. Şeker pancarı bor elementini hücre düzeyinde biriktirebilme yeteneğine sahiptir fakat bu yeteneğin bitkinin normal gelişme ve büyüme süreçlerini nasıl etkilediği belirgin değildir. Belirtilen konulara projemiz kapsamında elde ettiğimiz sonuçlarla farklı bir bakış açısı getirileceği ve önemli katkılar sağlanacağı düşünülmektedir. Bor toksisitesi kurak ve yarı kurak alanlarda soğuk hava ile birlikte geniş bir yayılım gösteren büyük bir problemdir. Türkiye ise dünyadaki 30 ülke içersinde en yüksek bor seviyesine sahip ülkelerden birisidir ve bor toksisitesinin Orta Anadolu Platosundaki bazı alanlarda önemli bir problem olabileceği düşünülmektedir (Yau ve ark. 1989). Bor toksisitesi ile çinko toksisitesi Orta Anadolu da karşılaşılan en önemli mikro besleyici sorunu olarak görülmektedir (Çakmak, ve ark. 1996).

Bor bitki gelişimi için gerekli bir mikro elementtir. Fakat yeterlilik alanı dardır (Dale ve ark.,1994; Mahalakshmi ve ark., 1995). Yetersizliğinde veya fazlalığında bitki gelişmesi veya ürün miktarı olumsuz etkilenmektedir. Bor kirliliği görülen topraklardaki tarım bitkilerinde insan sağlığını tehdit edecek seviyelerde bor depolanmaktadır (Kavruk.1999). Toprakta 5 ppm'den (0.0074 mM) fazla alınabilir bor bulunması toksisiteye neden olabilir. Bor toksisitesi daha çok kurak ve yarı kurak bölgelerin topraklarında görülür. Bu bölgelerde zaman zaman sulama sularının bor konsantrasyonunda da yükselme tespit edilir (Boşgelmez 2001)

Çalışmamızda bor ve tuz streslerinin, iki farklı pancar türü (*B. vulgaris cv ansa* ve *B. lomatogona*) üzerine, birlikte ve ayrı ayrı etkilerini inceledik. Öncelikle bu streslerin, bitki gelişimi üzerindeki temel etkilerini vurgulayabilmek amacı ile kök, gövde uzunluğu, kök, gövde yaş ve kuru ağırlıkları, bağıl su içeriği, fotosentetik verim gibi parametreler analiz edildi. Borun gövde uzunluğu üzerindeki olumsuz etkisi, her iki bitkide de 20. günde, ve 20 ppm dozunda daha belirgin olarak görüldü. *B. vulgaris cv ansa*'da bu etki daha fazlaydı. Bor ve tuzun birlikte uygulandığı serilerde ise zararlı etkinin *B. vulgaris cv ansa*'da % 28'e

ulaştığı görüldü. Bor ve tuzun gövde uzunluğu üzerine zararlı etkisi *B. lomatogona*'da % 17'de kaldı. Her iki türde de, 10 ppm'lik borik asit uygulamasının, kök ve gövde büyümesini indüklediği belirlendi. Pancar bitkisinin tuz ve bora karşı nispeten daha toleranslı olmasından kaynaklanmaktadır. Tuz ve borun birlikte uygulandığı gruplarda, kök büyümesinin ayrı ayrı (yalnız NaCl ve yalnız bor) uygulandıkları gruplara göre daha fazla engellendiği gözlemlendi. Benzer şekilde, Ermiş (2002), arpa bitkisinde, 20 mmol ve 30 mmol borik asit uygulamalarının radikula uzunluklarında azalma etkisi yarattığını saptamıştır.

Çalışmamızda, *B. vulgaris* cv. *ansa*'nın kök yaş ve kuru ağırlığı, uygulanan tuz ve farklı bor konsantrasyonlarından 10. günden itibaren olumsuz şekilde etkilendiği, en fazla engellenmenin 20 ppm bor ve 200 ppm NaCl uygulanan serilerde olduğu (%22) gözlemlendi. Yabancı tür *B. lomatogona* da ise diğer türün aksine 10 günlük tuz, bor ve bor +tuz uygulamalarının kök yaş ve kuru ağırlığına olumsuz bir etkisi gözlemlenmedi. *B. lomatogona* da bor ve tuz uygulamalarının olumsuz etkisi 20. günde görülmeye başlandı. Kök yaş ağırlığında en fazla azalma 20 ppm bor+ 200 mM NaCl uygulanan serilerde (%16) oldu. Yabancı tür *B. lomatogona*'nın bor ve tuz stresine daha dayanıklı olduğu gözlemlendi. İki stres yaratan etmen bor ve tuz fazlalığı ayrı ayrı uygulandığında *B. lomatogona*'nın diğer türe göre dayanıklılığı daha da fazla oldu.

Yapılan bir araştırmada 5mM bor uygulanan arpa tohumlarında, yaprak yaş ağırlığı ve kök dokularında belli bir azalma görülmemiştir. 10 mM bor uygulamasında ise önemli derecede azalma olmuştur (Karabel ve ark., 2003). Ermiş (2002)'in çalışmasında da farklı *Hordeum vulgare* çeşitlerine bor uygulanması radikula ağırlıklarında kontrol gruplarına göre azalmaya neden olmuştur. Bu sonuçlar da bizim bulgularımızı doğrular niteliktedir. Boşgelmez de (2001) bor miktarı 10 ppm'in (0.147mM) üstüne çıktığında toksik etkinin belirgin biçimde gözlemlendiğini bildirmiştir.

Bitkilerimizde fotosentetik verim ölçümleri de yapılmıştır. Fotosentetik verim, bitkilerin fotosentetik performansının yararlı bir ölçütü olmasına rağmen, asıl önemi bir başka şekilde kolayca elde edilemeyen bilgiye ulaşma yeteneğinde yatar. Fotosenteik verim özellikle, bir bitkinin çevresel streslere dayanma yeteneği ve bu streslerin hangi derecede fotosentetik aygıtı hasar verdiği ile ilgili görüşler sağlayabilmektedir (Maxwell ve ark. 2000).

B. vulgaris cv. ansa da, bor ve tuz uygulanan serilerde, Fv/Fm değerlerinde kontrol gruplarına göre az da olsa bir düştüğü, *B. lomatogona* da ise bor ve tuz uygulanmış grupların Fv/Fm değerlerinin az miktarda arttığı belirlendi. Sonuçta iki pancar türünde de fotosentetik verim de önemli bir değişiklik gözlenmedi. Bu sonuçlar Bor'un (2002) çalışmasıyla da benzerlik göstermektedir. Benzer şekilde Sharma ve Hall (1991) da arpa ve sorgum ile yaptıkları çalışmalarında, tuz stresinin PS I ve PS II aktivitelerinde herhangi bir azalmaya neden olmadığını belirtmişlerdir. Bor (2002) Beta türlerinin tuza toleranslı olmasından dolayı kullanılan NaCl konsantrasyonunun fotosentetik verimi etkilemediğini belirtmektedir. Bu çalışmamız aynı zamanda *Beta* türlerinin bor stresine de belli bir düzeye kadar dayanıklı olduğunu göstermektedir. Çünkü tuz stresine ek olarak bor stresi de uygulandığında bitkilerin fotosentetik verimi etkilenmemiştir. Hatta tek başına bor uygulamasının çoğu zaman bitkilerin gelişimini iyileştirdiği gözlenmiştir.

Yaprak su potansiyeli, bitkiler için önemli izleme faktörlerinden birisidir. Tuz stresinin ilk önce ortaya çıkan kısa dönem etkilerinden biri de bağıl su içeriğinde görülen azalmadır (Munns ve Termaat, 1986). Toprak ve kök nispi su içeriği ile ilişkili olan yaprak su potansiyeli, bitkinin su dengesi bakımından önemli bir faktördür. Mezofilde su dengesi kurulduğu zaman, hücreler intrasellüler hava boşluklarına kolayca su kaybetmezler. Böylece uzun bir süre kuraklık yaşamamış olurlar. Yaprak su potansiyelinin azaldığı noktada yaprak zarar görmeye başlar.

Araştırmamızda tuz ve bor uygulanan gruplarda stresin süresi ve konsantrasyonuna bağlı olarak iki bitkide de bağıl su içeriklerinde az miktarda düşüş gözlenmiştir. Bu düşüş *B. lomatogona* da daha azdır. Sonuçlarımız Bor (2002)'un çalışmasıyla paralellik göstermektedir. Bor (2002), çalışmasında ancak 500mM NaCl uygulanan pancar çeşitlerinde bağıl su içeriklerinin %12-%16 azaldığını, tuza duyarlı bitkilerle yapılan çalışmalarla karşılaştırıldığında (örneğin, prinç bitkisinde olduğu gibi, Sultana ve ark., 1999) yaprak bağıl su içeriğinde görülen azalmanın çok yüksek oranda olmadığını belirtmektedir.

Özellikle tuz stresinin etkisi ile her iki bitki grubunda da protein seviyelerinde azalma kaydedilirken, yalnızca bor uygulanan serilerde çözünür protein düzeyleri daha iyi korunmuştur. Protein sentezi düzeyinde görülen azalma, Aspinall (1986) tarafından da açıklandığı gibi tuz stresinin iyonik etkisi sonucunda meydana gelmektedir. Özellikle Cl⁻ tarafından NO₃⁻ alınımının engellenmesi (Cram 1973; Deane-Drummond ve Glass, 1982)

büyüme ve protein sentezini azaltmaktadır. Sultana ve ark.'nın, (1999) pirinç bitkisinde yaptığı bir çalışmaya göre, tuz stresi sonucunda, başta total protein, olmak üzere, fotosentetik pigment ve şeker miktarlarında düşüş kaydedilmiştir.

Antioksidant enzim aktivitelerinde her iki tür içinde genel eğilim, 20. günde, Tuz ve Tuz + Bor birlikte uygulandığında artış şeklinde oldu. Enzimlerin çoğunda, artış oranları *B. lomatogona*'da daha yüksek düzeydeydi, bununla birlikte, kontrol gruplarındaki enzim seviyeleri karşılaştırıldığında, yine yabancı tür kültür varyetesiye göre daha üstün durumdaydı. Bu sonuç, yabancı türler ile onların kültür akrabaları arasında yapılan çeşitli çalışmalarla paralellik göstermektedir (Gossett ve ark.,1994; Shalata ve Tal, 1998; 2001; Mittova ve ark., 2000; Acar ve ark.,2001).

SOD aktivitesini incelediğimizde, 10. günde her iki bitkide de tüm gruplarda görülen düşüş ilgi çekicidir. Bu dönemde büyük bir olasılıkla, bitkiler stres koşullarından fazla etkilenmemişler ve aktif oksijen türlerinin oluşumu normal metabolik fonksiyonları etkileyecek seviyeye ulaşmamıştır. 20. günde özellikle Tuz ve Tuz + Bor uygulanan gruplarda görülen artış, diğer parametrelerde görülen değişim ile uyum göstermektedir (özellikle, *B. lomatogona*'da).

APX enziminin aktivitesi, her iki türde de hem 10. hem de 20. günlerde yüksek artış gösterdi. Özellikle NaCl ve NaCl + Bor uygulanan gruplarda artış düzeyi daha belirgindir. Yalnız bor uygulanan gruplarda da artış görüldü ancak kontrol grupları ile karşılaştırıldığında bu artış diğerlerine göre daha az düzeyde oldu. *B. lomatogona*'nın temel enzim düzeyi ve indüklenen enzim düzeyleri *B. vulgaris cv ansa*'nın kilere göre daha üstündür. Bu sonuçlar göstermektedir ki yabancı tür antioksidatif savunma sistemini çok daha aktif çalıştırabilmektedir.

POX aktiviteleri karşılaştırıldığında yine temel enzim seviyesi *B. lomatogona*'da daha yüksektir. Ancak, özellikle Tuz + Bor uygulanan gruplarda 20. gün sonuçları karşılaştırıldığında, her iki uygulamada (10 ppm H₃BO₃ + 200 mM NaCl ve 20 ppm H₃BO₃ + 200 mM NaCl) da enzim aktivitesi çok artmıştır. Bu artış antioksidant sistemin aktif çalışmasının bir göstergesi olmasının yanısıra, artan lipid peroksidasyonu (MDA miktarı), yani yaşlanma ile de ilişkili olabilir.

CAT aktivitesindeki değişimler, her iki tür içinde benzerlik göstermektedir. Bununla birlikte, 20. günde, 10 ppm H₃BO₃ + 200 mM NaCl ve 20 ppm H₃BO₃ + 200 mM NaCl uygulanan gruplarda, *B. vulgaris cv ansa*'da gözlenen artış miktarı yabancı türden çok daha fazla oldu ancak, bu yüksek seviyedeki artış bile CAT aktivitesinin, *B. lomatogona*'nın temel düzeyinden daha yüksek olmasına imkan sağlamadı. Başka bir değişle diğer bir çok çalışmada da görüldüğü gibi yabancı türlerin sahip oldukları yüksek temel enzim seviyeleri aktif oksijen türleri ile daha etkili ve daha ekonomik mücadele verebilmelerini sağlamaktadır. Çalışmamıza benzer nitelikte sonuçlar, tuz ve kuraklık stresi koşulları altında, yabancı ve kültür türlerinin antioksidant savunma sistemlerini karşılaştırıldığı, Shalata ve Tal, 1998; 2001; Mittova ve ark., 2000; Bor ve ark. 2003 ve Türkan ve ark., 2005 tarafından yapılan araştırmalarda da görülmektedir.

Antioksidant savunma sisteminin incelenen son enzimi olan GR aktivitesindeki değişimler, sistemin diğer enzimlerine ait sonuçlarla paralellik göstermektedir. *B. lomatogona*'da her iki günde de NaCl ve NaCl + Bor uygulanan gruplarda görülen artış miktarı, kültür varyetesine göre daha düşük seviyede kalsa da, 10. ve 20. günlerde temel düzeylerdeki yaklaşık 2 kat fark bu bitkiye büyük avantaj sağlamaktadır. Kültür türünün, en yüksek düzeyde artış gösterdiği 20 ppm Bor + 200 mM NaCl grubunda bile enzim aktivitesi ancak yabancı türün kontrol düzeyine ulaşabilmiştir.

Stres koşulları altında yetiştirilen bitkilerde, prolin miktarındaki artış, stresten etkilenmenin bir göstergesi olmasının yanı sıra, eğer diğer parametrelerinde stres etkisi görülüyorsa, bitkinin savunma mekanizmasının bir ifadeside olabilir. Bu tip bir mekanizma da prolin (özellikle tuz ve kuraklık streslerinde), fazla miktarda birikerek ozmotik düzenleyici görevini görmektedir (Gzik, 1996; Yeo 1998; Bohnert ve ark., 1999 ve Ghoulam ve ark., 2002). Çalışmamızda da benzer şekilde *B. lomatogona*'da, hem temel seviyede, hem de Tuz ve Tuz + Bor ile indüklenen seviyede görülen yüksek prolin miktarının, bu bitkinin strese karşı geliştirdiği savunma sistemlerinden biri olduğu görülmektedir.

Tuz stresine dayanıklılığın bir göstergesi olan daha düşük lipid peroksidasyonu düzeyleri, önceki çalışmalarda sırasıyla, pamuk, pirinç, domates ve arpa da elde edildi (Gossett ve ark.,1994; Dionisio-Sese ve Tobita, 1998; Shalata ve Tal, 1998; 2001; Mittova ve ark., 2000; Acar ve ark.,2001). Kültür varyetelerinde gözlenen yüksek lipid peroksidasyonu, tuz stresine toleransı azaltan, hücre bütünlüğünün ve membran yapısının bozulması ve hücre

içeriğinin dışarıya sızması gibi olumsuzlukların meydana gelmesine neden olur (Shalata and Tal, 1998; 2001). *B. vulgaris cv ansa*'nın 10. ve 20. günlerde NaCl ve Bor + NaCl uygulanan gruplarında çok yüksek miktardaki MDA miktarı artışı bitkinin stresten etkilendiğinin önemli bir göstergesidir. Yabani türde ise oluşan düşük düzeyli MDA miktarındaki değişimlerin, yaşlanma ile ilişkili olduğu düşünülmektedir.

Bor miktarındaki değişimler incelendiğinde, her iki bitkinin de (20 ppm'lik bor uygulaması hariç), boru bünyelerine almadıkları, biriktirmedikleri görülmektedir. Ancak bu sonuçlar yapraklardaki bor miktarı hakkında bilgi vermektedir. Köklerden alınımlar veya birikim farklı şekil ve miktarlarda olabilir. Genel olarak 20. günde NaCl + Bor varlığında *B. vulgaris cv ansa*'nın daha çok bor biriktirdiği görüldü, ilgi çekici olarak aynı uygulama gruplarında, *B. lomatogona*'da bor miktarı kontrol düzeylerinin altına düştü.

NaCl miktarlarındaki değişimler karşılaştırıldığında, *B. vulgaris cv ansa* ve *B. lomatogona*'da, Na'u yabani türün, Cl'ü ise kültür varyetesinin daha fazla biriktirdiği görülmektedir. Bu sonuçta diğer sonuçlar ile uyum göstermektedir. *B. lomatogona* Na'un toksik etkisini onu biriktirerek ve antioksidant enzim sistemini aktif biçimde çalıştırarak giderebilmektedir. Prolin ve glisin betain gibi hücre metabolizmasını etkilemeyen ozmotik düzenleyiciler ile hücrelerinde ozmotik dengeyi sağlayabilmektedir.

Tüm sonuçları değerlendirecek olursak, kültür ve yabani pancar bitkilerinde, NaCl ve bor stresinin birlikte gösterdikleri etkinin tek başlarına uygulandılarından çok daha etkili olduğu anlaşılmıştır. Bu etkinin özellikle tuzdan kaynaklandığı düşünülmektedir. Beklenildiği gibi her iki stres altında da yabani tür daha iyi bir savunma ve gelişme göstermiştir. Ancak, üretim ve ekonomik kriterler ele alındığında, kültür bitkileri içinde bilindiği kadarı ile tuz ve bor streslerine daha toleranslı olan şeker pancarı, bor ve tuz toksisitesinin yüksek olduğu topraklarda yetiştirilmesi, bu toprakların iyileştirilmesi amacı ile önerilebilir. Konunun daha detaylı olarak incelenmesi ve köklerdeki değişimlerinde belirlenmesi gerekmektedir. Ayrıca dayanıklılık özellikleri açısından önemli gen kaynaklarımızdan olan *B. lomatogona*'nın ıslah çalışmalarında kullanılmasının yararlı olacağı düşünülmektedir.

5.KAYNAKLAR DİZİNİ

- Acar O., Türkan I., Özdemir F.,** 2001, Superoxide dismutase and peroxidase activities in drought sensitive and resistant barley (*Hordeum vulgare L.*) varieties. *Acta Physiol. Plant.* 3: 351-356.
- Adriano D. C.,** 1986, Trace Elements in the Terrestrial Environment Springer-Verlog, New York, 73-79.
- Asada K. and Takahashi M.,** 1987, Production and scavenging of active oxygen in photosynthesis. In *Photoinhibition*, D.J. Kyle, C.D. Osmond and C.J. Arntzen (eds.), Elsevier Science Publishers Amsterdam, pp. 227-287.
- Aspinall D.,** 1986, Metabolic effects of water and salinity stress in relation to expansion of the leaf surface. *Aust. J. Plant Physiol.*, 13: 59-73.
- Azam-Ali S.N., Crout N.M.J. and Bradley R.G.,** 1994, Perspectives in modelling resource capture by crops. In *Resource Capture By Crops* (Eds J.L. Monteith, R.K. Scott and M.H. Unsworth), pp. 125-148. Nottingham: Nottingham University Press.
- Bates L. S., Waldren R. P. and Teare I. D.,** 1973, Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil.* 39: 205-207.
- Beauchamp C. and Fridovich I.,** 1971, Superoxide Dismutase : Improved assays and applicable to acrylamide gels. *Anal. Biochem.* 44: 276-287.
- Benger K. C.,** 1949, An application of the Mass-Hoffman salinity response model boron toxicity *Adv. Agron.* 1:321-351.
- Belewins, D. G., and Lukaszewski, K. N.,** 1994, Proposed Physiologic Functions of Boron in Plant Pertinent to Animal and Human Metabolizm. *Environmental Health. Perspectives* 102., Supplement7.
- Berger K.C. and Troug H.,** 1944, Boron tests and determination for soils and plants. *Soil Science.* 57:25-36
- Bergmeyer N.,** 1970, *Methoden der enzymatischen Analyse*, Vol.1, Akademie Verlag, Berlin, pp. 636-647.
- Bohnert H. J., Su H. and Shen B.,** 1999, Molecular mechanisms of salinity tolerance. In: Shinozaki, K., Yamaguchi-Shinozaki K. (eds) *Molecular responses to Cold, Drought, Heat and Salt stress in Higher Plants.* University of Arizona, Arizona, pp 29-60.
- Boşgelmez A.,** 2001, *Ekoloji II. Toprak*, Ankara.827s.
- Bowler C., Van Montagu M. and Inze D.,** 1992, Superoxide dismutase and stress tolerance. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, 43: 83-116.

- Bousier P. and Lauchli A.**, 1989, *Physiologia Plantarum*, 77: 537.
- Bor M.**, 2002, Farklı Pancar genotiplerinde Tuz Stresine Bağlı Olarak Antioksidant Düzeylerindeki Değişimlerin Araştırılması. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Doktora Tezi. Bornova-İzmir.
- Bor M., Özdemir F., and Türkan İ.**, 2003, The effect of salt stress on lipid peroxidation and antioxidants in leaves of sugar beet *Beta vulgaris* L. and wild beet *Beta maritima* L. *Plant Science*, 164: 77-84.
- Bozcuk S.**, 1991, Bazı Kültür Bitkilerinde Tuzluluğun Çimlenme Üzerine Etkisi ve Tuz Toleransı Sınırlarının Saptanması. *Doğa-Tr J. of Biology* 15: 144-151 TÜBİTAK.
- Bradford M. M.**, 1976, A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal. Biochem.* 72: 248-254.
- Brown K.F., Messem A.B., Dunham R.J. and Biscoe P.V.**, 1987. Response of the components of sugar beet leaf water potential to a drying soil profile. *J. Agric. Sci.* 109: 437-444.
- Brown P.H. and Shelp B.J.**, 1997, boron mobility in plants. *Plant and Soil*. 193: 49-58
- Christiansen M. B.**, 1982, Word environment limitations to food and fiber culture. In *Breeding Plants for Less Favourable Environments*. Christiansen M. B. and Lewis C. F. (eds), John Wiley and sons, New York, p 1.
- Cram W. J.**, 1973, Internal factors regulating nitrate and chloride influx in plant cells. *J. Exp. Bot.* 24: 328-341.
- Çakmak I., Stobac D. and Marschner H.**, 1993, activities of Hydrogen Peroxide-Scavenging Enzymes in germinating Wheat Seeds. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 44. No. 258. pp. 127-132.
- Deane-Drummond C. E. and Glass A. D. M.**, 1982, Studies of nitrate influx into barley roots by the use of $^{36}\text{ClO}_3$ as a tracer for nitrate. I. Interactions with chloride and other ions. *Can. J. Bot.*, 60: 2147-2153.
- Dionisio-Sese M.L. and Tobita S.**, 1998, Antioxidant responses of rice seedlings to salinity stress. *Plant Sci.* 135: 1-9.
- Dugger W.M.**, 1983, Boron in plant metabolism. In A Lauchli, RL Bielecki, eds, *Encyclopedia of Plant Physiology*, Vol 15B. Inorganic Plant Nutrition. Springer-Verlag, New York, pp 626-650.

- Durrant M. J., Draycott A. P. and Payne P. A.,** 1974, Some effects of sodium chloride on germination and seedling growth of sugar beets. *Ann. Bot.* 38: 1045-1051.
- Edreva, A.,** 1998, Stress Physiology Definitions and Concepts of Stress. Classifications of Stress Factors, Approaches Applied in Stress Research. *Bitkilerde Stres Fizyolojisinin Moleküler Temelleri Sempozyumu, 22-26 Haziran, Ebiltem, Bornova İzmir.*
- Ekholm E. P.,** 1975, Salting the earth. *Environment*, 17,9.
- Ermış İ.,** 2002, Bazı Arpa Çeşitlerinin Çimlenme Yüzdesi ve Antioksidant Enzim Düzeylerine Bor Stresinin Etkisi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi. Bornova-İzmir.
- Foyer C. H. and Halliwell B.,** 1976, Presence of glutathione and glutathione reductase in chloroplasts : a proposed role in ascorbic acid metabolism. *Planta* 133: 21-25.
- Foyer C. H., Descourvieres P. and Kunnert K. J.,** 1994, Protection against oxygen radicals: an important defence mechanism studied in transgenic plants. *Plan Cell Environ.*, 17: 507-523.
- Fridovic I,** 1978, The biology of oxygen radicals. *Science*, 201: 875-880.
- Ghoulam C. and Fares K.,** 2001, Effect of salinity on seed germination and early seedling growth of sugar beet (*Beta vulgaris L.*) *Seed Sci. Tech.* 29: 357-364.
- Ghoulam C., Foursy C. and Fares K.,**2002, Effects of salt stress on growth, inorganic ions and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five beet cultivars. *Environ. and Exper. Bot.* 47: 39-50.
- Glass A. D. M.,** 1989, *Plant Nutrition: An Introduction to current concepts.* Jones and Barlett, Boston, MA.
- Gossett D. R., Millhollon E. P. and Lucas M. C.,** 1994, Antioxidant resp onse to NaCl stress in salt-tolerant and salt-sensitive cultivars of cotton. *Crop Sci.* 34: 706-714.
- Greenway H. and Munns R.,** 1980, Mechanisms of salt tolerance in non-halophytes. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 31: 149-190.
- Gündüz M.,** 1987, Bor Ürünleri ve Kullanım Alanları, Yıl içi Projesi D. E. Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İZMİR.
- Güneş A., İnal A., Alpaslan M., Taban S., and Poyrazoglu S.,** 1997, Beypazarı yöresinde yetiştirilen havuçların durumları ve besin değerleri ile toprak özellikleri arasında ilişkiler. TÜBİTAK 1638 nolu Proje Raporu. Ankara.
- Gzik A.,** 1996, Accumulation of proline and pattern of α -amino acids in sugar beet plants in response to osmotic, water and salt stress. *Environ. and Exp. Bot.* 36 (1): 29-38.

- Halliwell B. and Gutteridge J. M. C.**, 1989, Protection against oxidants in biological systems: The superoxide theory of oxygen toxicity. In: Halliwell B. and Gutteridge J. M. C. (eds) *Free Radicals in Biology and Medicine*. Clarendon Press, Oxford, pp 86-123.
- Hanson A. D. and Wyse R.**, 1982, Biosynthesis, translocation and accumulation of betaine in sugar beet and its progenitors in relation to salinity. *Plant Physiol.* 70: 1191-1198.
- Hayashi H. and Murata N.**, 1998, Genetically engineered enhancement of salt tolerance in higher plants in stress responses of photosynthetic organisms. Kimiyuki Satoh and Murata N. (eds), Elsevier Science B. V: pp. 133-148.
- Herzog V. and Fahimi H.**, 1973, Determination of the activity of peroxidase. *Anal. Biochem.* 55: 554-562.
- Hu H. and Brown P.H.**, 1994, Localization of boron in cell walls of squash and tobacco and its association with pectin evidence for a structural role of boron in the cell wall. *Plant Physiol.* 105: 681-689.
- Karabal E., Yücel M., Öktem H. A.**, 2003, *Plant Science*, 1-10.
- Kavruk A.**, 1999, Borlu Topraklarda Yetiştirilen Bitkilerde Mineral Alınımı; Yüksek Lisans Tezi, Bornova, İzmir 51.
- Katerji N., Van Hoorn J. W., Hamdy A., Mastrorilli M. and Karzel E. M.**, 1997, Osmotic adjustment of sugar beets in response to soil salinity and its influence on stomatal conductance, growth and yield. *Agric. Water Manage.* 34: 57-69.
- Kingsbury R. W., Epstein E. and Percy P.W.**, 1984, *Plant Physiology*, 74: 417.
- Kistler R.B. ve Helvacı C.**, 1994, *Industrial Minerals and Ro.* Society of Mining, Metallurgy and Exploration, Inc., 171-184.
- Kouchi H., and Kumazawa K.**, 1976, Anatomical responses of root tips to boron deficiency. III. Effect of boron deficiency on sub-cellular structure of root tips, particularly on morphology of cell wall and its related organelles. *Soil Sci. Plant Nutr.* 22: 53-71.
- Kovda V. A.**, 1980, *Land aridization and drought control.* Boulder, Colo., Westview Press.
- Lauchli A. and Epstein E.**, 1984, *California Agriculture*, 38: 18.
- Lawlor D.W. and Milford G.F.J.**, 1975, The control of water and carbon dioxide flux in water stressed sugar beet. *Annals of Applied Biology*, 80:93-102.
- Loomis W.D., Durst R.W.**, 1992, Chemistry and biology of boron. *Biofactors* 3: 229-239
- Madhava Rao K. V. and Sresty T. V. S.**, 2000, Antioxidative parameters in the seedlings of pigeonpea (*Cajanus cajan L.* Millspaugh) in response to Zn and Ni stresses. *Plant Sci.* 157: 113-128.

- Mahalakshmi U., Yau, S. K., Ryan J., Peacock J.M.,** 1995, Boron toxicity in barley (*Hordeum vulgare* L.) seedlings in relation to soil temperature. *Plant Soil*, 177 (2): 151-156.
- Matoh T., Matsushita N. And Takahashi E.,** 1988, *Physiol. Plant.* 72: 8.
- Maxwell K. and Johnson G. N.,** 2000, Chlorophyll fluorescence – a practical guide. *J. of Exp. Bot.* 51: 659-668.
- McKersie, B.D ., Leshem ,Y. Y. ,** 1994. *Stress and Stress Coping in Cultivated Plants.* 256. Kluwer Academic Publisher. , Dordrecht.
- Mittova V., Volokita M., Guy M. And Tal M.,** 2000, Activities of SOD and ascorbate-glutathione cycle enzymes in subcellular compartments in leaves and roots of cultivated tomato and its wild salt tolerant relative *Lycopersicon pennellii*, *Physiol. Plant.*, 112: 487-494.
- Munns R. and Termaat A.,** 1986, Whole plant response to salinity, *Aust. J. Plant Physiol.*, 13: 143-60.
- Nable R.O., Banuelos G.S., Paull J.G.,** 1997, Boron toxicity. *Plant and Soil* **198**:181-198.
- Nakano Y. and Asada K.,** 1981, Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant Cell Physiol.* 22 :867-880.
- Nelson R.A.,** 1960 Potancimetric determination of Cl content of tobacco. *J. A.A.C.* 43(3):518.
- Oertli J.J. and Richardson W.F.,** 1970, The mechanism of boron immobility in plants. *Physiol. Plant.* 23, 108-116.
- O'toole J.C., Crookston R.K, Treharne K.J. and Ozbun J.L.,** 1976. Mesophyll resistance and carboxylase activity. A comparison under water stress conditions. *Plant Physiol.* 57:465-468.
- Özkara M.M.,** 1991, Sulama Suyundaki Bor Düzeylerinin Lizimetre Koşullarında, Toprakta Bor Birikimi ile Ayçiçeği, Fasulye ve Çeltiğin Gelişimine Etkileri, Menemen Araştırma Müdürlüğü Yayınları, 185 Menemen.
- Pasternak D.,** 1987, *Annual Review Phytopathology*, 25: 271.
- Ramani S. and Kannan S.,** 1986, *Journal of Plant Nutrition*, 9: 1553.
- Satoh K., and Murata N.,** 1998, *Stress Responses of Photosynthetic Organisms; Molecular Mechanisms and Molecular Regulations.* Elsevier Science B. V., The Netherlands, 260 p.
- Scandalios, J.G.,** 1993. Oxygen stress and superoxide dismutase. *Plant Physiol.* 101, 7-12.

- Shalata A. and Tal M.**, 1998, The effect of salt stress on lipid peroxidation and antioxidants in the of the cultivated tomato and its wild salt-tolerant relative *Lycopersicon pennellii*. *Physiol. Plant.* 104: 169-174.
- Shalata A. , Mittova V. , Volokita M., Guy M.and Tal M.**, 2001, Response of the cultivated tomato and its wild salt-tolerant relative *Lycopersicon pennellii* to salt-dependent oxidative stress: The root antioxidative system. *Physiol. Plant.* 112(4): 487-494.
- Shannon M. C., Grieve C. M. and Francois L. E.**, 1994, Whole-plant response to salinity, in: *Plant-Environment Interactions*, Wilkinson R.E. (ed.), Marcel Dekker, Inc. New York , pp 199-244.
- Sharma P. K. and Hall D. O.**, 1991, Interaction of salt stress and photoinhibition on photosynthesis in Barley and Sorghum. *J. Plant Physiol.* 138: 614-619.
- Smart R.E. and Bingham G.E.**, 1974, Rapid estimates of relative water content. *Plant. Physiol.* 53:258-260.
- Sönmez B.**, 1990, Tuzlu ve sodyumlu topraklar. Köy Hizmetleri Şanlıurfa Araştırma Enstitüsü yayınları. Genel yayın No. 62. Teknik yayın No.17. Şanlıurfa.
- Stavarek S. J. and Rains R.W.**, 1983, *Iowa St. Journal of Research*, 57: 457.
- Sultana N., Ikeda T. and Itoh R.**, 1999, Effect of NaCl salinity on photosynthesis and dry matter accumulation in developing rice grains. *Environ. Exp. Bot.*, 42: 211-220.
- Tan A.**, 1992, Türkiye’de yayılış gösteren Beta L. (Chenopodiaceae) türlerinin sınıflandırılması üzerine araştırmalar. Doktora Tezi-İzmir.
- Türkan İ., Bor M., Özdemir F., Koca H.**, 2005 Differential responses of lipid peroxidation and antioxidants in the leaves of drought tolerant *P. Acutifolius* Gray and drought sensitive *P. Vulgaris* L. Subjected to PEG mediated water stress. *Plant Science* 168: 223-231.
- Wilcox L.V.**, 1960, In *USDA info Bull.* 211, 7.
- Wyn Jones R. G., Brady C.J. and Speirs J.**, 1979, Ionic and osmotic relations in plant cells pp.63-103. In: D.L. Laidman and R.G. Wyn Jones (eds.), *Recent advances in Biochemistry of Cereals*. Academic Press, London, England.
- Yahya A.**, 1998, Responses to soil salinity of Sesame (*Sesamum indicum* L.) and Sugar beet (*Beta vulgaris* L.). Doctoral Thesis-Uppsala.
- Yau S.K., Kalaycı M., Avcı M. and Beniwal S.P.S.**, 1989, Importance of and Genotypic Variation for Boron Toxicity Tolerance in Barley in the Central Anatolian Plateau.
- Yeo A.**, 1998, Molecular biology of salt tolerance in the context of whole-plant physiology. *J. Exp. Bot.* 49: 915-929.

