

**BOR TOKSİSİTESİNİN NOHUT (*Cicer arietinum* L.)
BİTKİSİNDE BAZI FİZYOLOJİK VE
BİYOKİMYASAL ÖZELLİKLER
ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ**

Murat ARDIÇ

DOKTORA TEZİ

BİYOLOJİ Anabilim Dalı

KASIM 2006

**EFFECTS OF BORON TOXICITY ON
SOME PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL
CHARACTERISTICS OF CHICKPEA (*Cicer arietinum* L.)**

Murat ARDIÇ

Ph.D. THESIS

Department of BIOLOGY

November 2006

**BOR TOKSİSİTESİNİN NOHUT (*Cicer arietinum* L.) BİTKİSİNDE BAZI
FİZYOLOJİK VE BİYOKİMYASAL ÖZELLİKLER ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ**

Murat ARDIÇ

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Biyoloji Anabilim Dalı
Botanik Bilim Dalında
DOKTORA TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışmanlar:

Prof. Dr. Süleyman TOKUR

Prof. Dr. İsmail TÜRKAN

Kasım 2006

Murat ARDIÇ'ın **DOKTORA** tezi olarak hazırladığı “**Bor Toksisitesinin Nohut (*Cicer arietinum* L.) Bitkisinde Bazı Fizyolojik ve Biyokimyasal Özellikler Üzerindeki Etkileri**” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Üye : Prof. Dr. Süleyman TOKUR

Üye : Prof. Dr. Filiz ÖZDEMİR

Üye : Prof. Dr. Ersin YÜCEL

Üye : Prof. Dr. Engin KINACI

Üye : Doç. Dr. Güler ÇOLAK

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Abdurrahman KARAMANCIOĞLU

Enstitü Müdürü

ÖZET

Bor elementi (B); bitkiler için gerekli optimum miktarı ile toksisite sınırı, çok yakın olan bir mikro elementtir. Kurak ve yarıkurak bölgelerde soğuk hava ile birlikte sıklıkla görülen bor toksisitesi, ülkemizin özellikle Orta Anadolu Platosunda önemli bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır.

Nohut (*Cicer arietinum* L.) bitkisinin anavatanı Anadolu olup ilk çağlardan günümüze değin tarımı yapılan ekonomik değeri yüksek olan bitkilerden biridir.

Bu çalışmada, bor stresine karşı dayanıklılık dereceleri bilinmeyen; iki nohut (*Cicer arietinum* L.) kültür formuna (kuraklığa toleranslı Gökçe ve kuraklığa duyarlı Küsmen 99) 100 mM ve 400 mM B uygulamasının oluşturduğu toksisite stresi; büyüme parametreleri (kök ve gövde), bağıl su içeriği, net fotosentetik verim, bitkilerde biriken B miktarı, prolin, malondialdehit miktarları ve süperoksit dismutaz izozimleri (SOD), askorbat peroksidaz (AP), katalaz (CAT), peroksidaz (POX) ve glutasyon reduktaz (GR) gibi antioksidant enzim aktiviteleri bakımından karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Gökçe ve Küsmen 99 nohut çeşitlerinde B toksisitesi; etkisini ilk önce araştırma bitkilerinin yapraklarında nekrotik bölgelerin oluşumuyla göstermiş, daha sonra da kök ve gövde gelişiminin etkilendiği görülmüştür. Küsmen 99'da gelişim evresinde meydana gelen zarar Gökçe kültür çeşidine kıyasla daha fazladır. Bitkilerde B sırasıyla en fazla yapraklarda, gövdelerde, en az ise köklerde birikmiştir. Küsmen 99 nohut çeşidinde biriken B miktarı Gökçe nohut çeşidinden daha fazladır.

Gökçe ve Küsmen 99 nohut çeşitlerinde süperoksitdismutaz (SOD), askorbat peroksidaz (AP) ve prolin miktarlarında artış; peroksidaz (POX) miktarlarında ise azalma belirlenmiştir. Gökçe nohut çeşidinde katalaz (CAT) ve glutasyon redüktaz (GR) miktarında artış; Küsmen 99 nohut çeşidinde katalaz (CAT) ve glutasyon redüktaz (GR) miktarında azalma belirlenmiştir.

Çalışmamızda B toksisitesinin her iki nohut çeşidinde de strese karşı savunma mekanizmaları işlemiş, kuraklığa toleranslı Gökçe nohut çeşidinin, kuraklığa duyarlı Küsmen 99 nohut çeşidine göre B toksisite stresine daha dayanıklı olduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Antioksidant enzimler, Bor toksisitesi, Nohut (*Cicer arietinum* L.)

SUMMARY

The boron element is a microelement with optimum amount and its toxicity boundaries are very close to each other. Boron toxicity, frequently seen in arid and semiarid regions in cold weather, is an important problem in the Central Anatolian Plateau.

The chickpea plant, which originated in Anatolia, has high economical value and it has been cultivated since ancient times.

In this study, the effect of boron toxicity stress on two chickpea varieties (Gökçe, which is tolerant to drought and Küsmen 99, which is sensitive to drought), with unknown boron stress tolerance capacity, were investigated comparatively through two different (100 mM and 400 mM) boric acid concentrations. Boron has been studied in terms of growth parameters, relative water content, net photosynthetic efficiency, accumulation of Boron elements in the plant, proline, malondialdehyde contents and activities of some antioxidant enzymes such as superoxide dismutase isozymes, ascorbate peroxidase, catalase, peroxidase and glutathione reductase in two chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars differing in boron toxicity tolerance comparatively.

The first boron toxicity effect appeared as necrotic formation on leaves and later negative effect was observed on shoots and roots. Damage to Küsmen 99 was bigger than that to Gökçe. Boron element was accumulated in both cultivars by order of leaves, shoots and roots. Boron was accumulated much more in Küsmen 99 than in Gökçe.

It has been determined that in Gökçe and Küsmen 99, activities of superoxide dismutase (SOD), ascorbate peroxidase (APOX) and proline increased, peroxidase (POX) decreased. On the other hand, in Gökçe, activities of catalase (CAT), glutathione reductase (GR) increased. In Küsmen 99, activities of catalase (CAT), glutathione reductase (GR) decreased.

These findings suggest that both Gökçe, which is tolerant to drought, and Küsmen 99, which is sensitive to drought defense system against effect of boron toxicity, worked. Gökçe cultivar is more tolerant to boron than is Küsmen 99.

Key words: Antioxidant enzymes , Boron toxicity, Chickpea (*Cicer arietinum* L.)

TEŞEKKÜR

Akademik yaşamım boyunca yakın ilgi ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, çalışmanın başlangıcından bitimine kadar bilgi ve tecrübelerini benimle daima paylaşan danışman hocam sayın Prof. Dr. Süleyman Tokur'a teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarım sırasında bana hep önderlik eden ve bu çalışmanın tüm aşamalarında değerli fikir ve önerileri ile destek olan, ikinci danışman hocam sayın Prof. Dr. İsmail Türkan'a ve Prof. Dr. Filiz Özdemir'e de teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarım süresince anlayışlarını benden esirgemiyeen başta sayın Bölüm Başkanımız Prof. Dr. Yalçın Şahin, Doç. Dr. Güler Çolak, Yrd. Doç. Dr. Mustafa Yamaç olmak üzere tüm Bölüm arkadaşlarım ve hocalarım da her türlü katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Çalışmalarımın bir kısmını gerçekleştirdiğim Ege Üniversitesi Biyoloji Bölümü öğretim elemanları Arş. Gör. Aşkın Hediye Sekmen, Arş. Gör. Dr. Melike Bor, Arş. Gör. Tijen Demiral ve Uzman Biyolog Burcu Seçkin, Uzman Biyolog Ceyda Özfıdan'a da çok teşekkür ederim.

Tüm akademik hayatım süresince her türlü fedakarlığı yapan, başta eşim Nihan, çocuklarım Anıl ve Arda olmak üzere; ailem ve tüm dostlarıma teşekkür ve saygılarımı sunuyorum.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR BİLDİRİŞLERİ	9
2.1. BİTKİLERDE STRES FAKTÖRLERİ VE SAVUNMA SİSTEMLERİ	9
2.2. BOR ELEMENTİ VE BOR ELEMENTİNİN BİTKİLER ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ	13
2.3. ARAŞTIRMA BİTKİLERİNİN BAZI TAKSONOMİK ÖZELLİKLERİ	33
2.3.1. <i>Cicer arietinum</i> L.	33
2.3.1.1. Morfolojik Özellikleri	33
2.3.1.2. Türün Dünyadaki Dağılışı	35
2.3.2. Araştırma Bitkilerinin Morfolojik Özellikleri	36
2.3.2.1. <i>C. arietinum</i> L. cv. Gökçe (<i>C. arietinum</i> L. cv. <i>hispanico- flavescens</i> G. Pop.)	36
2.3.2.2. <i>C. arietinum</i> L. cv. Küsmen 99 (<i>C. arietinum</i> L. cv. <i>hispanico- subflavescens</i> G. Pop. et A. Pavl)	36
3. MATERYAL VE METOD	38
3.1. MATERYAL	38
3.1.1. <i>C. arietinum</i> L. Gökçe	38
3.1.2. <i>C. arietinum</i> L. Küsmen 99	38
3.2. METODLAR	39
3.2.1. Deneme Serilerinin Hazırlanması	39
3.2.2. Tohum Ekimi	39
3.2.3. Analiz Yöntemleri	40
3.2.3.1. Büyüme Parametreleri	40
3.2.3.2. Bağlı Su İçeriği	40
3.2.3.3. Klorofil Flüoresans Ölçümleri	41
3.2.3.4. Bitkilerde Bor Analizi (Kurkumin Yöntemi)	41

İÇİNDEKİLER (devam)

3.2.3.5. Antioksidant Enzim Aktivitelerinin Belirlenmesi.....	42
3.2.3.5.1. Enzim ekstraktlarının hazırlanışı.....	42
3.2.3.5.2. Süperoksit dismutaz (SOD; süperoksit: süperoksit oksidoreduktaz, EC 1.15.1.1) izozim tayini.....	42
3.2.3.5.3. Askorbat peroksidaz (AP; EC 1.11.1.11) enziminin aktivite tayini.....	42
3.2.3.5.4. Katalaz (CAT; EC 1.11.1.6) enziminin aktivite tayini.....	43
3.2.3.5.5. Peroksidaz (POD; EC 1.11.1.7) enziminin aktivite tayini.....	43
3.2.3.5.6. Glutasyon redüktaz (GR; EC 1.6.4.2) enziminin aktivite tayini.....	43
3.2.3.6. Prolin Miktarının Belirlenmesi	43
3.2.3.7. Lipit Peroksidasyonu.....	44
4. BULGULAR.....	45
4. 1. BÜYÜME PARAMETRELERİNİN BULGULARI.....	45
4. 2. BAĞIL SU İÇERİĞİ.....	48
4. 3. KLOROFİL FLÜORESANS BULGULARI.....	49
4. 4. BİTKİLERDE BOR ANALİZİ (KURKUMİN YÖNTEMİ) BULGULARI	51
4. 5. ANTİOKSIDANT ENZİM AKTİVİTELERİ.....	54
4. 5. 1. Süperoksit dismutaz izozimlerinin aktiviteleri	54
4. 5. 2. Askorbat peroksidaz enzim aktiviteleri.....	56
4. 5. 3. Katalaz enzim aktiviteleri.....	57
4. 5. 4. Peroksidaz enzim aktiviteleri	58
4. 5. 5. Glutasyon redüktaz enzimin aktiviteleri	59
4. 5. 6. Prolin bulguları.....	60
4. 5. 7. Lipit Peroksidasyonu bulguları	61
4. 6. YAPILAN ÇALIŞMALARIN ANOVA İSTATİKSEL YÖNTEMİYLE İRDELENMESİ.....	62
5. SONUÇ VE TARTIŞMA.....	64
6. KAYNAKLAR DİZİNİ.....	70
ÖZGEÇMİŞ.....	83

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Bor'un fenol metabolizması üzerine etkileri: 1. Glukoz 6-P dehidrojenaz, 2. 6-fosfoglukonat dehidrojenaz, 3. Fenil alanin amonia liyaz (PAL), 4. Polifenol oksidaz (PPO)	22
2.2. B eksikliğinde fenollerden kinonlara geçiş ve toksik O ₂ 'in meydana gelmesi.....	23
4.1. B uygulamasının 7. günde Gökçe (<i>Cicer arietinum</i> L.) nohut çeşidi üzerine etkisi.....	50
4.2. B uygulamasının 7. günde Küsmen 99 (<i>Cicer arietinum</i> L.) nohut çeşidi üzerine etkisi.....	50
4.3. Gökçe ve Küsmen 99 nohut (<i>Cicer arietinum</i> L.) kültür çeşitlerinin, bor stresine (100 mM ve 400 mM) maruz bırakılmalarını takiben 0.-7. günlerde yapraklarında biriken B miktarında (mg kg ⁻¹ kuru ağırlık) gözlenen değişimler.....	51
4.4. Gökçe ve Küsmen 99 nohut (<i>Cicer arietinum</i> L.) kültür çeşitlerinin, bor stresine (100 mM ve 400 mM) maruz bırakılmalarını takiben 0.-7. günlerde gövdelerinde biriken B miktarında (mg kg ⁻¹ kuru ağırlık) gözlenen değişimler.....	52
4.5. Gökçe ve Küsmen 99 nohut (<i>Cicer arietinum</i> L.) kültür çeşitlerinin, bor stresine (100 mM ve 400 mM) maruz bırakılmalarını takiben 0.-7. günlerde köklerinde biriken B miktarında (mg kg ⁻¹ kuru ağırlık) gözlenen değişimler.....	53
4.6. Gökçe ve Küsmen 99 nohut çeşidlerinin gövde sürgünlerinde gözlenen SOD izozim aktiviteleri uygulama 1-4 Gökçe, uygulama 5-8 Küsmen 99 kültürüne ait kontrol, 100 mm ve 400 mm B uygulanmış gruplardaki SOD izozim aktiviteleri	54
4.7. Araştırma bitkilerinin (Gökçe ve Küsmen 99), bor stresine (100 mM ve 400 mM) maruz bırakılmalarını takiben 0.-7. günlerde APX aktivitesinde (ünite /mg protein) gözlenen değişimler.....	57
4.8. Araştırma bitkilerinin (Gökçe ve Küsmen 99), Bor stresine (100 mM ve 400 mM) maruz bırakılmalarını takiben 0.-7. günlerde CAT aktivitesinde (ünite /mg protein) gözlenen değişimler.....	58

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

- 4.9.** Araştırma bitkilerinin (Gökçe ve Küsmen 99), bor stresine (100 mM ve 400 mM) maruz bırakılmalarını takiben 0.-7. günlerde POX aktivitesinde (ünite /mg protein) gözlenen değişimler.....59
- 4.10.** Araştırma bitkilerinin (Gökçe ve Küsmen 99), bor stresine (100 mM ve 400 mM) maruz bırakılmalarını takiben 0.-7. günlerde GR aktivitesinde (ünite /mg protein) gözlenen değişimler.....60
- 4.11.** Araştırma bitkilerinin (Gökçe ve Küsmen 99), bor stresine (100 mM ve 400 mM) maruz bırakılmalarını takiben 0.-7. günlerde prolin miktarında (μ mol /g yaş ağırlık) gözlenen değişimler.....61
- 4.12.** Araştırma bitkilerinin (Gökçe ve Küsmen 99), bor stresine (100 mM ve 400 mM) maruz bırakılmalarını takiben 0.-7. günlerde malondialdehit miktarında (nmol/g yaş ağırlık) gözlenen değişimler.....62

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Bor ihtiyaçlarına göre bazı bitkilerin gruplandırılması ve bu bitkilerden optimum verim elde edilmesi için vejetatif kısımlarında kuru madde esasına göre bulunması gereken bor miktarının sınır değerleri.....	17
4.1. Araştırma bitkilerinin (Gökçe ve Küsmen 99), Bor stresine maruz bırakılmalarını takiben 0.-7. günlerde kök ve gövde uzunluklarında (cm) gözlenen değişimler	45
4.2. Araştırma bitkilerinin (Gökçe ve Küsmen 99), bor stresine maruz bırakılmalarını takiben 0.-7. günlerde gövde yaş ve kuru ağırlığında (g) gözlenen değişimler.....	46
4.3. Araştırma bitkilerinin (Gökçe ve Küsmen 99), bor stresine maruz bırakılmalarını takiben 0.-7. günlerde kök yaş ve kuru ağırlığında (g) gözlenen değişimler	47
4.4. Araştırma bitkilerinin (Gökçe ve Küsmen 99), bor stresine maruz bırakılmalarını takiben 0.-7. günlerde yaprak bağıl neminde % gözlenen değişimler.....	48
4.5. Araştırma bitkilerinin (Gökçe ve Küsmen 99), bor stresine maruz bırakılmalarını takiben 0.-7. günlerde fotosentetik veriminde (Fv/Fm) meydana gelen değişimler	49
4.6. B stresine maruz bırakılan Gökçe nohut çeşidinin gövde sürgünlerine ait SOD izozimlerinin aktivitesinde gözlenen değişimler.....	55
4.7. B stresine maruz bırakılan Küsmen 99 nohut çeşidinin gövde sürgünlerine ait SOD izozimlerinin aktivitesinde gözlenen değişimler.....	56
4.8. Çalışmada yapılan Katalaz (CAT), Glutasyon Reduktaz (GR), Askorbat Peroksidaz (APX), Malondialdehit (MDA), Peroksidaz (POX), Büyüme, Klorofil Floresans ve Bağıl Su İçeriği sonuçlarının ‘one-way ANOVA’ istatistiksel yöntemiyle irdelenmesi	63

1.GİRİŞ

Doğal ortamlarında meydana gelen çevresel değişimlere karşı canlılar çeşitli içsel ve mekanik tepkiler gösterirler (Edreva, 1998). Herhangi bir stres faktörü ile karşılaşan bitkilerde biyokimyasal ve fizyolojik olarak çeşitli tepkiler oluşmaktadır. Oluşan stres faktörleri; gen/genlerin fizyolojik etkileri ile hücrel metabolizma değişimlerinin, büyüme oranları ve ürün miktarlarının değişimine kadar çok çeşitli tepkilere neden olurlar (Bray et al., 2000).

Bitkilerde stres faktörlerinin en önemlilerinden biri olan besin elementlerinin eksikliği veya toksisitesi; metobolizmanın işlevini engellemekte ve bitkide hasarlara neden olabilmektedir.

Bitkiler diğer streslerde olduğu gibi borla da baş edebilmek için biyokimyasal ve moleküler mekanizmalar gerçekleştirmişlerdir. Biyokimyasal stratejiler; seçici iyon birikimi veya dışlanması, köklerle alınan iyonların kontrolü ve yapraklara taşınımı, tüm hücre düzeyinde veya hücrel boyutta iyonların dağılımı, uyumlu bileşiklerin sentezi, fotosentetik yolunun değişmesi, membran yapısındaki değişimler, antioksidant enzimlerin ve bitki hormonlarının indüksiyonu olarak sıralanabilirler (Seçkin, 2005).

Antioksidant savunma sistemi; aerobik canlılar için toksik olan oksijen ara ürünlerinin zararsız hale getirilmesinde enzimatik ve enzimatik olmayan savunma mekanizmaları sayesinde hücreleri oksidatif zararlara karşı korumaktadır. Enzimatik olmayan antioksidantlar mannitol, sistein, hidrokinin, C ve E vitaminleri, flavanoidler, bazı alkaloidler, karotinoidler ve ksantofiller olarak. enzimatik antioksidantlar ise süperoksit dismutaz (SOD), peroksidaz (POX), askorbat peroksidaz (APOX), katalaz (CAT) ve glutasyon redüktaz (GR)'lar olarak sayılabilirler (Halliwell and Gutteridge, 1989; Bowler et al., 1992; Çakmak et al., 1993; Rascio et al., 1994; Lopez et al., 1996; Renard et al., 1997; Asada, 1999).

Bor elementi bitkiler tarafından eser miktarda gereksim duyulan, eksikliği ve toksisite sınırı birbirine çok yakın elementtir (Brown et al., 2002). Eksikliği kadar yaygın olmasa da dünyanın kurak ve yarıkurak bölgelerinde bor toksisitesi büyük bir

sorun oluşturmaktadır. Bor toksisitesi, üç ana başlıkta sıralanmıştır. Bunlardan birincisi hücre çeperinde oluşan hasar; ikincisi ATP, NADH ve NADPH'ye bağlanan riboz kısımlarında metabolik bozukluk; üçüncüsü ise RNA, serbest şekerler veya riboz bağlarınınca meydana getirilen bölünen ve gelişen hücrelerdeki hasardır. Bunlara dördüncü olarak da yapraklarda yüksek miktarda toplanan B'un transpirasyon akım yönündeki ozmatik düzeni bozması ilave edilmiştir (Stagoulis and Reid, 2002; Reid et al., 2004).

Bitkilerin bor'a olan toksisite sınırı oldukça geniştir. Örneğin buğday ve arpa için bu sınırlar 10-130 mg kg⁻¹ kuru ağırlık arasında değişebilmektedir. B toksisitesine maruz kalmış bitkilerin normal dokularında 40-100 mg B kg⁻¹ arasında, yapraklarında 250 mg B kg⁻¹ kuru ağırlık miktarında birikebilmektedir. Bor'un aşırı miktarda yoğun olduğu ortam koşullarında yapraktaki B birikimi 700-1000 mg B kg⁻¹ kuru ağırlık arasında değişebilmektedir (Nable et al., 1997).

Toksisite seviyesindeki B, gövdeden yaprağın en uç kısmına kadar taşınır ve bitkide taşındığı bu en uç bölgeden yani transpirasyonun sonlandığı yerden diğer kısımlara doğru azalarak toksisite etkisini göstermeye başlar. Bitkilerdeki tipik semptomu; yaşlı yaprak uçlarında ve yaprak kenarlarında yanıklar ve nekrotik, klorotik beneklerdir (Nable et al., 1997). B toksisitesi; portakal ve mandalina yapraklarında sünger parankimasının kalınlığının azalmasına da neden olmaktadır (Papadakis et al., 2004 a., b.). Elma, armut gibi bazı meyva ağaçlarında ise toksisite yaprak uçlarından daha çok transpirasyonun noktalandığı meyva ve taşınımın gerçekleştiği dokularda ölü hücrelerin oluşmasına neden olabilmektedir. Meyvalarda siyah noktalar, kambiyumu oluşturan hücrelerde ve gövdelerde ölüm gerçekleşmektedir (Nable et al., 1997). B toksisitesinin; bitkide ürün kaybının yanı sıra, çok yüksek B seviyelerinde bitki ölümlerine sebep olduğu bildirilmiştir (Khan et al., 1999).

Toprakta bor toksisitesine karşı genotipik farklılıkların boyutunu araştırmak amacıyla genotipleri birbirinden farklı 70 makarnalık buğday (*Triticum durum*) genotipi üzerinde yapılan bir çalışmada, bitkiler ekstrakte edilebilir bor'un 12 mg kg⁻¹ olduğu bir toprakta iki ayrı B muamelesine tabi tutularak (+B: 25 mg B kg⁻¹ toprak; -B: 0 mg B kg⁻¹

¹ toprak) yetiştirilmişlerdir. Otuz günün sonunda bitkilerin yalnız yeşil kısımları hasat edilmiş, bitkilerin kuru madde ağırlıkları ve yeşil aksamalarının B konsantrasyonları analiz edilmiştir. Buğdayların B toksisitesine toleransları belirlenmiş ve aralarında büyük bir genotipik varyasyon olduğu görülmüştür (Torun et al., 2006).

Bor toksisitesi üzerinde 24 kışlık arpa genotipi üzerinde yapılan bir çalışmada Avrupa orjinli genotiplerde toksisite etkileri daha fazla olarak gözlenirken Suriye ve Ortadoğu kaynaklı arpaların orta derecede dayanıklı; İran ve Afganistan kaynaklı arpaların ise B toksisitesine karşı dayanıklı oldukları belirlenmiştir (Yau, 2002). Arpada bor'a toleransı yüksek olan bir varyete ile bor'a hassas olan arasında yapılan karşılaştırmada hassas varyetede, toleransı yüksek varyeteye oranla kökte % 50, ksilemde % 64, yaprakta % 73 oranında daha fazla B tespit edilmiştir (Hayes and Reid, 2004). Kral-97, Cumhuriyet-50, Tokak-157/37, Erginel-90 arpa çeşitlerinde yüksek bor konsantrasyonunun çimlenmekte olan arpa tohumları üzerine toksik etkisi olduğunu tespit edilmiştir (Ermiş, 2002). Arpanın, *Hordeum vulgare* L., cv. Stirling çeşidinde B toksisitesinin etkinliği tanımlanmış, toksisitenin bitkinin kök ve diğer kısımlarındaki etkisi belirlenmiştir (Riley and Robson, 1994).

Bor'a toleranslı arpa çeşidi Anadolu 83 ile bor'a hassas Hamidiye 86 arpa çeşidine 10 mM borik asit uygulanması ve 5. günün sonunda protein içeriklerine bakılmıştır. Kök ve gövdede B stresle birlikte bazı protein miktarlarının azaldığı, bazılarının ise arttığı belirlenmiş, hatta bor'a toleranslı kültür çeşidinde yeni bir proteinin varlığı tespit edilmiştir. Bu çalışmada B toksisitesine toleransta bazı proteinlerin etkin olduğu belirtilmiştir (Mahboobi et al., 2000).

Bor'a toleranslı arpa kültür çeşidi Anadolu, bor'a hassas Hamidiye 86 arpa kültür çeşidi ile bor'a toleranslı buğday kültür çeşidi Bolal ve bor'a hassas Atay 85 buğday kültür çeşitlerine uygulanan 10 mM borik asitle 3., 5. ve 7. gün sonunda hücre çeperlerindeki uranik asit konsantrasyonlarına bakılmış, önemli bir değişim gözlenmemiştir. Arpa ve buğdayda uranik asit içeriğinin detoksifikasyona etkisi olmamıştır (Mahboobi et al., 2001).

Bor toksisitesi, büyüme, gelişme ve membranların geçirgenliği vs. üzerindeki zararlarının dışında oksidatif zarara da yol açmaktadır. Bu, kloroplast zarları üzerindeki doğrudan etkisine ve stomaların kapanmasına yol açmasına bağlanabilir. Antioksidanlar ile B toksisitesinin ilişkilendirildiği bir çalışmada; bor'a toleranslı arpa kültür çeşidi Anadolu ile bor'a hassas Hamidiye arpa kültür çeşidine 5 gün süreyle 5 ve 10 mM borik asit uygulanmıştır. Kök ve gövdede büyüme parametreleri; protein, prolin, MDA, H₂O₂ miktarı, membran hasarı, SOD, APX, CAT ve GR analizleri yapılmıştır. Kontrolle karşılaştırıldığında kök ağırlıklarının azaldığı, protein miktarlarında ise kayda değer bir değişimin belirlenmediği bildirilmiştir. Prolin ve H₂O₂ miktarlarında da önemli bir değişim belirlenmemiş, ancak MDA miktarlarında ve elektrolit geçirgenliklerinin gövdelerde arttığı, köklerde ise herhangi bir değişim olmadığı belirlenmiştir. Bor'a hassas Hamidiye arpa kültür çeşidinin yaprak hücrelerinde yüksek değerlerde hasar meydana gelmiştir. Her iki kültür çeşidinin gövdelerinde yapılan analizlerde SOD, CAT ve GR aktivitelerinde kayda değer bir değişim belirlenmemiş, APX aktivitesi ise 10 mM borik asit uygulamasında artmıştır. Bor'a hassas Hamidiye arpa kültür çeşidinin köklerinde SOD ve CAT aktivitesi artmış, GR aktivitesi ise düşmüştür. Bor'a toleranslı arpa kültür çeşiti Anadolu'nun köklerinde; CAT artmış, APX azalmış, SOD ve GR miktarlarında değişim olmamıştır. Sonuç olarak; B toksisitesi arpa yapraklarında hasar meydana getirirken; aktif oksijen türevlerinin ve antioksidan sisteminin B toksisitesi için kritik faktörler olmadığı belirlenmiştir (Karabal et al., 2003).

Kuraklık etkisinin arpada, B toksisitesini arttırdığı bildirilmiştir (Yau, 1993). Arpa fidelerinde toprak sıcaklığına (5, 10 ve 15° C) bağlı olarak B toksisitesi araştırılmıştır. Toksisitenin görülebilir ilk etkileri 12. gün sonunda yüksek B konsantrasyonuna (12 mgkg⁻¹) sahip toprakta 5°C'de yetişen arpada tespit edilmiştir. Toprak sıcaklığının yükselmesiyle birlikte B konsantrasyonunun düştüğü belirlenmiştir. Arpanın dokularındaki B dağılımı ise toksisite etkisine bağlı olarak farklılık göstermektedir (Mahalakshmi et al., 1995). Arpa varyetelerinin bor toksisitesine karşı duyarlılıkları da farklıdır (Khan et al., 1999).

Sardunyalarda mikrobeseleyici toksisite üzerinde yapılan bir çalışmada B konsantrasyonu 2 mM (22 mglt⁻¹)'e çıkarıldığında toksik etki oluşmuş; bitkiler bodurlaşmış, yapraklar klm ve yaprak kenarlarında nekrozis gözlenmiştir (Lee et al., 1996).

Domates (*Lycopersicon esculentum* L. cv. 'Lale') bitkisine uygulanan B, 10 ve 20 mg kg-1 düzeylerinde toksisite semptomlarının ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bitkinin yaş ve kuru ağırlığı belirgin bir şekilde azalmıştır (Güneş et al., 2000).

Ülkemizde yaygın olarak yetiştirilen mısır (*Zea mays* L.) eşitleri üzerinde yapılan bir çalışma sonunda; B toksisitesine duyarlılıkları yüksekten dşge doğru sıralandığında Helix, Riogrande, Furio, Poker, Sele, Missouri, DK 743 ve Betor şeklinde olduğu grlmştir. Bor toksisitesine dayanıklı türlerde az miktarda bor biriktiği, B toksisitesine duyarlı türlerde ise daha fazla Bor biriktiği belirlenmiştir (Güneş ve ark., 2000).

Cevizgiller familyasından 5 kültür çeşidi üzerinde yapılan bir denemede genetik çeşitliliğin B toksisitesini belirleyici olduğu grlmştir (Picchioni et al, 1991).

24 gün süreyle kontrollü evre şartlarında yetiştirilen Ayçiçeği (*Helianthus annuus* cv. Sanbro) bitkilerine farklı gelişim evrelerinde 10, 25, 100 ve 500 μ M B içeren besin ozelteleri uygulanmış ve vejetatif büyümenin, B eksikliği veya toksikliğinden etkilenmediği grlmştir (Ortaca, 2005).

Bor toksisitesinin görülme derecesi mevsimden mevsime göre de farklılık gösterir. Bunun nedeni B'un yağmur sularıyla yıkanabilir olmasıdır (Khan et al., 1999).

Bitkilerde aynı türde bile bor elementinin eksikliği ile toksisite sınırları arasında farklılıklar gözlenebilir. Bunun nedeni ortamda bulunan diğer elementler olabileceği gibi iklim (nem, düşen yağmur miktarı) ve toprak yapısı gibi çevresel etmenler de olabilmektedir (Goldbach et al., 2000). Bitkinin bulunduğu ortamda 5 ppm'den (0.074

mM) fazla alınabilir bor bulunması toksisiteye neden olabilmektedir. Bor toksisitesi daha çok kurak ve yarı kurak bölgelerin topraklarında görülmektedir. Bu bölgelerde zaman zaman sulama sularının bor konsantrasyonunda da yükselme tespit edilmiştir. Bor miktarı 10 ppm'in (0.147 mM) üstüne çıktığında toksik etki belirgin biçimde gözlenmektedir (Boşgelmez ve ark., 2001). Dünyada en yüksek bor rezervine sahip ülkemizde; bor toksisitesinin Orta Anadolu Platosundaki bazı alanlarda önemli bir problem olabileceği belirtilmektedir (Yau ve ark., 1999).

Ülkemizde yetiştirilen önemli tarım ürünleri, buğdaygillerden sonra ağırlıklı olarak baklagillerdir. Nohut, baklagiller içinde en önemli tarım ürünlerimizdendir (Tokur, 1978 b.; Singh, 1997; Özdemir, 2002).

Flora içinde nohut (*Cicer arietinum* L.) gibi önemli pek çok tarım bitkisinin soyları çeşitli bölgelerde yayılış göstermektedir. Yurdumuz çok sayıda tarım bitkisinin soyları olan ve doğal olarak yetişen bitkilerin önemli gen merkezlerinden biridir. Doğal yayılış gösteren bitkilerin ıslahı ile kuraklığa, soğuğa, hastalıklara dayanıklı, farklı ekolojik koşullarda yetişebilen bol ürünli tarım bitkilerinin elde edilmesi büyük önem taşımaktadır (Tokur, 1978 a.).

Nohut bitkisi, *Fabaceae* (*Leguminosae*) familyasından *Cicer* L. genusuna dahildir. *Cicer* L. genusunda 8 tek yıllık, 35 adet ise çok yıllık olmak üzere 43 tür vardır. *Cicer arietinum* L., dünyada tarımı yapılan tek yıllık, bir *Cicer* türüdür (Tokur, 1979 a., Özdemir, 2002).

Yurdumuz *Cicer arietinum* L. kültür formları tohum morfolojisi büyüklüklerine göre 4 ırk'a (Orientale, Asiaticum, Mediterraneum ve Eurasiaticum) ayrılmaktadır. Bu ırklar da kendi içlerinde toplam 12'den fazla kültür varyetesine ayrılmaktadır: *C. arietinum* L. cv. *hispanico-flavescens* G. Pop., *C. arietinum* L. cv. *hispanico-subflavescens* G. Pop., *C. arietinum* L. cv. *hispanico-albo-testaceum* Proserova, *C. arietinum* L. cv. *turcico-eborinum* G. Pop. vb. (Tokur, 1978 a.). Buna göre araştırma bitkilerimizden *C. arietinum* L. Gökçe; *C. arietinum* L. cv. *hispanico-flavescens* G.

Pop., *C. arietinum* L. Ksmen 99 ise *C. arietinum* L. cv. *hispanico-subflavescens* G. Pop. et A. Paul. eşidleridirler (Tokur, 1978 a.).

Ilıman kuşakta geniş adaptasyon yeteneği olan nohut tek yıllık nötr gün bitkisi olup çoğu çeşidi 90-100 günde olgunlaşabilmektedir. Nohut tohumları 15-30°C arasındaki sıcaklıklarda, optimum 20°C'de imlenebilmektedirler. Vejetatif gelişmenin erken dönemlerinde gece 21-24°C, gündüz 29-32°C sıcaklıklar arasında, daha sonraki gelişme döneminde, generatif dönemde, optimum gece 18-21°C, gündüz 26-29°C sıcaklığa ihtiyaç duyar. Optimum tane tutma için gerekli hava oransal nemi % 21-41 arasındadır. Toprak ph'sı 6,0-9,0 arasında gelişebilmektedir (Tokur, 1980; Singh, 1997; Clarke, 2004). Gelişme devresinin sonlarında reproduktif dönemde ise yüksek sıcaklığa oldukça toleranslıdır. Yüksek verim için açık, parlak, güneşli havalar gereklidir. Kurağa dayanıklıdır. Yıllık yağışı 350 mm. olan bölgelerde de sulanmadan yetişir. Su altında kaldığında çok zarar gördüğünden drenaj durumu iyi olan her tip toprakta yetiştirilebilmektedirler. Havalanması iyi olan killi tınlı topraklar en iyi yetişme yerleridir (Sepetoğlu, 2006).

Nohut dünyada en çok ekilen ikinci baklagil bitkisidir. Dünyada 12.147.000 ha alanda ekimi yapılarak 8.582.000 ton ürün elde edilmektedir. 2001 yılında Dünya nohut üretiminin % 90'ı sırasıyla Hindistan, Pakistan, Türkiye, Kanada, Avustralya ve Meksika'da kalan % 10'luk kısmının ise diğer ülkelerde üretildiği bildirilmiştir (Singh, 1997).

Türkiye'de hemen hemen her coğrafik bölgede tarımı yapılmakla beraber Orta Kuzey Anadolu bölgesi nohut tarımının en fazla yapıldığı bölgedir. Orta Kuzey Anadolu bölgesini sırasıyla Akdeniz, Orta Güney Anadolu, Ege, Orta Doğu Anadolu ve diğer bölgeler izlemektedir (şehirali, 1988).

Bilindiği gibi yurdumuz çok sayıda tarım bitkisinin atası olan ve doğal olarak yetişen yabani bitkilerin gen merkezidir. Çok sayıda kültür bitkisi bu yabani formların ıslahı ile elde edilmiştir. Bu yabani bitkiler genotipik olarak kuraklığa, soğuğa, çeşitli

hastalılara ve edafik ya da çevresel olarak bitkiler için toksik birtakım maddelere dayanıklılık genlerine sahiptirler.

Bu çalışmada, toksik miktardaki bor'un çeşitli kültür bitkilerinde büyüme ve gelişme parametreleri, membran geçirgenliği gibi bitkiler için hayati önemi olan konularda çeşitli şekillerde etkili olduğu saptanmıştır. Toksik miktardaki bor'un artmasının bitkilerin büyüme metabolizmasında metabolik yolları engelleyerek bitkilerde önemli zararlara neden olduğu saptanmıştır.

Bu çalışma ile aynı zamanda kültür bitkilerinin bazı çeşitlerinin B toksisitesine toleranslarının genetik çeşitlilikle ilgili olduğu ortaya konulmuştur.

“Bitki Stres Fizyolojisi” konusunda yapılan bu çalışmanın; kurağa, soğuğa, çeşitli hastalıklara karşı dayanıklı, farklı ekolojik koşullarda yetişen/yetiştirilebilen bol ve kaliteli ürün verebilen tarımsal bitkilerin elde edilmesi bakımından, gerek temel gerekse Ziraat ve Ormancılık gibi uygulamalı bilimlerde bu konuda yapılacak çalışmalara ışık tutacağı inancını taşımaktayız.

2. LİTERATÜR BİLDİRİŞLERİ

Bu bölümde bitkilerin endojen (içsel) ve eksojen (dışsal) stres faktörleri ve bitkilerin bu faktörlere karşı savunma sistemleri; yeryüzünde bulunan bor elementinin özellikle bitkiler üzerindeki etkileri ile araştırma bitkilerinin bazı taksonomik özelliklerine ilişkin yazınsal kaynakların bildirişleri verilmiştir.

2.1. BİTKİLERDE STRES FAKTÖRLERİ VE SAVUNMA SİSTEMLERİ

Canlılarda biyolojik sistemlerin normal gelişimini engelleme yönünde oluşan olumsuz bir kuvvet veya etkiye “Biyolojik stres” adı verilmektedir. Stres iki gruba ayrılmaktadır: “Biyotik stres”, “Abiyotik stres”. Bunlardan diğer organizmaların zararlı etkisiyle oluşan strese “Biyotik stres”; çevrenin fiziksel ve kimyasal etkileriyle meydana gelen strese de “Abiyotik stres” adı verilmektedir (Bray et al., 2000).

Çevresel etmenler, mineral beslenmedeki değişim, suyun miktarında ve kalitesinde oluşan farklılıklar, yüksek ya da düşük sıcaklıklar, dışarıdan (eksojen) kimyasal madde (doğal veya sentetik) uygulaması gibi her türlü stresle karşılaşan bitkiler bu strese rağmen hayatlarını devam ettirebilme çabasındadırlar (Wilkinson, 1994).

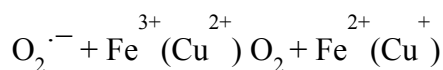
Strese karşı gösterilen tepki; stresin şiddetine, süresine, stresten etkilenmiş olan bitkilerin gelişim aşamasına, doku tipine ve birçok stresin etkileşimlerine bağlıdır (Koca, 2002). Bitkilerde stresten korunma mekanizmaları, bitki dokularında stres faktörlerinin azaltılmasına veya önlenmesine yöneliktir. Strese tepki olarak bitkilerde; yaprak ayasının kalınlığı, stomaların büyüklüğü ve sıklığı, kutikulanın kalınlığı değişmektedir (Acar, 1999). Bitkilerde strese tolerans mekanizması; doku ile organel düzeyinde moleküler seviyede gerçekleşir ve oluşan stres etkisinin azaltılmasını veya tolere edilmesini kapsamaktadır (Edreva, 1998).

Bitkiler için temel bileşenlerden olan oksijen; moleküler oksijenin (O_2) suya (H_2O) indirgenmesi yoluyla bitkiler için enerji kaynağı oluşturmaktadır. Oksijenin indirgenmediği durumlarda ise biyolojik molekülleri okside edebilen aktif oksijen

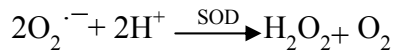
türleri (AOS) oluşmaktadır (Seçkin, 2005). Bu aktif oksijen türleri olan hidrojen peroksit (H_2O_2), süperoksit (O_2^-) radikalleri, hidroksil radikalleri ($-OH$) ve tek değerlikli oksijen (1O_2) türleri bitki hücrelerinde kloroplastlarda, mitokondriumlarda ve peroksizom'larda meydana gelen oksidatif reaksiyonlarla üretilebilmektedirler. Moleküler oksijen (O_2) oldukça kararlı bir yapıya sahip olmasına karşın, yaşamsal reaksiyonların rastlanabilir bir sonucu olarak veya streslerin teşvikiyle oluşan bu aktif oksijen türleri, koruyucu mekanizmaların işlev görmediği durumlarda, sadece bitkilerin değil, herhangi bir aerobik organizmanın hücre yapı ve işlevlerine bile zarar verebilmektedirler (Demiral, 2003). Stresiz koşullarda, bitkilerin antioksidant savunma sistemleri, aktif oksijen türlerine karşı gerekli korunmayı sağlamaktadırlar (Çakmak et al., 1993). Ancak stres faktörleri ortaya çıktığında meydana gelen stresin; bitki dokularına zarar veren oksijen türlerinin, aktif oksijen türlerinin, üretimini artırma potansiyeline sahip oldukları bildirilmiştir (Sairam and Srivastava, 2002). Bitkiler kendilerine zarar veren bu oksijen türlerine karşı son derece gelişmiş ve karmaşık bir antioksidant sistemine sahiptirler. Bu sistem sayesinde bitkilerde antioksidant enzimler ile düşük moleküler ağırlıktaki antioksidantlar meydana gelirler (Allen, 1995).

Antioksidant savunma sistemi; aerobik canlılar için toksik olan oksijen ara ürünlerinin enzimatik ve enzimatik olmayan savunma mekanizmaları sayesinde zararsız hale getirilmesiyle, hücreleri oksidatif zararlara karşı korumaktadır. Enzimatik olmayan antioksidantlar olarak; mannitol, sistein, hidrokinin, C ve E vitaminleri, flavanoidler, bazı alkoloidler, karotinoidler ve ksantofiller sayılabilir. Enzimatik antioksidantlar olarak ise süperoksit dismutaz (SOD), peroksidaz (POX), askorbat peroksidaz (APX), katalaz (CAT) ve glutasyon redüktaz (GR) sayılabilir (Halliwell and Gutteridge, 1989; Bowler et al., 1992).

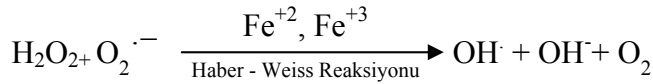
Süperoksit dismutaz; savunma mekanizmasının ilk basamağı olan süperoksitin oksijen ve H_2O_2 'ye dönüşümünü gerçekleştirmektedir. Süperoksit radikali kimyasal bakımdan çok kararsız bir moleküldür. Bu radikal hücrede var olan Fe^{3+} ve Cu^{2+} metal iyonlarını indirger ve kararlı hale geçer (O_2).



Süperoksit radikali bu aşamada etkisiz hale getirilmezse, metabolizmada herhangi bir yok edilme mekanizması bulunmayan hidroksil radikali (-OH) oluşur. Tilakoid zarında bulunan bir metalloenzim olan süperoksit dismutaz, serbest oksijen radikallerinin, H₂O₂ ve O₂'ne dönüşümünü kataliz eden antioksidant savunma sisteminin en önemli enzimidir (Bowler et al., 1992).



Fe⁺² ve Fe⁺³ iyonlarının iz miktarlarda bulunduğu indirgenmiş metal iyonları varlığında, hidroksil radikalleri Haber-Weiss reaksiyonuyla süperoksit ve hidrojen peroksidin tepkimeye girmesiyle oluşabilir (Bowler et al., 1992).



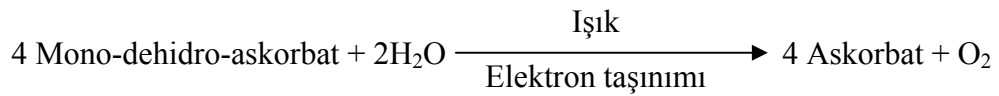
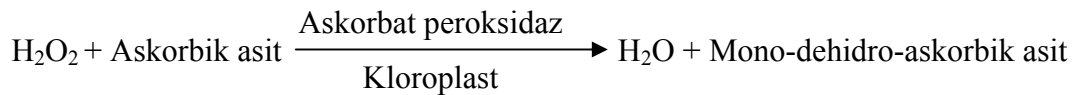
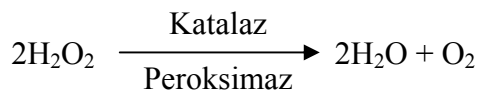
Bundan sonraki aşamada ise oluşan H₂O₂ katalaz, peroksidazlar, askorbat-glutasyon döngüsü enzimleri aracılığıyla uzaklaştırılmaktadır (Foyer et al., 1994; Fridowich, 1998).

Katalaz, bitkilerde genellikle peroksizomlarda ve glioksizomlarda bulunmaktadır. Başlıca görevi; fotorespirasyon ya da glioksizomlarda yağ asitlerinin β oksidasyonu sırasında oluşan H₂O₂'i su ve oksijene ayrıştırarak zararsız hale getirmektir (Lazarow and Fujuki, 1985).

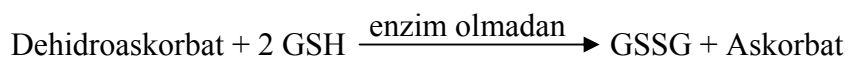
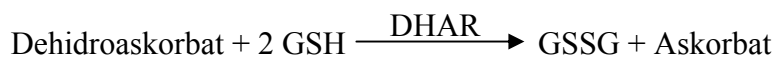
Peroksidaz, biyokimyasal ve fizyolojik süreçlerde etkili olduğu gibi çevresel streslere cevapla da ilişkilidir (Matamoros et al., 2003).

Kloroplastlarda bulunan peroksidaz sınıfı bir enzim olan askorbat peroksidaz; askorbat-glutasyon döngüsünde, askorbik asiti elektron verici olarak kullanarak H₂O₂'i suya indirger (Bowler et al. 1992). Oluşan reaksiyon sırasında askorbat, askorbat peroksidaz enzimi tarafından monodehidroaskorbata (MDHA) okside olur. MDHA,

NAD(P)H bağımlı monodehidroaskorbat redüktaz enzimi tarafından askorbata dönüştürülerek ortamdaki askorbat miktarı belirli bir düzeyde tutulur (Asada, 1992; Foyer et al, 1994). Başka bir yol ile de MDHA; indirgenmiş ferrodoksin aracılığıyla ortamsal olarak PS-I tarafından yeniden askorbata dönüştürülür. İki molekül monodehidroaskorbat, enzimatik olmayan bir başka yol ile de Askorbat (Asc) ve dehidroaskorbata (DHA) dönüşebilmektedir.

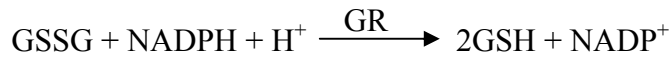


Dehidroaskorbat (DHA); dehidroaskorbat redüktaz enziminin katalizlediği reaksiyonla glutasyonun yükseltgenmesiyle askorbata dönüştürülür. Bu yolla, indirgenmiş glutasyon (GSH), dehidroaskorbat redüktaz aktivitesi ile okside glutasyona (GSSG), bu da glutasyon redüktaz enzimi (GR) tarafından tekrar indirgenmiş forma, GSH'ye, dönüştürülmektedir (Asada, 1992).



Glutasyonun metabolik düzenleyici ve antioksidant olarak oynadığı bir çok rol onun glutasyon disülfid'e (GSSG) okside olmasıyla sonuçlanmaktadır (Noctor and Foyer, 1998). Glutasyonun antioksidant özelliği GSH'deki, tripeptidin SH grubunun

SSG'deki disülfite oksidasyonuna bağlıdır (Smith et al., 1989). Okside olmuş glutasyonun (GSSG), GSH'a indirgenmesi GR enzimi tarafından NADPH'a bağımlı olarak gerçekleşmektedir (Foyer and Halliwell, 1976). Reaksiyonlar sonucunda ortamda, hidroksil radikalinin varlığı azalır ya da oluşumu engellenir (Madhava and Sresty, 2000).



Bitkiler çevresel stres altında aktif oksijeni uzaklaştıran enzim aktivitelerini arttırmırlar. Enzim aktivitelerinin artışına paralel olarak enzimlere ait proteinlerin ve mRNA'ların miktarları da artar (Sato and Murata, 1998). Bitkiler sahip oldukları yüksek antioksidant enzimler sayesinde farklı çevresel streslere karşı cevap ve tolerans sağlamaktadırlar (Çakmak et al., 1993; Acar et al., 2001; Sato et al., 2001; Bor et al., 2003; Türkan and Demiral, 2004)

2.2. BOR ELEMENTİ VE BOR ELEMENTİNİN BİTKİLER ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Bitkilerde stres faktörlerinin en önemlilerinden biri de besin elementlerinin eksikliği veya toksisitesidir. Bunlar metabolizmanın işlevini engellemekte ve bitkide çeşitli zararlara neden olabilmektedirler. Bitkiler tarafından eser miktarda gereksim duyulan, eksikliği ve toksisite sınırı birbirine en yakın element bor'dur (Brown P.H. et al., 2002).

Bor saf element olarak ilk kez 1808 yılında Fransız kimyager J.L. Gay-Lussac ve Baron L.J. Thenard ile İngiliz kimyager H. Davy tarafından elde edilmiştir (Online, www.boren.gov.tr). Bor, periyodik sistemde B simgesi ile gösterilen III-A Grubuna ait, atom numarası 5, atom ağırlığı 10.81 olan, bitki besleyici elementler içinde metal olmayan tek elementtir (Boşgelmez ve ark., 2001). Bor, doğada ¹⁰B (%18.98) ve ¹¹B (%81.02) olmak üzere iki kararlı izotop halinde bulunmaktadır. Yerkabuğunun yaklaşık % 0.001'lik bir kısmını oluşturan bor, element halde iken amorf veya kristal yapıda,

suda çözünmeyen, kahverengimsi-siyah renge ve toz şeklinde olup normal sıcaklıklarda oldukça karardır. Oksijene eğilimi oldukça fazla olan bir elementtir. Yeryüzünde oksijen bileşikleri şeklinde, daha çok da Ca ve Na boratlar halinde bulunurlar. En sık rastlanan bor bileşiği; borik oksit (B_2O_3) ve boraktır ($Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$) (Adriano, 1986). Bor tabiatta hiçbir zaman serbest halde bulunmamaktadır. Doğada yaklaşık 230 çeşit bor minerali olduğu bilinmektedir (www.boren.gov.tr). Topraktaki çözünür bor'un çoğunluğunu borik asit (H_3BO_3) oluşturmaktadır. Borik asit, toprakların çoğunda görülen pH sınırları içinde dissosiyasyon olmadığı için, toprak kolloidlerine bağlanamaz ve hızla yıkanarak toprağın alt horizonlarına doğru inmektedir. Kurak bölge topraklarında ise, bor üst toprak horizonlarında birikir ve toksik konsantrasyon değerlerine kadar çıkar (Boşgelmez ve ark., 2001).

Yeryüzünün 51. yaygın elementi olan bor yeryüzünde toprakta, kayalarda ve suda yaygın olarak bulunan bir elementtir. Toprağın bor içeriği genelde ortalama 10-20 ppm, deniz suyunda 0,5-9,6 ppm, tatlı sularda ise 0,001-1,5 ppm sınırları içindedir. Yüksek konsantrasyonda ve ekonomik düzeydeki bor kaynakları, bor'un oksijenle bağlanmış bileşikleri olarak daha çok Türkiye ve Amerika'nın kurak volkanik ve hidrotermal aktivitelerinin yüksek olduğu bölgelerde bulunmaktadır (Ediz ve Özday, 2001).

Çeşitli endüstri dallarında kullanılan bor; fiberglas, tıp uygulamaları ve eczacılık maddeleri, nükleer reaktörlerde koruyucu olarak, suni gübre yapımı, fotoğrafçılık, cam ve emaye gibi bazı sektörlerde başlıca temel hammaddeyi oluşturmaktadır. Boraks ve borik asit gibi, başta en çok bilinenleri olmak üzere, birçok formda kullanılabilen bor, çok yönlü ve yararlı bileşikler oluşturmaktadır. Söz konusu bileşiklerin başlıca özellikleri ise kuvvetli lehimlemede, kaynak işlerinde, sürtünmelerin azaltılmasında ve arıtma işlemlerinde büyük avantajlar sağlamalarıdır. Boraks ve borik asit, bakterileri öldürücü niteliği, su içinde kolay eriyebilmesi ve mükemmel su yumuşatıcı özellikleriyle sabunlarda, temizleyicilerde, deterjanlarda, çok çeşitli ilaçların yapımında, tekstilde kullanılan boyaların yapımında, çeşitli malzemelerin uzun süre korunmasında ve tarım sanayinde çok yaygın kullanım alanlarına sahiptirler. Bazı bor ürünleri,

eritilebilme özellikleri sayesinde; metal arıtma ve çelik üretiminde, atomik reaktörlerde, geç ateşlemeli sigortalarda, radyo lambalarında ve güneş bataryalarında sıkça kullanılan vazgeçilmez maddelerdendir. Temel hammaddeleri çeşitli bor bileşikleri olan “*kübik boryum nitrid*” elmastan daha sert olan “borazon” ticari adıyla bilinen maddenin yapımında, “*boryum nitrid*” termik izolatör olarak, “bor karboit” dayanıklı malzemelerin yapımında, “*bor triklorit*”, “*bor triflorür*” ve “bor esterleri” ise çeşitli dayanıklı sanayi üretimlerinde örneğin petrol rafinerilerinde katalizör olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, *diboran* (B_2H_6), *pentaboran* (B_5H_9), *ekaboran* ($B_{10}H_{14}$) ve *alkali boronlar* (sodium borohidrit) gibi çeşitli bor bileşikleri de geleceğin potansiyel jet ve roket yakıtları olarak kabul edilmektedirler. Dünya borat üretiminin %90’ı Amerika Birleşik Devletleri ve Türkiye tarafından gerçekleştirilmektedir. Dünyada bilinen bor yataklarının %70’i Türkiye’de bulunmaktadır (Helvacı, 2004). Türkiye’nin borat yatakları Marmara Denizi’nin güneyinde 300 km. doğu-batı, 150 km. kuzey-güney yönlerinde uzanan bir alanda, Batı Anadolu’da görülür. Esas olarak Bigadiç, Kestelek, Sultançayırı, Emet ve Kırka yurdumuzun başlıca borat alanlarıdır (Kistler and Helvacı, 1994).

Son 60 yıl içinde 80’den fazla ülke topraklarının B minerali bakımından fakir olduğu, bu nedenle günümüzde yılda yaklaşık 15 milyon ha alana B uygulamasının yapıldığı bilinmektedir. Bor’un yağmurla beraber $B(OH)_3$ şeklinde topraklardan hızlıca uzaklaşması toprakta B eksikliğine sebep olan faktörlerden en önemlisidir. Özellikle kalkerli topraklarda toprak pH’nın artmasına bağlı olarak $B(OH)_4$ ’ün oluşması ve sonuç olarak topraktaki B miktarının azalması diğer bir etmendir. B eksikliği; kumlu ve çakıllı topraklarda da B’un yağmurlarla akıp gitmesi sonucu meydana gelmektedir. Killi topraklar B’u adsorbe ettikleri için ve kuru topraklarda su azlığından dolayı B miktarı azalabilmektedir (Shorrocks, 1997).

Deniz kökenli tortul kayalarda, deniz balçıklarında, göl veya sel alanlarındaki birikintilerde daha fazla oranda bor bulunmaktadır (Ermiş, 2002). Kurak ve yarı kurak bölgelerde yüksek miktarda B içeren suların, sulama suyu olarak kullanılması topraktaki B fazlalığının diğer bir nedenidir. Gübrelemenin normalden fazla uygulandığı tarım alanlarındaki topraklarda da B artabilmektedir. Kirletilmiş sular, B maden

işletmelerinden çıkan atıklar ve uçucu küller topraktaki B fazlalığına neden olan diğer kaynaklardır (Nable et al., 1997).

Ülkemizin 3.5 milyon ha tarım arazisine sahip olan Orta-Güney Anadolu bölgesi (Konya, Afyon, Karaman, Aksaray, Niğde, Nevşehir ve Kayseri) tarım topraklarından alınan örneklerde yapılan analiz sonuçlarına göre toprakların elverişli bor miktarının 0.01-63.9 mg kg⁻¹ arasında değiştiği, %26.6'sının da bor'ca yetersiz (<0.5 mg kg⁻¹) ve %18'ininde ise borca toksik (>3.0 mg kg⁻¹) düzeyde oldukları bulunmuştur. Toprakların elverişli bor miktarının toprak özelliklerine bağlı olarak değiştiği ve özellikle toprak tuzluluğu, sodyum ve organik madde miktarı arttıkça elverişli bor miktarının da çok önemli düzeyde arttığı belirlenmiştir (Gezgin ve ark., 2002).

Bor'un bitkiler için gerekli bir element olduğu ilk kez 1923 yılında Warington tarafından bildirilmiştir. Bor'un diğer organizmalardaki biyolojik rolleri konusundaki ilk çalışmalar ise; 1981 yılında diyatomeler, 1990 yılında cyanobakteriler, 1999'da mayalar, 1998 yılında Alabalıklar (*Oncorhynchus mykiss*), 1998 yılında kurbağalar (*Xenopus laevis*), 1999 yılında Zebra balıkları (*Danio rerio*) ve 2000 yılında fareler üzerinde yapılmıştır. Bor'un insanlarda gerekli bir element olduğu ve bu elementin rolünün açıklandığı ilk çalışma ise Nielsen tarafından yapılmıştır. Borun cyanobakteriler dışında diğer bakterilerde, mantarlarda ve yeşil alglerde bulunup bulunmadığına dair hiçbir bilgiye rastlanmamıştır (Dordas and Brown, 2000; Brown P.H. et al., 2002).

Bitkiler arasında B elementine olan gereksinim oldukça büyük farklılık göstermektedir. Bitkiler B gereksinimlerine göre En az, Orta ve En yüksek düzeyde bor'a ihtiyaç duyan bitkiler olarak üç grupta sınıflandırılmaktadırlar. Çift çenekli bitkilerin B istekleri, tek çenekli bitkilere göre 3-4 misli daha fazladır (Bellaloui and Brown, 1998; Hakkı ve ark., 2005).

Çizelge 2.1 Bor ihtiyaçlarına göre bazı bitkilerin gruplandırılması ve bu bitkilerden optimum verim elde edilmesi için vejetatif kısımlarında kuru madde esasına göre bulunması gereken bor miktarının sınır değerleri (Gezgin ve ark., 2005'ten alınmıştır).

Hassas Bitkiler	Yarı Dayanıklı Bitkiler	Dayanıklı Bitkiler
Bitki mgB/kg k.m. (ppm.)	Bitki mgB/kg k.m. (ppm.)	Bitki mgB/kg k.m. (ppm.)
Buğday 6 - 17	Ispanak 25 - 60	Şeker pancarı 35 - 200
Arpa 6 - 21	Biber 25 - 75	Elma 25 - 50
Yulaf 14 - 24	Domates 40 - 80	Yonca 35 - 80
Buğday(yazlık) 6 - 10	Marul 23 - 60	Hıyar 30 - 100
Mısır 5 - 25	Şeftali 20 - 60	Kırmızı pancar 30 - 85
Soya fasulyesi 21 - 55	Armut 20 - 70	Kabak 25 - 75
Bezelye 30 - 70	Kiraz 20 - 100	Lahana 25 - 75
Fasulye 25 - 80	Asma 30 - 60	Ayçiçeği 29 - 125
Çilek 23 - 50	Soğan 25 - 75	Kereviz 25 - 50
Patates 21 - 75	Kayısı 25 - 70	Turp 40 - 100
Çeltik 5 - 15	Havuç 30 - 100	

B bitkiler tarafından aktif ve pasif olarak alınabilmektedir. Bitkiler yaygın olarak bor'u pasif absorpsiyon yoluyla ve iyonlaşmamış $B(OH)_3$ şeklinde alırlar (Nable et al., 1997). B bitkiler tarafından az da olsa, $B(OH)_4^-$ iyonları şeklinde de alınabilmektedir (Hu and Brown, 1997).

Köklerden bor'un pasif absorpsiyon yoluyla ve iyonlaşmamış $B(OH)_3$ şeklinde alınımında, transpirasyona bağlı olarak alınan bor, ksilem iletim boruları içerisinde bitkinin tepe noktalarına doğru taşınmaktadır, akropetal. B alınması ve iletim borularında taşınması bitkinin transpirasyonuna bağlı su alınımı ile yakından ilişkilidir (Hu and Brown, 1997). Transpirasyon sırasında bor'un kökten gövdeye geçişinde diğer maddelerle yapacağı bileşik çeşitliliği önemlidir. Bitkinin membranını oluşturan sterollerin fazlalığı membrandaki B akışını azaltabilmektedir (Brown et al., 2002). Bor'un yeterli ve fazla miktarda ortamda olduğu durumlarda hücre membranından

difüzyonla birlikte; aquaporin olarak adlandırılan taşıyıcı proteinler ve diğer temel membran proteinleri de (MIP) bu alımda görev almaktadırlar (Dordas et al., 2000).

Bitkilerin bor'un az bulunduğu ortam koşullarında bir konsantrasyon gradiyentine karşı enerji harcayarak yani aktif olarak B alımı yaptıkları, ayçiçeğinde yapılan bir çalışmada gösterilmiştir (Dannel et al., 1997). Ayçiçeğinde B eksikliğinde ksilem özsuyu ve kök hücre özsuyundaki B konsantrasyonunun, köklenme ortamındaki B konsantrasyonundan ($1 \mu\text{M}$) 22 kat daha fazla olduğu bulunmuştur. Köklenme ortamında bulunan B konsantrasyonunun 24 saatte $100 \mu\text{M}$ 'a çıkartarak aktif alım mekanizmasının engellendiği ortaya konulmuştur (Pfeffer et al., 1999). Aktif alımda B konsantrasyon artışının; kök zonunun düşük sıcaklıkta olması veya 2,4 dinitro fenol uygulanması sonucunda engellendiği belirtilmiştir. Ayçiçeğinde daha detaylı izotiplerle yapılan çalışma da aynı sonuç elde edilmiş ve aktif taşınımında düşük B konsantrasyonunun etkinliği detaylı şekilde açıklanmıştır (Dannel et al., 2000). B konsantrasyonunun Michaelis-Menten Kinetik mekanizması ortaya konulmuştur (Pfeffer et al., 2001). Alglerden *Chara corallina*'da da Michaelis-Menten Kinetik mekanizması ortaya konulmuştur (Stangoulis et al., 2001).

B bitkilerde en fazla yaprak ve üreme organlarında bulunurken sırasıyla en az kök, meyva ve tohumlarda bulunmuştur. Pamuk'ta B miktarını yüksek konsantrasyondan düşük konsantrasyona doğru sıralama yaptığımızda; en yüksek düzeyde bazal yapraklarda, üst yapraklarda, kabuk bölgesinde, kökte, gövdede ve en az ise odun bölgesinde bulunduğu bildirilmiştir (Zhao and Oosterhuis, 2002). Bor'un yaprakta dağılımında da farklılıklar vardır. Yaprığın en uç bölgesi bor'un en yüksek konsantrasyonda olduğu bölge iken, bunu sırasıyla yaprak kenarları, daha sonra merkezi bölüm ve petiyole yaklaştıkça B konsantrasyonunun da azaldığı tespit edilmiştir (Shelp and Brown, 1997). Arpalar'da yaprak tabanındaki B miktarı 0.75 mg g^{-1} , yaprığın orta kesiminde 6.6 mg g^{-1} , yaprak ucunda ise bu değer 23.5 mg g^{-1} 'a yükseldiği bulunmuştur (Reid et al., 2004).

Bitkilerde besin maddelerinin taşınımına floem ve ksilemin katılımı türden türe ve her element için farklılık göstermektedir. N, P, K, S ve Mg ya ksilem ya da floem

içinde taşınabilirken Ca ve pek çok bitki türünde bor' un floemde taşınımı sınırlıdır ve bu elementler büyümekte olan dokulara sadece ksilem aracılığıyla taşınabilmektedirler. Gelişmiş yapraklarda bulunan hareketsiz elementler, geliştirmekte olan dokuların ihtiyacını karşılamak için ksilemde tekrar taşınamazlar ve dolayısıyla toprakta her zaman bulunmak zorundadırlar. Ksilemde taşınan, bitkide sınırlı bir mobilitiyeye sahip Ca ve B gibi elementlerin ortamda bulunmaması meristematik büyüme ve özellikle reproduktif büyümenin hızlı bir şekilde inhibisyonu ile sonuçlanmaktadır (Ortaca, 2005).

B bitkilerde transpirasyonla buhar halinde su kaybı devam ettikçe, üst kısımlara doğru ksilemle taşınmakta ve bitkinin yaprak ucu, meyva gibi organlarında hareketsizlikten dolayı birikmektedir (Shelp and Brown, 1997). Bor'un bitkilerde mobil halde taşınımı floemde primer fotosentetik şeker ürünleri halinde olmaktadır ve gövdede birikim gözlenmektedir (Brown and Hu, 1998). Bitkilerin çoğunda bor'un mobil halde taşınmasını sağlayan polyol bileşikleri (polyol-B-polyol) bor'la sorbital, mannitol, dulsitol ve zayıf şeker fruktozun bağlanmasıyla oluşmaktadır (Shelp and Brown, 1997). Lehto ve ark. (2004) orman ağaçlarının bazılarında yaptıkları çalışmalarda yeni polyollerin B taşınımında görev aldıklarını belirtmişlerdir. Bunlar bor'la kompleks yapan myo-inositol, pinitol, arabitol, xylitol ve quebrachitol'dür. Çevresel faktörler ve fenolojik karakterler bitkilerde polyol oluşumunu etkilemektedirler (Shelp and Brown, 1997). B mobil halde iken, kerevizde (*Apium graveolens*) floem öz suyunda mannitol-B-mannitol kompleks yapısında, şeftali (*Prunus persica*) çiçek nektarında sorbitol-bor-sorbitol, fruktoz-bor-fruktoz ya da sorbitol-bor-fruktoz kompleks yapısında bulunmaktadır (Hu et al., 1997). Gen aktarımı yoluyla sorbitol üretmesi sağlanan tütünlerin, kontrol grubuna oranla B alınımının kök ve gövde de % 200 arttığı gözlenmiş ve B mobilitesi sağlanmıştır (Bellaloui et al., 1999). Sorbital üretiminden sorumlu olan sorbital-6-fosfat dehidrogenaz geninin, genetik yolla aktarımı gerçekleştirilen pirinç bitkisinde B mobilitesi artırılmış, uygulanan yöntemin diğer *Poaceae* türleri için de geliştirilebilir olduğu belirlenmiştir (Bellaloui et al., 2003).

B diğer mikro elementlerden farklı olarak, taşınımı türden türe farklılık gösteren tek elementtir (Shelp and Brown, 1997). Mısır, arpa, buğday ve sebzeler hareketsiz

taşınım yaparlar. Meyva ağaçlarında ise mobil taşınım gözlenir. Özellikle tarım alanlarında üretimi yapılan bitkilerin seçiminde mobilitesi bilinen bitkinin tercih edilmesi, bor'un eksikliği veya toksisite etkisinden oluşacak zararı en aza indirecek; doğru ürün ve üretim yapılmasını sağlayacaktır (Brown and Hu, 1998).

Bitkilerde bulunan bor'un büyük bir kısmı hücre çeperinde yer almaktadır (Hu and Brown, 1994). Hücre çeperinde bulunan B miktarı, bitkilerde bulunan toplam bor'un % 90'dan fazlasını oluşturmaktadır (Kobayashi et al., 1997). Bor'un zengin karbonhidrat bileşikleri ile birlikte hücre çeperinde yer aldığı belirtilmiştir. Bor'un eksikliğinde bitkilerin aktif büyüme bölgeleri olan kök ve gövde uçları ile yaprak uçlarında bozulmalar oluşmaktadır. Bu bozulmalar bor'un hücre çeperinde sentez ve yapısal rolleri ile ilişkilendirilmiştir (Brown et al., 2002).

B eksikliği hızlı bir şekilde ilk olarak hücrede kendini gösterir. Öncelikle hücre çeperi, hücre membran oranı bozulmaktadır. Hücre çeperi oldukça kalınlaşır, normal hücreye oranla hücre anatomisi ve fizyolojisinde değişiklikler meydana gelir (Brown et al., 2002). B eksikliğinde hücre çeperi sentezi etkilenirken hücre bölünmesi de engellenmektedir (Fleischer et al., 1998).

Bor, bitki dokularında suda çözünen veya çözünmeyen formlarda olmak üzere iki şekilde bulunmaktadır (Matoh, 1997). Bor'un 52 bitki türünde hücre çeperinde pektik polisakkarit bileşikleri halinde yer aldığı görülmüştür (Hu et al., 1996). Çift çenekli bitkilerin hücre çeperinde, tek çenekli bitkilere göre 6,5 kat daha fazla pektin bileşenleri vardır (Kaneko et al., 1997). Pektinler asidik bir heteropolisakkarit yapısındadırlar. Bitkilerin hücre çeperindeki pektinler; homogalacturonan (HGA), rhamnogalacturonan-I (RG-I) ve rhamnogalacturonan-II (RGII) olmak üzere 3 gruba ayrılırlar (Ortaca, 2005).

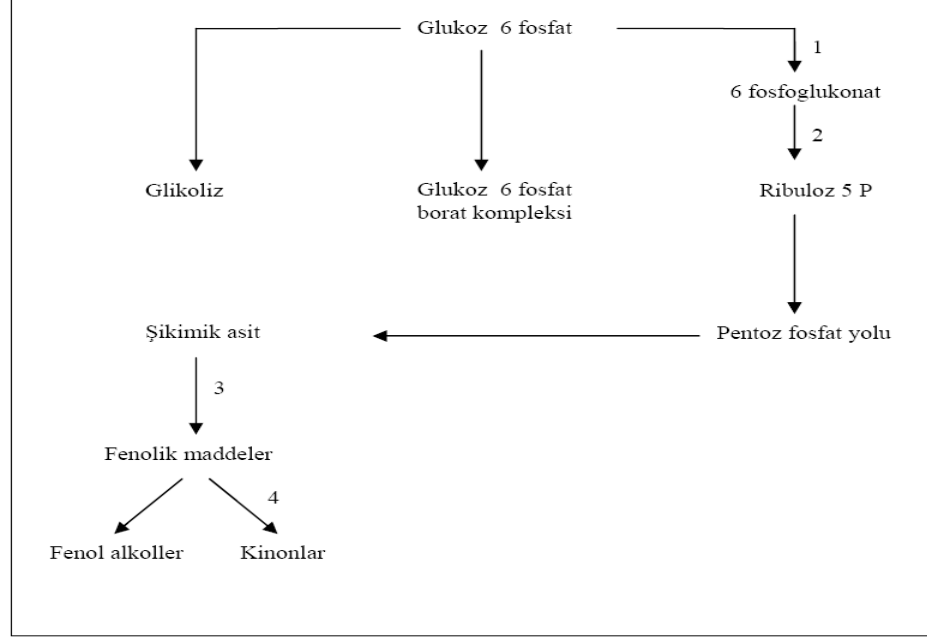
Yüksek bitkilerde bor'un suda çözünmeyen fomları rhamnogalacturonan II (RG-II) ile kompleks bileşikler yapmaktadırlar (Matoh, 1997). Bitkilerin hücre çeperlerindeki rhamnogalacturonan II'ye ait iki zincirin borat-diol ester bağları ile birbirine bağlandığını ilk olarak ortaya koyan araştırmacılar Kobayashi ve arkadaşları

(1996) olmuştur. Hücre çeperlerindeki bor-rhamnogalakturonan-II (RG-II-B) komplekslerinin varlığı çeşitli familyalara ait 24 bitki türünde gösterilmiştir (Matoh et al., 1996). RG-II, bütün yüksek bitkilerin hücre çeperlerinde bulunan, bitki büyümesinde rolü olan doğadaki en kompleks karbohidratlardan birisidir. RG-II kompleks molekülünün yapısında meydana gelebilecek ufak değişiklikler bile çok önemli büyüme problemlerine yol açmaktadır. Molekül 50-60 enzim, 12 farklı şeker ve 22 değişik bağdan oluşmaktadır. B hücre çeperinde iki RG-II molekülü arasında köprü görevi görerek, tüm hücre çeperi komponentlerini de bir arada tutacak şekilde karbohidrat ile bir ağ oluşturmaktadır (O'Neill et al., 2004). Bor'un *Chenopodium album* L.'un yetiştirme ortamında yeterince olmadığı durumda borat ester RG-II bağının oluşmadığı, meydana gelen düzensizliğin ortamdaki B konsantrasyonunun artırılmasıyla giderildiği bildirilmiştir (Fleisher et al., 1998)

Borik asit cis hidroksil gruplarıyla bileşikler oluşturabilmektedir. Oluşan yeni bileşikler şeker ve şeker türevleri (şeker alkoller, uranik asit vb.) ile bazı difenolikler halinde (kafeik asit, hidroksiferulik asit vb.) kararlı bileşiklerdir (Çakmak and Römhald, 1997).

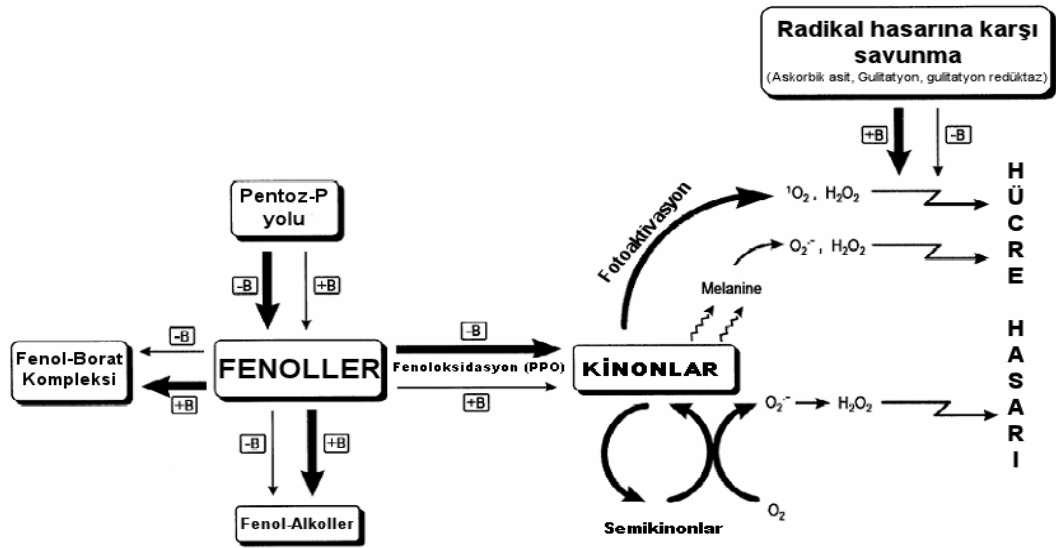
Olumsuz çevre ve fizyolojik koşullarda bitkilerde en fazla zarara fenoller neden olmaktadır (Brown et al., 2002). B, cis-diol kompleksleriyle birlikte ve bazı şekerlerle, fenol mekanizmasında etkin role sahiptir (Çakmak and Römhald, 1997).

B ortamda yeterli miktarda bulunduğunda, 6-fosfoglukonik asit ile kompleks yaparak 6-fosfoglukonat dehidrojenaz enzimini inhibe eder, böylelikle fenol birikimi olmaz bu durumda substrat akışı pentoz fosfat (PPP) yoluna değil glikoliz yoluna dönmektedir (Çakmak and Römhald, 1997). B eksikliğinde substrat akışı glikoliz yönünden fenol sentezinin yapılacağı pentoz fosfat yönüne (PPP) dönmektedir (Çakmak and Römhald, 1997). Fenolik maddeler pentoz fosfat yolunu takiben şikimik asit yolu üzerinden sentezlenirler. Fenolik maddelerin birikmesi bor'un fenol metabolizması üzerindeki en önemli etkisidir (Ortaca, 2005).



Şekil 2.1 Bor'un fenol metabolizması üzerine etkileri: 1. Glukoz 6-P dehidrojenaz, 2. 6-fosfoglukonat dehidrojenaz, 3. Fenil alanin amonia liyaz (PAL), 4. Polifenol oksidaz (PPO) (Ortaca, 2005'ten alınmıştır).

Fenollerin çoğu kök ve gövde için toksik etkiye sahiptirler. Çeşitli çevresel stres faktörlerine cevap olarak aktive edilen fenil alanin liyaz (PAL) enzimi fenollerin birikmesine neden olmaktadır. B eksikliğinde; ışık yoğunluğu ile birlikte fenol türevleri ve fenil alanin liyaz (PAL) enzimi de artmaktadır. Ortamdaki fenolleri oksitleyen poli fenol oksidaz (POD) enzimi, fenolleri kinonlara dönüştürmektedir (Çakmak and Römheld, 1997). Bor eksikliğinde hücrede meydana gelen zararın ana sebebi olan kinonlar, O_2 'le reaksiyona girerek toksik süper oksit radikallerini oluştururlar (Camacho-Cristobal et al., 2002). B eksikliğinde oluşan fenoller ve onlardan kinon oluşuma sebep olan poli fenol oksidaz (POD) enzimi çift çenekli bitkilerde, tek çenekli bitkilere oranla daha fazla meydana gelir (Çakmak and Römheld, 1997). Kabak köklerinde B eksikliğinden oluşan gelişim bozukluğu askorbik asit ilavesi ile giderilebilmektedir (Lukaszewski et al., 1996). Askorbik asit, poli fenol oksidaz (POD) inhibitörüdür dolayısıyla fenolden kinon oluşumunu baskılar (Çakmak and Römheld, 1997).



Şekil 2.2 B eksikliğinde fenollerden kinonlara geçiş ve toksik O_2^- 'in meydana gelmesi (Çakmak and Römheld, 1997'den alınmıştır).

Azot fiksasyonunda B elementi, cyanobakterilerden *Anabaena* PPC 7119 tarafından heterosistleri sayesinde havadaki serbest N_2 , nitrogenaz enzimi ile indirgenme olayında aktif role sahiptir (Çakmak and Römheld, 1997). Heterosistler, vejetatif hücrelerden farklı morfolojik ve işleve sahip, azot fikse edebilen özel hücrelerdir. Heterosistler, vejetatif hücrelerde olmayan, zarın iç tabakası özel glikolipidlerle kaplı, oksijen difüzyonunu engelleyici kalın bir hücre zarına sahiplerdir. Azot fiksasyonunun nitrogenaz enziminin aktivitesi ile devam edebilmesi için oksijen miktarının düşük tutulması gereklidir. B, O_2 difüzyonunu azaltır ve glikolipid tabakasının kararlılığını sağlar (Blevins and Lukaszewski, 1998). Bezelye bitkisinde (*Pisum sativum*) azot fiksasyonu dolayısıyla nitrogenaz enziminin oluşumu B toksisite ve eksikliğine duyarlıdır (Carpena et al., 2000).

Bor, baklagillerde kök nodül oluşumu için temel elementtir. Optimal koşullarda yetiştirilen bezelye bitkilerinin (*Pisum sativum*) nodüllerinin hücre çeperlerinde bor'un yer aldığı ve nodüllerdeki B konsantrasyonunun köklerden çok daha fazla olduğu bulunmuştur (Carpena et al., 2000). Nodül oluşumunda, bitkiler kökleri tarafından

salgılanan kimyasal maddeler yardımıyla *Rhizobium* cinsi bakterileri kendilerine çekerler (Bharti et al., 2002). Nodül apikal hücre çeperinden sitoplazmaya doğru büyür ve peribakterioid adını alır. Peribakterioid simbiyont olarak N₂ transferini sağlar (Çakmak and Römheld, 1997). Bor'un ortamda yeterli olmadığı durumlarda; bezelye bitkisinde (*Pisum sativum*) bakteriler tarafından enfekte edilen konukçu hücrelerin sayısı azalmakta ve nodül gelişimi engellenmektedir (El-Hamdaoui et al., 2003). Tarla denemelerinde aşılanan *Rhizobium* DG-48 ve *Rhizobium* JTG-1'nin nohutta (*Cicer arietinum*) ürün kalitesi ve miktarına etkinliği belirlenmiştir. B konsantrasyonu arttığında N₂ fiksasyonu azalmaktadır. Azalan B konsantrasyonunda ise N₂ fiksasyonunu artmaktadır (Bharti et al., 2002).

Ortamda bulunan B azaldığında Askorbik asit miktarında da azalma gözlenmekte ve buna bağlı olarak da bitkilerde azot fiksasyonu ve nodül oluşumu da azalmaktadır (Çakmak and Römheld, 1997).

B konsantrasyonu eksikliğinde, ayçiçeği yapraklarında fotosentetik O₂ miktarında ve CO₂ konsantrasyonunda düşüşler meydana gelmiştir (Kastori et al., 1995). Ayçiçeğinde B eksikliğinde artırılan ışık yoğunluğuna bağlı olarak yapraklar hızla kahverengine dönüşüm, yaprak yüzeyinde ve klorofil miktarında azalma tespit edilmiş, kök uçlarında ise nekrosiz görülmüştür (Çakmak et al., 1995). Ispanak yapraklarında yapılan bir çalışmada ise yetersiz B konsantrasyonunda sadece fotosentetik O₂ miktarının azalmayıp fotosistem II'den, fotosistem I'e enerji transferinin de azaldığı belirtilmiştir (Çakmak and Römheld, 1997). Bunun nedeni; tilakoid membranında lipid oksidasyonunun azalması sonucunda fotosistem II'de elektron taşınımının azalması ve fotosistem II'de 655 nm'de klorofil moleküllerinin floresans etkisinin engellenmesi olarak belirtilmektedir (El-Shintinawy, 1999).

Dittrichia viscosa (*Asteraceae*) bitkisinde B eksikliği gelişimi durdururken, fotosentez ile ilgili parametrelere yani stomal iletkenlik, klorofil konsantrasyonu, fotosentetik kapasite ve fotosistem II'ye etkili fotokimyasallara etkin olmamıştır. Kök üzerinde etkinliği belirtilmesine rağmen gövde ve yapraklarda kaydedilir bir etki

gözlenememiştir. Bu sonucun bitkinin anatomik yapısı, salgı hücrelerinin farklılığı ve çevresel etmenlerden kaynaklanabileceği belirtilmiştir (Stavrianakou et al., 2006).

Kivi bitkisi üzerinde yapılan bir çalışmada B konsantrasyonunun 20 μM 'dan 50 μM 'a çıkarılması ile fotosentetik oran ve interselüler CO_2 konsantrasyonu maksimum seviyeye çıkmıştır. B konsantrasyonları 100 μM , 200 μM , 500 μM 'a çıkarılan deneme gruplarında ise fotosentez oranında ve interselüler CO_2 konsantrasyon miktarında değişiklik olmamıştır. Çalışmada denenen farklı B konsantrasyonlarının stomal iletkenlik üzerinde önemli bir etkisi gözlenememiştir (Sotiropoulos et al., 2002).

Toksik seviyede *Citrus*'lar üzerinde yapılan bir çalışmada; 80. ve 120. günlerde herhangi değişiklik gözlenmez iken 204. günde hasat edildiklerinde yapraklardaki klorofil miktarı, stomatal iletkenlik ve fotosentez oranının azaldığı, interselüler CO_2 konsantrasyonunun ise etkilenmediği belirtilmiştir. Yapraklarda laminada sünger parankimasının kalınlığı ve kloroplastların büyüklüğü azalırken yapısında bir değişiklik olmamıştır (Papadakis et al., 2004 b.).

Bor, karbonhidrat metabolizmasında yaptığı bileşikler sayesinde hem eksikliğinde ve hemde toksikliğinde karbonhidrat miktarında artışa neden olmaktadır. Bor eksikliği ayçiçeği bitkisinde yapraklarda glukoz, fruktoz ve sukroz miktarını artırmaktadır (El-Shintinawy, 1999).

Bor konsantrasyonunun artırılmasına paralel olarak fıstık bitkisinde yapraklardaki toplam çözünür şeker miktarı (glukoz, fruktoz, sukroz) artarken köklerdeki glukoz miktarının düştüğü ama fruktoz ve sukroz miktarının önemli derecede değişmediği bulunmuştur. Bununla beraber yapraklardaki nişasta miktarında önemli bir değişim görülmediği halde köklerde nişasta miktarının arttığı bildirilmiştir. Sonuç olarak B toksikliğinin yaprak ve köklerdeki karbonhidrat dengesini bu organlardaki toplam karbonhidrat miktarını etkilemeden değiştirdiği bulunmuştur (Ortaca, 2005).

Bor eksikliğinin alkali topraklarda çok görülmesinin nedeni Ca^{+2} ve Mg^{+2} elementlerinin B zerindeki etkisidir (Adriano, 1986). Ca^{+2} ve B, her ikisi de bitkilerde en çok buldukları yer olan hücre çeperinde birbirlerini etkilemektedirler. Her ikisi de RG-II'ye bağlanarak farklı kompleksler oluştururlar. Ca^{+2} ve B aynı RG-II'ye farklı bölgelerde olmak koşulu ile bağlanabilmektedir (Brown et al., 2002). Kivi bitkisinde (*Actinidia deliciosa* L.) yapılan bir çalışmada bor'un en fazla yapraklarda biriktiği gözlenmiştir. Bor'un en az biriktiği yer ise Ca'un en fazla bulunduğu yaprak sapıdır. Ca miktarındaki artış bitkinin B alınımlarını engellemektedir. Ca ve B yüksek miktarlarda bulunduğunda yapraklardaki P, Mg ve Zn miktarı azalmaktadır (Sotiropoulos et al., 1999). Ca fazlalığı bor'un alınımlarını engellemekte ayrıca polen tüpünün gelişimini de sınırlandırmaktadır (Dell and Huang, 1997).

Bazı tarım alanlarında uygulanan kireçleme yöntemiyle yükselen pH'ya bağlı olarak $CaCO_3$ içersindeki kalsiyumun köklerden alınan B miktarını neredeyse yarıya indirdiği belirlenmiştir (Adriano, 1986).

Killi topraklarda Fe ve Al bulunduğunda B alınımlarını azalmaktadır (Adriano, 1986).

Bor eksikliğinde bakla (*Vicia faba*) kök uçlarında Rb^+ alınımlarını durmaktadır (akmak and Rmhheld, 1997).

Gentiana bitkisinin (*Gentiana manshurica* Kitag.) tarla denemelerinde alkali ortamda B, Fe ve Zn elementleri arasında yapılan karşılaştırmada bor'un alınımlarının arttığı tespit edilmiştir (Yu et al., 2006).

Domates (*Lycopersicon esculentum* L. cv. 'Lale') bitkisine uygulanan 10 ve 20 $mg\ kg^{-1}$ bor düzeylerinde toksisite semptomları ortaya çıkmıştır. Bu durum bitkinin yaş ve kuru ağırlığını belirgin bir şekilde azaltmıştır. Bununla birlikte, bor'un gelişme üzerindeki bu inhibe etkisi Zn uygulamasıyla kısmen giderilmiştir (Güneş et al., 2000 b.).

Turunçgiller üzerinde yapılan bir araştırmada bitkilerin yapraklarına bor püskürtülmesiyle N, Cu ve Zn konsantrasyonlarının değişmediği; P, Ca, Mg ve Mn konsantrasyonlarının azaldığı; K ve B konsantrasyonlarının ise arttığını tespit edilmiştir (Ermiş, 2002).

$Al(OH)_3$ ve $B(OH)_3$ yapısal olarak benzer elementlerdir. Bor'un eksikliğinde ortamda var olan alüminyum bitkide toksit etki göstermektedir (Blevins and Lukaszewski, 1998).

Bor eksikliği belirtilerinin görüldüğü yerler ve büyüme evreleri temel alınarak bitkiler çift çenekli bitkiler ve tek çenekli bitkiler olmak üzere iki grupta toplanmıştır. Çift çenekli bitkilerde; B eksikliği ayçiçeği, domates, bal kabağı ve yoncalarda kök büyümesinin durmasına ve meristematik bölgelerde dejenerasyonlara neden olurken bezelye, soya fasulyesi ve acı baklada büyüme noktalarında dejenerasyonların meydana gelmesine neden olmuştur. Tek çenekli bitkilerde ise; mısır, sorgum, soğan ve darının yetişme ortamlarında bor'un bulunmadığı koşullarda çift çenekli bitkilere göre normal kök büyümesini ve vejetatif büyümeyi daha uzun bir süre devam ettirebilmektedirler. Arpa, yulaf, çavdar ve buğdayın da bulunduğu *Poaceae* grubunda ise; sadece generatif organların gelişiminde B eksikliği belirtileri görülmektedir (Blevins and Lukaszewski, 1998).

Bitkilerin generatif gelişiminde B eksikliği hassasiyeti; özellikle çiçeklenme, meyva, tohum oluşumunda ve tohum miktarında etkisi görülmekte olup bu etki vejetatif gelişimden daha fazladır (Dell and Huang, 1997). *Poaceae*'lerin hücre çeperlerinde pektin içerikleri az olduğu için normal vejetatif gelişimlerinde bor'a ihtiyaçları da azdır. Ancak generatif gelişimde B ihtiyaçları diğer bitkiler kadardır (Blevins and Lukaszewski, 1998). Bor'un bazı bitkilerde taşınım zorluğundan kaynaklanan durumlarda reproduktif gelişim için kritik seviyede de olsa B alınması gereklidir (Brown et al., 2002). Reproduktif gelişimde B anter gelişimini etkiler. Anterde polen miktarını arttırır. Polen tüpünün gelişimi, polenlerin çimlenebilmesi için B gerekli elementtir (Dell and Huang, 1997). Birçok bitkide stilus, stigma ve ovaryumda B konsantrasyonu yüksek olmasına karşın polen tanelerinde daha azdır (Blevins and

Lukaszewski, 1998). Çiçeklenmede B eksikliğinin sonucu olarak; arpa, buğday ve pirinçte erkek organ sterilitesi, mısır ve avakado da ise dişi organ sterilitesi gözlenmiştir. Bor eksikliği görülen bitkilerde polen tüpünün büyümesinin yeterli olmayışı nedeniyle; yer fıstığında yumurta hücresi embriyo halini alamadan gelişim durmuş; avakadoda meyvalar olgunlaşmamış; mango bitkisinde ise şekilleri bozuk meyvalar, meyvaların üzerinde yarıklar ve olgunlaşmadan meyvaların düştüğü gözlenmiştir (Dell and Huang, 1997). B eksikliğinde buğdayda da özellikle erkek organların oluşumlarının etkilendiği, sonuçta üründe dane veriminin azaldığı belirtilmiştir (Rerkarsem and Jamjod, 2004).

Bor'un eksikliği bitkilerde vejetatif gelişimde öncelikle kökte kendini göstermektedir. Kökte kısılma, kahverengileşme, fazla sayıda kısa kahverengi yan köklerin oluşumları gerçekleşir. Bunların nedeni ise hücre çeperinde bulunan bor'un eksikliğine bağlı olarak hücre bölünmesi ve hücrenin uzamasının engellenmesidir (Dell and Huang, 1997).

Bor eksikliğine bağlı olarak gerek taşınımı, gerekse hücrede yaptığı bileşikler nedeniyle bitkinin gövde ucunda gelişimin durmasına neden olmaktadır (Dell and Huang, 1997). Büyümesi duran gövde ucunda nekrozis oluşumu başlar. Gövde kalınlaşır, bazı bitkilerde gövdede hücre parçalanmaları ve yarılmalar gözlenir. Pancar, şalgam ve hardalın dokularında bozulmalara ve koyu renklenmelere neden olmaktadır (Adriano, 1986).

B eksikliği düşük sıcaklıkta ayçiçeği bitkisinde etkisini arttırmakta olup kök ve gövdede gelişimin durmasına neden olmaktadır. Aynı koşullar düşük sıcaklık toleransına sahip *Brassica napus* L. bitkisini etkilememektedir (Ye et al., 2003).

Bor eksikliğinde bitkide kök/gövde oranı bozulmaktadır. Gövde gelişiminin azalmasıyla, kök gelişimi ve ağırlığı gövdeye oranla oldukça fazlalaşır. B eksikliğinin en büyük etkilerinden biri de yapraklardaki nitrat miktarının çok fazla azalmasıdır (Camacho and Gonzalez, 1999).

Vejetatif büyümede B eksikliğinin gözle görülebilen semptomları öncelikle genç yapraklarda ortaya çıkmaktadır. Bu yapraklar genellikle küçük, klorotik lekeler içermekte, şekilleri bozuk yaprak ayaları meydana gelmektedir. Petioller kırılındır, bazen çatlayabilir ve bunun sonucunda da genç yapraklar düşerler, ölürlür. Bazı bitkilerde B eksikliğinde yaprak kıvrılmaları görülmektedir. Ayrıca B eksikliği olan bitkilerde yaprakların ince ve koyu yeşil olduğu, yaprak sayısında artış görüldüğü ve yeni çıkan yaprakların da kırılığın oldukları bildirilmiştir (Ortaca, 2005).

Buğdaylar üzerinde yapılan bir çalışmada B eksikliğinin, genetik olarak bor'a dayanıklı buğday türleriyle azaltılabileceği bildirilmiştir (Rerkarsem and Jamjod, 2004).

Buğdaylar üzerinde yapılan diğer bir çalışmada ise B eksikliğinin erkek organ sterilitesine ve solunuma etkisi belirlenmiştir. Buğdaylar genotipik bakımından: çok duyarlı, duyarlı, orta duyarlı, orta toleranslı ve toleranslı olarak 5 grupta sınıflandırılmıştır (Rerkarsem and Jamjod, 1997).

Orta Güney Anadolu tarım bölgesinde yaygın olarak yetiştirilen makarnalık (*Triticum durum* Desf., Kızıltan-91, Kunderu-1149, Selçuklu-97) ve ekmeklik (*Triticum aestivum* L., Bezostaja-1, Gerek-79, Gün-91) buğday çeşitlerinde farklı B uygulamalarının çimlenme üzerine etkileri in vitro ve saksı denemeleri ile incelenmiştir. 29.16 ppm altında bitkilerde B eksikliğinin başlayacağı bildirilmiştir (Yorgancılar ve Babaoğlu, 2005).

Çevresel etkilerle birlikte mevsimlere bağlı olarak topraktaki B miktarı da değişmektedir. Aşırı yağışın olduğu dönemlerde toprakta bor miktarındaki azalmanın neden olduğu B eksikliği *Picea mariana* Mill.'da incelenmiştir (White and Krause, 2001).

Bor eksikliği uygulanan tütünde kontrol grubuna göre yapraklarda toplam fenol bileşiklerinin miktarı ile karbonhidrat miktarı artmıştır (Camacho-Cristobal et al., 2004). BY-2 kültür tütününde B elementine duyarlı olan bir gen belirlenmiştir (Koboyashi et al., 2004).

Okaliptus bitkisinde, bazı orman ağaçlarında ve *Pinus radiata*' ta B eksikliğinin meydana getirdiği semptomların ortama B ilavesi ile giderilebileceği bildirilmiştir (Schlatter and Gerding, 1985; Stone, 1994; Dell and Malajczuk, 1994).

Bor toksisitesi, eksikliği kadar yaygın olmasa da dünyanın kurak ve yarıkurak bölgelerinde büyük bir sorun oluşturmaktadır. Tuzluluk ve bor'un nohut bitkisinin çimlenme, büyüme ve mineral bileşimi üzerine etkileri araştırılmış, bor'ca zengin tuzlu toprakların çimlenme ve büyüme üzerine etkilerinin, bor'ca fakir ve tuzlu topraklardan daha zararlı olduğu belirlenmiştir (Yadav et al., 1989).

Tuzla birlikte B toksisitesinin yarattığı stres, buğday da; bazal yapraklarda hücre içi ve dışı çözünür B konsantrasyonunun ciddi şekilde artmasıyla kendini gösterir. Bunun nedeni tuzun suyun yapısını değiştirmesiyle ilişkilendirilmektedir. Hücre içi ve dışı protein yapısı kalitatif ve kantitatif olarak değişir, bu değişim hücre çeperinin yapısını da değiştirebilmektedir. Hücrede çözülmüş B konsantrasyonunun B toksisitesi için indikatör olabileceği önerilmiştir (Wimmer et al., 2003).

B toksisitesine halofit bitkiler, glikofit bitkilerden daha toleranslıdır. Halofitik bitkiler çeşitli savunma mekanizmaları sayesinde yüksek B konsantrasyonunu tolere edebilmektedirler. Halofitik *Atriplex litoralis*, *Matricaria maritima* ve *Elymus* sp.'nin yapraklarında yüksek konsantrasyonda B bulunmasına rağmen büyümelerinde herhangi bir azalma görülmez. Bunun nedeni sahip oldukları tuz salgı bezleri sayesinde yüksek B konsantrasyonunu uzaklaştırabilmeleridir. Halofitik *Spartina anglica* (*Poaceae*) B toksisitesine maruz bırakıldığında gövdedeki toplam B'un yaklaşık % 20-28'ini salgı yoluyla bitkiden atabilmektedir. Halofitik *Plantago maritima* bor'un etkili olarak bağlanabildiği sorbitol üretir ve bu sayede B toksisitesini tolere etmektedir. Bor'un şekerle kompleks yapması, B toksisitesine dayanıklılık için toksisiteyi azaltma mekanizması olarak düşünülmektedir (Rozema et al., 1992).

Ülkemizde Eskişehir ilinin Kırka ilçesi en zengin B maden yataklarına sahiptir. Bölgede yaygın olarak tarımı yapılan buğday (*Triticum sativum* L.), şeker pancarı (*Beta vulgaris* L. *provar. altissima* (Doll) Helm) ve yonca (*Medicago sativa* L.) bitkileri

incelenmiş, ayrıca tarımsal amaçlı topraklarda bitkiye yarayışlı bor miktarları saptanmaya çalışılmıştır. Bölgenin maden işletmesi dinlenme havuzu sularının da karıştığı tarım sulama kanallarındaki su ile sulanan tarım alanlarında verim ve kalitenin düştüğü belirlenmiştir. Kırka'ya yakın ve yine aynı sulama kanallarının ulaştığı Eskişehir Hamidiye ilçesinde bölge bitkileri ile yapılan bir çalışmada da yaygın tarımı yapılan buğday ve arpanın B fazlalığından etkilendiği belirlenmiştir (Ataşlar ve ark. 1995, Çiçek ve Gence 2001).

Kırka'da yayılış gösteren 38 familyaya ait toplam 84 bitki; Kırka Maden işletmesi merkez alınarak üç halkada belirlenmiştir. Merkez halka yani çok yüksek B konsantrasyona sahip (35 mg/kg) maden çevresinde sadece *Gypsophila perfoliata* L. var. *perfoliata* (*Caryophyllaceae*) ve *Catapodium rigidum* (L.) C.E. Hubbard ex Dony subs. *rigidum* var. *rigidum* (*Poaceae*) bitkilerinin yayılış gösterdiği, ikinci halkada (10 mg/kg) ilk halkadaki iki bitkiye 26 bitkinin daha eklenmiş olduğu ve son halkada ise bor'un en az (0,1-2 mg/kg) olduğu halka, 56 bitkinin yer aldığı tespit edilmiştir (Türe and Bell, 2004).

Gypsophila sphaerocephala Fenzl ex Tchihat. var. *sphaerocephala* (*Caryophyllaceae*) B için hiperakümülatör bitkidir. Bitki toprak üstü kısmında oldukça yüksek konsantrasyonda B biriktirme yeteneğine sahiptir. Bitkinin yaprağında $3345 \pm 341 \text{ mg kg}^{-1}$, tohumunda $2093 \pm 199 \text{ mg kg}^{-1}$ ve köklerinde ise B konsantrasyonu $51 \pm 11 \text{ mg kg}^{-1}$ kuru ağırlık olarak belirlenmiştir (Babaoğlu et al., 2004).

Bitkilerin sulama suları da bor içeriğine göre 3 sınıfa ayrılmaktadır:

1. Duyarlı bitkiler için 0,35-1,25 mg/ml,
2. Yarı duyarlı bitkiler için, 0,7-2,5 mg/l,
3. Dayanıklı bitkiler için 1,0-3,75 mg/ml bor içeren sular (E.T.K.B., 1983; Uygan ve Çetin, 2004).

Aydın Germencik ovası, Simav Çayı, Kırka yöresi ve Eskişehir Seydisuyu bölgelerinde yapılan çalışmalarda sulama suyu ve B kirliliğinin yarattığı etkiler

belirlenmiştir. Çalışma bölgeleri yurdumuzda B kaynaklarının en yoğun olduğu alanlardır. Çalışmalarda B maden kaynaklarının bulunduğu bölgelerde yapılan tarımda ürün kaybının yanı sıra biriken bor'un da optimum değerleri aştığı ve toksisitenin diğer canlıları da etkileyebileceği bildirilmiştir (E.T.K.B., 1983; Yaşaroğlu, 1991; Delibacak, 1996; Uygan ve Çetin, 2004).

FAO 1976 yılında, bitkiler ve toprak için 1 ppm üzerinde bor içeren sulama suyunun uygun olmadığını bildirmiştir (Uygan ve Çetin, 2004).

İnsanlar günlük besinlerle 20-30 mg bor'u vücutlarına alabilmektedirler. FAO 1985'e göre içme suyunda sınır değeri 5 mg/l. olarak önerilmiştir. 1997'de yayınlanan Resmi Gazete'ye göre ise ülkemizde içme suyu B sınır değeri 3mg/l. olarak belirlenmiştir (Uygan ve Çetin, 2004).

B bitkilerde; hücre çeperlerinin yapısını oluşturan pektin ve lignin bileşiklerinin sentezlenmesi; pektin ve lignin bileşikleri ile kompleksler oluşturarak ince, dayanıklı veya kuvvetli bir hücre çeperinin oluşumunu sağlaması; şekerlerin sentezi ve taşınması; hücre uzaması; hücre bölünmesi ve nükleik asit (RNA ve DNA) metabolizması; biyomembranların yapısal ve fonksiyonel özelliklerini kazanması ve korunması; fenol metabolizması; solunum; hormon metabolizması; karbonhidrat ve protein metabolizması gibi geniş bir yelpazede büyüme ve gelişmeyi düzenleyen olaylar içinde yer almaktadır.

2.3. ARAŞTIRMA BİTKİLERİNİN BAZI TAKSONOMİK ÖZELLİKLERİ

2.3.1. *Cicer arietinum* L.

Ülkemizde yetiştirilen önemli tarım ürünleri sıralamasında buğdaygillerden sonra baklagiller yer almaktadır. Nohut baklagiller içinde kültürü yapılan en önemli tarım ürünlerimizdendir.

Nohut bitkisi, *Fabaceae* (*Leguminosae*) familyasından *Cicer* L. genusuna dahildir. Tür ismi “*arietinum*” ilk defa Colummella (60) tarafından kullanılmıştır (Maesen van der, 1972).

2.3.1.1. Morfolojik özellikleri:

Tek yıllık olup 20-61 cm boyundadır. Ana kök (primer kök) iyi gelişmiştir (1-2 m). Bitkinin genel görünüşü dik, bazı formlarda ise dallanma yayvanca (assendik). Başlıca ana dal sayısı 2-10 adet olup az çok dipten dallanmıştır. Sekonder dallanma ise değişik yerlerde. Bitkinin genel rengi gri-yeşil'dir.

Gövdenin kaidesel dalları tepede kemer şeklinde (tepede 90⁰ dönerek yere paralel uzanır).

Yapraklar, (10) (11) 12-14 (15) (16) yaprakçıklı, yaprak sayısı ilk yapraklarda az, tek tüysüdür. Yaprak boyu 3,95-8,25 cm., rachis oluklu. Renk yeşil, bir dereceye kadar zeytin yeşili, koyu yeşil, antosiyanlı, antosiyansız, ekstrem durumlarda mor veya açık sarımsı yeşildir.

Yaprakçıklar karşılıklı veya değil, az çok iç içe girmiş, yarı sapsız. Yaprakçık şekli obovat-oblong'tan eliptik'e kadar değişebilmekte. Uç yaprakçık bazen obtriangular (ters üçgen) veya romboid şeklinde. Yaprakçıklar 8-18 (24,5) mm boyunda ve 4,5-12 (18) mm eninde. Yaprakçığın kaidesi dar ya da genişçe kuneat (balta şeklinde) veya yuvarlak, ucu yuvarlak-akuminat; kenarı kaideye yakın yerlerde düz, uca doğru keskin olarak serrat (testere dişli) – çift serrat (çift testere dişli), uca

yakın yerlerde dentat (sivri dişli); alt yüzleri üst yüzlerinden daha belirgin kaburgalı. Yaprakçıkların üzerinde pubescent tipte salgı ve örtü tüyleri bulunmakta ancak örtü tüyleri salgı tüylerinden daha fazladır. Stipüller değişik şekillerde, birden fazla ana damarlı; genç bitkilerde az çok ovat, gelişmiş bitkilerde ise 1-4 uzun, sivri dişli az çok eğri üçgen şeklinde; 4,5-14 (30) mm boyunda ve 3,5-12 (22) mm eninde. Stipeller (yaprakçık stipülü) yok.

Çiçekler tek tek veya 2 çiçekli koltukaltı rasemos durumunda toplanmıştır. Pedunkul (çiçek durumu sapı) küçük bir pul (perule) ile son bulur. Brakteler 1-3 adet (şayet 3 parçalı ise daha sonra 3 dişli bir pul şeklini alır), en fazla 1,5 mm kadar. Pedisel (çiçek sapı) çiçeklenme zamanı düzgün, meyve taşıdıklarında eğilmiş.

Pedunkul ve pedisel yaprak sapından (petiol) daha uzun. Pedunkul yeşil, pedisel sarımsı yeşil-antosiyon renkli. Çiçekler beyaz, açık-koyu leylak renkli; 8,1-11,7 (12,6) mm boyunda ve 6,7-12,5 (13,2) mm enindedir.

Kaliks çan şeklinde (kampanulat), tabanı dışa doğru şişkince hemen hemen birbirine eşit, orta damarları belirgin 5 lanseolat (mızrak şeklinde) dişli.

Korolla (taç) dik ve genişçe yaygın. Bayrakçık (veksillum) 7-10,6 (11,5) mm boyunda, 6,4-10 (12,1) mm eninde, genişçe obovat olup tırnaklı, ucu mukronat (ortada bir küçük ve sivri dişli), tüysüz veya dış yüzü seyrek olarak örtü tüylü. Kanatçıklar obovat, tabanda kulaklı, tırnaklı, "cepli", cebe ve kenara yakın yerler salgı tüylü, ucu obtus (az yuvarlak). Kayıkçık romboid, tırnaklı, ventral dikişin 1/3'ü ayrılmış, çift kulaklı ve iki cepli.

Bayrakçığın önündeki stamen serbesttir. Dokunulmadığı sürece hiç olmasa stamenlerin birkaçı kalıcı. Filamentler (ipçik) yukarıya dönük, ucu genişçe ve düz. Anterler (başçık) elipsoid şeklinde (elipse benzer) hemen hemen 0,5 mm büyüklüğünde ve basi-dorsifiks (filamente kaideden-yandan bitişiktir) tipte. Disk halka şeklindedir.

Ovaryum ovat, yarı sapsız, 2 (-4) ovüllü (tohum taslağı), stilusun stigmaya yakın yerleri hariç pubescent tipte salgı tüylü, stigma biraz şişkince olup döllendiğinde biraz genişler.

Meyvalar romboid-elipsoid (ovat-oblong) şeklinde, şişkin, düz, az çok kıvrımlı, gagaya doğru hafifçe sivrilmiş, pubescent tipte salgı tüylü, olgunlukta açık- koyu buğday veya kum sarısı renginde olup, 11-26,4 (31) mm uzunluğunda, 5,3-12,9 (13,6) (14,9) mm genişliğinde ve 5-13,8 (14,8) mm kalınlığındadır. Meyva küçük gagalı, 1-2(3) tohumlu ve tabanı kuneat şeklindedir. Meyvalar olgunlukta kendiliğinden açılmaz.

Tohumlar ovat-globular (küremsi) veya köşeli, gagalı; 5,5-12,3 mm uzunluğunda, 3,7-9,9 mm genişliğinde ve 3,9-9,8 mm kalınlığındadır. Tohum kabuğu (testa) beyaz, çoğunlukla kahverenginin değişik tonlarında, siyah, tuğla kırmızısı renginde olup, düz renkli veya siyah beneklidir. Tohum kabuğu düz, siğilli, buruşuk veya çıkıntılı (tuberkület). Kalaza izi belirgin çıkıntılı ve kalp şeklinde. Hilum (funikulus izi) derin, eliptik, kenarları belirgin şekilde renkli. Kotiledonlar soluk sarı renkli. 1000 tohumun ağırlığı 80,7 - 448,4 gramdır (Zhukovsky, 1951; Maesen van der, 1972; Tokur, 1978 a).

2.3.1.2. Türün Dünyadaki Dağılışı

Türün (*C. arietinum* L.) aşağıda isimleri verilen ülkelerde tarımı yapılmaktadır: Avrupa ülkeleri; Bulgaristan, Yunanistan, İtalya, Portekiz, İspanya, Yugoslavya, Fransa, Amerika Ülkeleri; Meksika, Arjantin, Şili, Peru, Afrika Ülkeleri; Cezayir, Etyopya, Fas, Sudan, Tunus, Uganda, Mısır, Libya, Asya Ülkeleri; Burma, Hindistan, İran, Irak, İsrail, Ürdün, Lübnan, Pakistan, Suriye, Afganistan, Rusya ve Türkiye. Bitkinin tarımı deniz seviyesinden 2400 m'ye kadar olan yükseltiler arasında yapılabilmektedir.

Yurdumuz, *C. arietinum* L. formları bakımından Hindistan ve Etyopya'dan sonra en zengin ülkedir. Özellikle yuvarlak, bezelye şeklinde, küçük gagalı ve tohum kabukları düz olan populasyonları; diğer ülkelerde çok seyrek olduğu halde,

yurdumuzda bol olarak bulunmaktadır. Bu ilginç durum Zhukovsky (1951) tarafından da bildirilmiştir.

2.3.2. Araştırma Bitkilerinin Morfolojik Özellikleri:

2.3.2.1. *C. arietinum* L. cv. Gökçe (*C. arietinum* L. cv. *hispanico-flavescens* G. Pop.):

Bitkiler 20-45 cm boyundadır. Taç genişliği 40-73 cm, başlıca ana dal sayısı 4-10. Yaprak boyu 5,25-8,25 cm olup 14(15) yaprakçıklıdır. Stipüller (kulakçık) 9-14 mm boyunda ve 6-12 mm eninde. Pedisel (çiçek sapı) sarımsı yeşil. Yaprakçıklar (pinna) 11,5-17 (14,44) \pm 0,51 mm boyunda ve 8-11 (9,92) \pm 0,19 mm eninde. Çiçekler beyaz, 10,2-11,7 (10,85) \pm 0,16 mm boyunda ve 10-13,2 (11,70) \pm 0,33 mm eninde. Korolla'nın (taç) bayrakçığı (veksillum) 8,1-9,7 (9,13) \pm 0,13 mm boyunda ve 8,3-9,2 (8,89) \pm 0,08 mm eninde. Meyvalar legümen tipinde olup, 15,6 – 26,2 (21,65) \pm 0,31 mm uzunlukta, 8,8-13,6 (11,08) \pm 0,15 mm genişlikte ve 9-13,8 (11,26) \pm 0,14 mm kalınlıkta, 1-2 tohumlu olup yaklaşık olarak meyvaların %17'si çift tohumludur. Tohumlar köşeli, kaidesi iki loplulu, hafif kıvrık gagalı; 8,3-12,3 (10,04) \pm 0,14 mm uzunlukta, 6,4-9,2 (8,2) \pm 0,11 mm genişlikte ve 5,9-8,8 (7,74) \pm 0,11 mm kalınlıkta. Tohum kabuğu beyaz, siğilli, kalaza izi çıkıntılı (gibbos), hilum (funikulus izi) oval, limon sarısı- açık sarı renkli. 1000 tohumun ağırlığı 297,9-434 (271,25) \pm 15,89 gramdır (Tokur, 1978 a.).

Yurdumuzun pek çok yerinde tarımı yapılmaktadır (Zhukovsky, 1951; Maesen van der, 1972; Tokur, 1978 a.).

2.3.2.2. *C. arietinum* L. cv Küsmen 99 (*C. arietinum* L. cv. *hispanico-subflavescens* G. Pop. et A. Pavl):

Bitkiler 26-61 cm boyunda. Taç genişliği 39-65 cm, başlıca ana dal sayısı 4-10. Yaprak boyu 6,1-8,2 cm olup 14-15 (16) yaprakçıklıdır. Stipüller 8-30 mm boyunda ve 9-22 mm eninde. Pedisel sarımsı yeşil. Yaprakçıklar 15-24,5 (17,71) \pm 0,41 mm boyunda ve 12-18 (14,58) \pm 0,27 mm eninde. Çiçekler beyaz, 11,1-12,6 (11,71) \pm 0,18 mm boyunda ve 8,8-12,5 (10,35) \pm 0,36 mm eninde. Korolla'nın bayrakçığı 9,7-11,5

(10,83) \pm 0,16 mm boyunda ve 9,7-12,1 (10,80) \pm 0,24 mm eninde. Meyvaların bazılarında gaga mukronat; pediselin legümen tipi meyva ile birleştiği noktadan, yanlardan, ventral dikiş hattından ve gaganın bulunduğu uç bölgesinden içeriye doğru kıvrık. 17-31 (24,32) \pm 0,38 mm uzunlukta, 10,2-14,9 (12,51) \pm 0,14 mm genişlikte ve 9,7-14,8 (12,94) \pm 0,14 mm kalınlıkta, 1,2 tohumlu olup yaklaşık olarak meyvaların %18'i çift tohumludur. Tohumlar köşeli, kaidesi belirgin olarak iki loplu; yanlardan basılmış ve hilum'un üzerini kısmen örter şekilde aşağı doğru kuvvetlice kıvrık gagalı; 8,8-12,1 (10,95) \pm 0,15 mm uzunlukta, 6,4-9,9 (8,81) \pm 0,16 mm genişlikte ve 6,7-9,8 (8,37) \pm 0,12 mm kalınlıkta. Tohum kabuğu beyaz, kırışık, siğilsiz, damarları belirgin, kalaza izi oldukça çıkıntılı (gibbos), hilum oval, üstten çengel şeklindeki gaga ile kısmen örtülü. 1000 tohumun ağırlığı 386,2-488,4 (440,98) \pm 8,64 gramdır (Tokur, 1978 a).

Yurdumuzun pek çok yerinde tarımı yapılmaktadır (Zhukovsky, 1951; Maesen van der, 1972; Tokur, 1976, 1978 a.).

Nohut danelerinin içerdiği yüksek protein sayesinde önemli bir besin kaynağıdır. Dünya protein ihtiyacının % 70'i bitkilerden sağlanmaktadır. Tahıllar düşük protein içeriklerine rağmen dünya protein ihtiyacının % 66'sını, baklagiller% 18,5'ini ve diğer bitkiler ise % 15,5'ini sağlamaktadırlar. Nohut tek yönlü tahıl beslenmesinin yerine baklagillerce iki kat daha zengin proteinli beslenme dietlerinde yerini almaktadır. Türkiye'de üretilen nohut; sofralık, leblebi ve tazesini çerez olarak tüketilmektedir. Gıda olarak sahip olduğu değer yanında sap ve yapraklarının hayvan beslenmesindeki önemi de büyüktür. Nohut sap ve yapraklarının 1 tonunun biyolojik değeri 8 ton tahıl sapına eşittir (Tokur, 1979 a., b., 1980; Anonymous, 2002; Aydın, 2002; Bayrak ve ark., 2005; Kılıç, 2005; Sepetoğlu, 2006).

Nohut gerek kuru, gerekse taze olarak tüketilmektedir. Nohut tanelerinde % 8-13 oranında su, % 21,0-23,9 protein, % 5,7 yağ, % 50,0 karbonhidrat, % 15 selüloz ve % 2,1-11,4 oranında da kül içermektedir (Azkan, 1999).

3. MATERYAL VE METOD

3.1. MATERYAL

Bu çalışmada araştırma bitkisi olarak seçilen Nohut (*Cicer arietinum* L.) bitkilerinin tohumları Tarım Bakanlığına bağlı Anadolu Tarımsal Araştırma Enstitüsünden (Eskişehir) temin edilmişlerdir:

- 1) *Cicer arietinum* L. Gökçe (Genotip; kuraklığa dayanıklı),
- 2) *Cicer arietinum* L. Küsmen 99 (Genotip; kuraklığa duyarlı).

3.1.1. *Cicer arietinum* L. GÖKÇE

Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü (Ankara) tarafından geliştirilerek 1997 yılında tescil edilmiştir. Dik gelişme formunda olan çeşidin hasat sırasındaki bitki boyu 30-35 cm'dir. Kurağa ve yatmaya tam, antraknoz (*Ascochyta rabiei* Pass.) hastalığına orta derecede dayanıklıdır. Taneleri krem renkli ve koçbaşı tane tipinde (*arieticeps*) olup, 100 tane ağırlığı 44.0-46.0 gramdır. Ekimden sonra ortalama 105-110 gün içerisinde hasat olgunluğuna gelen çeşidden uygun yetiştirme teknikleri uygulandığında ve normal iklim şartlarında ortalama 150-200 kg/da verim elde edilmektedir. Orta Anadolu ve Geçit Bölgelerinin nohut yetiştirilen alanlarına tavsiye edilmektedir (Tokur, 1979 a.,1980; Anonim, 2000).

3.1.2. *Cicer arietinum* L. KÜSMEN 99

Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü (Ankara) tarafından geliştirilerek 1999 yılında tescil edilmiştir. Yarı dik gelişme formunda olan çeşidin hasat sırasındaki bitki boyu 54 cm'dir. Kurağa ve yatmaya orta hassas, antraknoz (*A. rabie*) hastalığına orta derecede dayanıklıdır. Taneleri koçbaşı krem renkli tane tipinde (*arieticeps*) olup, 100 tane ağırlığı 49.0-53.0 gramdır. Ekimden sonra ortalama 105-110 gün içerisinde hasat olgunluğuna gelen çeşitten uygun yetiştirme teknikleri uygulandığında ve normal iklim şartlarında ortalama 148 kg/da verim elde edilmektedir. Orta Anadolu ve Geçit

Bölgelerinin nohut yetiştirilen alanlarına tavsiye edilmektedir (Tokur 1979 a., 1980; Anonim, 2000).

3.2. METODLAR

3.2.1. Deneme serilerinin hazırlanması:

Araştırma bitkileri iklim odasında kontrollü koşullarda yetiştirilmişlerdir. Gerekli ısı, nem, ışık ve ayrıca sterilizasyon kontrolleri yapılmıştır.

İklim odasında; araştırma bitkilerinin tohum çimlenmesi ve çimlenme sonrası genç fidelikleri, büyüme ve gelişme süresince % 45-55 nem, 16 saat aydınlık ve 8 saat karanlık fotoperiyod, 21 ± 1 °C sıcaklık ile 10000 Lüks/Gün ışık intensitesi olacak şekilde yetiştirilmişlerdir.

3.2.2. Tohum ekimi:

Tohumların ekimi için önce 7 no'lu saksılar (çap 200 mm. X boy 180 mm.) alınmış, yıkanmış ve strelize edilmişlerdir. Tohumlar %5'lik sodyum hipoklorid ile 10'ar dakika muamele edildikten sonra de-iyonize su (dİ -H₂O) ile 3 kez yıkanarak sterilize edilmişlerdir. Daha sonra bu çalışma için her iki gruba (*Cicer arietinum* L Gökçe, *Cicer arietinum* L Küsmen 99) ayrı ayrı 150'şer saksı kullanılmıştır. Saksılar saf su ile yıkandıktan sonra içlerine süper iri perlit (0,0-5 mm.) konulmuş ve her saksıya her uygulama için 4 tohum ekilmiştir. Tohumlar ilk çimlenme başlangıcından itibaren Half Hoagland çözeltisi ile iki günde bir ve eşit miktarda 100 cc. çözelti ile sulanmışlardır. Tohumların hemen hemen hepsi üç hafta sonunda (20-21 gün) çimlenerek ilk üç yapraklı hale gelmişlerdir.

Bitkilerin bu ilk üç yapraklı evresi denemenin ilk başlangıç günü, 0. gün, diğer deyişle ilk kronik doz 100 ppm. ve akut doz 400 ppm. bor içeren Half Hoagland çözeltisi ile sulamasının yapıldığı gün olarak belirlenmiştir.

Denemenin başlangıç gününde her iki grup için 0. gün hasatı yapılmıştır. 0. gün hasatından sonra planlanan 7. gün hasatı için her iki grupta yetiştirilen diğer genç fideler; kontrol, 100 ppm. ve 400 ppm.'lik serilerde kullanılmak üzere eşit olarak 3'e ayrılmışlardır.

Tüm serilerde sulama iki günde bir ve eşit miktarda Half Hoagland besin çözeltisi ile yapılmıştır. Kontrol grubu sadece Half Hoagland besin çözeltisi ile diğer seriler ise 100 ve 400 ppm. bor içeren Half Hoagland çözeltisi ile yapılmıştır.

Bitkiler bor uygulamasının 0. ve 7. günlerinde hasat edilmiş ve örnekler enzim analizlerinde kullanılmak üzere -20 °C' de derin dondurucuda saklanmışlardır.

3.2.3. Analiz yöntemleri:

3.2.3.1. Büyüme parametreleri

Kontrol ve bor uygulanmış gruplardan; 0. ve 7. günlerinde bitki örnekleri alınarak gövdeleri ve kökleri birbirinden ayrıldı. Kök ve gövdenin uzunlukları ile yaş ve kuru ağırlıkları tartıldı. Örnekler 70 °C de 72 saat etüvde kurutuldu.

3.2.3.2. Bağlı su içeriği

Bor uygulamasının 0. ve 7. günlerinde her bir gruptaki bitkilerden en genç sürgünlerden sonra gelen lateral yaprakların uç kısımlarından seçilen 6 adet yaprak örneği alınarak yaş ağırlıkları ölçüldü. 6 saat boyunca dI-H₂O içinde petri kaplarında bekletilerek turgor haline gelmeleri sağlandı. 70 °C' de 72 saat etüvde kurutulduktan sonra kuru ağırlıklar saptandı. Her bir gruba ait yaprak örneklerinin bağlı su içeriği aşağıdaki formüle göre % olarak hesaplandı

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

YA=Yaş Ağırlık

KA=Kuru Ağırlık

TA=Turgorlu Ağırlık

3.2.3.3. Klorofil flüoresans ölçümleri

Klorofil flüoresansı ölçümleri her iki grup için bor uygulamasının başlatıldığı 0. gün hasatı ve 7. gün hasatında takip edilmiştir. Ölçümlerden önce yaprakların üst yüzeyleri 30 dk boyunca kapatıldı. Bitki verim analiz cihazı “Plant Efficiency Analyser” (PEA) (Hansatech Instruments Ltd.) fluometresi ile; Değişken olmayan bazal klorofil flüoresansı (Fo), Değişken flüoresans (Fv), Maksimum flüoresans indüksiyonu (Fm), Değişken flüoresans / Maksimum flüoresans indüksiyonu (Fv/Fm) oranları belirlenmiştir. Her iki kültür çeşidinin bor’a gösterdikleri direnç karşılaştırması; özellikle fotosistem-II’nin (PS-II) Fotokimyasal verimi, Maksimum kuantum verimi (Fv/Fm), dikkate alınarak yapılmıştır.

3.2.3.4. Bitkilerde bor analizi (Kurkumin yöntemi)

Araştırma bitkilerinin yaprak, gövde ve köklerinde B analizi Kurkumin yöntemiyle yapılmıştır. Öğütülmüş ve kurutulmuş nohut örneklerinden 0.5 g alınıp porselen kül kabına konulmuştur. 550°C’de fırında beyaz kül elde edinceye kadar yakılmıştır. Kül kabı soğutulduktan sonra üzerine 5 ml 1.0 N hidroklorik asit (HCl) ilave edilmiştir. Kül kabı bir süre su banyosu üzerinde bırakıldıktan sonra porselen yakma kapsüllerinin içindkiler saf su ile kantitatif olarak 50 ml’lik ölçü balonuna süzülmeden akıtılmıştır. Ölçü balonu saf su ile 50 ml’lik derecesine (seviyesine) tamamlanmış ve çalkalanmıştır. Ölçü balonunun tabanında silisyum toplanması için yeteri kadar bekletildikten sonra berrak bitki çözeltilisinden 1 ml alınıp ve porselen kapsüle konulmuştur. Üzerine 4 ml kurkumin-okzalik asit çözeltisi ilave edilerek sıcaklığı 55 ± 3 °C’ye ayarlı su banyosu üzerinde eriyik buharlaşıp kuruyuncaya kadar bırakılmıştır. Porselen kapsül oda sıcaklığına kadar soğutulmuş ve üzerine 10 ml etil alkol ilave edilmiştir. Cam çubukla karıştırılarak çökeltinin iyice erimesi sağlanmıştır. Daha sonra 25 ml’lik ölçülü balonda etil alkol ile derecesine (seviyesine) tamamlanmıştır. 540 nm dalga boyuna ayarlı spektrofotometrede absorbans değeri okunmuş ve hesaplamalar yapılmıştır (Kacar, 1972).

3.2.3.5. Antioksidant enzim aktivitelerinin belirlenmesi:

3.2.3.5.1. Enzim ekstraktlarının hazırlanışı

Antioksidant enzimlerin ekstraksiyonu için derin dondurucuda saklanmış olan yapraklar, soğutulmuş havanda %2 (w/v) polivinilpolipirrolidon (PVPP) ve 1mM EDTA içeren 0,05M sodyum fosfat tamponuyla (pH 6,8) homojenize edilmiştir. Homojenat 4 °C’ de 13.000 devirde 30 dk. santrifüj edilmiş ve oluşan süpernatant enzim aktivitesinin tayininde kullanılmıştır. Enzim ekstratlarının hazırlanmasında tüm işlemler ± 4 °C’ de gerçekleştirilmiştir.

3.2.3.5.2. Süperoksit dismutaz (SOD; süperoksit: süperoksit oksidoreduktaz, EC 1.15.1.1) izozim tayini

Eşit miktarda protein içeren (100 mg/well) yaprak ekstraktları Laemmli’ye göre (1970) native PAGE’le ayrılmıştır. Ekstraktlar +4’de sabit akımla %12’lik ayırıcı jel ve %5’lik yapıştırıcı jel (yapıştırıcı jel için 60mA, ayırıcı jel için 120 mA) ile 2D –Hoeffer elektroforezinde ayrılmıştır. SOD aktivitesi, Beauchamp ve Fridoviche (1971)’e göre riboflavin ve nitrobluetetrazolium ile tanımlanmıştır. SOD izozim bantlarının densiyometik analizi Bio-1D yazılım programında resim düzenleyici’de tayin edilmiştir.

3.2.3.5.3. Askorbat peroksidaz (AP; EC 1.11.1.11) enziminin aktivite tayini

Askorbat peroksidaz analizleri Nakano ve Asada (1981) yöntemine göre yapılmıştır. Askorbat okside oldukça, spektrofotometreden 290 nm’deki absorbansta oluşan azalma okunmuştur ve hesaplamalar askorbatın ekstnsiyon katsayısı kullanılarak (2,8 mM -1cm-1) yapılmıştır. Reaksiyon karışımında 50 mM sodyum fosfat tamponu (pH 7), 0,5mM askorbat, 0,1mM EDTA Na₂ ve 1,2mM H₂O₂ bulunuyordu. Askorbatın oksidasyonu, enzim ekstraktının katılmasıyla başlatılmış ve absorbanstaki azalma 180 sn. boyunca takip edilmiştir. 1 birim Askorbat peroksidaz (AP) aktivitesi dakikada okside olan 1 mmol ml-1 Askorbat olarak ifade edilmiştir.

3.2.3.5.4. Katalaz (CAT; EC 1.11.1.6) enziminin aktivite tayini

Katalaz enzimi aktivitesinin belirlenmesi Bergmeyer (1970) metoduna göre gerçekleştirilmiştir. H_2O_2 in miktarında oluşan azalma; 240 nm'de gösterdiği maksimum absorbanstaki düşüşle belirlenmiştir. 1ml'lik son hacme sahip kuvartz küvetlerdeki reaksiyon karışımı; 0,1 mM EDTA, 50 mM Na-fosfat tamponu (pH:7), dI- H_2O ve % 0,3 H_2O_2 'den oluşmaktadır. Reaksiyon boyunca absorbansta oluşan düşüş 180 sn boyunca takip edilmiştir. Katalaz (CAT) aktivitesi dakikada harcanan μ mol H_2O_2 olarak ifade edilmiştir.

3.2.3.5.5. Peroksidaz (POD; EC 1.11.1.7) enziminin aktivite tayini

Peroksidaz (POD) aktivitesi Herzog ve Fahimi (1973)'e göre belirlenmiştir. Aktivite 465 nm'de 3,3'-diaminobenzidin tetrahidroklorid (DAB)'ın oksidasyonu ile absorbansta meydana gelen artış takip edilerek hesaplanmıştır. Polystrene küvetteki reaksiyon karışımı, DAB solusyonu, % 0,6 'lık H_2O_2 , dI- H_2O ve enzim ekstraktından oluşmaktadır. Reaksiyon H_2O_2 'in katılmasıyla başlatılmış ve 180 sn boyunca absorban artışını takip edilmiştir. Spesifik enzim aktivitesi dakikada tüketilen μ mol ml^{-1} H_2O_2 olarak ifade edilmiştir.

3.2.3.5.6. Glutasyon redüktaz (GR; EC 1.6.4.2) enziminin aktivite tayini

Glutasyon redüktaz (GR) aktivitesi, Foyer and Halliwell (1976) yöntemiyle, 340 nm'deki absorban azalmasından yola çıkılarak hesaplanmıştır. NADPH (Nikotin amid adenin dinükleotid fosfat) varlığında, okside glutasyon miktarındaki azalma, kuvartz küvette, hazırlanan köre karşı 180 sn boyunca takip edilmiştir. Hesaplamalar glutasyon redüktaz enziminin ekstinksiyon katsayısı kullanılarak ($6,2 \text{ mM cm}^{-1}$) yapılmıştır. Spesifik enzim aktivitesi, dakikada indirgenen 1 mmol ml^{-1} okside olmuş glutasyonun (GSSG) miktarı olarak ifade edilmiştir.

3.2.3.6. Prolin miktarının belirlenmesi

Serbest prolin içeriğinin belirlenmesi Bates ve ark.'na (1973) göre yapılmıştır. Her bir gruptan 0,5 g yaprak örnekleri tartılarak, %3 'lük (w/v) sülfosalisilik asitle

homojenize edilmiş ve homojenat filtre kağıdından süzölmüştür. Asit ninhidrin ve glasiyal asetik asit eklendikten sonra oluşun karışım 100 °C'de 1 saat su banyosunda bekletilmiştir. Daha sonra reaksiyon buz banyosu kullanılarak durdurulmuştur. Bu karışıma tolüen ilave edilerek, sıvı fazdan aspire edilen tolüen fraksiyonunun 520nm'deki absorbansı spektrofotometreden okunmuştur. Prolin konsantrasyonu kalibrasyon eğrisi kullanılarak hesaplanmış ve µmol prolin g⁻¹ taze ağırlık olarak ifade edilmiştir.

3.2.3.7. Lipid peroksidasyonu

Yapraklarda meydana gelen lipid peroksidasyon derecesinin belirlenmesi için, lipid peroksidasyonunun son ürünü olan malondialdehit seviyesi ölçölmüştür. Malondialdehit miktarı Madhavo Rao ve Stresty (2000) yöntemine göre belirlenmiştir. Bunun için her gruptan 0,5 gr yaprak örneği TCA (trikloroasetik asit) ile homojenize edilmiştir. Santrifüjden sonra süpernatanta TBA (tiobarbitürik asit) ve TCA içeren reaksiyon karışımı pipetlendi ve tüm deney tüpleri 95 °C'de 30 dk. ısıtılmıştır. Karışım 10.000 g ×15 dk santrifüjlenmiştir. Oluşun süpernatantın 532 ve 600nm 'deki absorbans değerleri okunmuştur. Malondialdehit (MDA) konsantrasyonu ekstinksiyon katsayısı (ε =155 mM⁻¹ cm⁻¹) kullanılarak hesaplanmıştır.

Bitkilerde B analizinin yapıldığı Kurkumin yöntemi Jasco V-530 UV/VIS marka spektrofotometre ile diğer spektrofotometrik analizler ise Shimadsu (UV-1600) marka spektrofotometre ile yapılmıştır.

4. BULGULAR

4.1. BÜYÜME PARAMETRELERİNİN BULGULARI

30 günlük nohut bitkilerine uygulanan 100 mM ve 400 mM, B uygulamasını takiben 7. günün sonunda bitkilerin kök ve gövde uzunluğunda meydana gelen değişimler Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 Araştırma bitkilerinin (Gökçe ve Küsmen 99), bor stresine maruz bırakılmalarını takiben 0.-7. günlerde kök ve gövde uzunluklarında (cm) gözlenen değişimler

GRUPLAR		GÖKÇE		KÜSMEN 99	
		0.GÜN/cm	7.GÜN/cm	0.GÜN/cm	7.GÜN/cm
Kontrol	KÖK	13,93 ± 2,55	12,14 ± 1,03	13,03 ± 2,02	14,02 ± 1,38
	GÖVDE	17,33 ± 1,91	19,72 ± 1,75	15,75 ± 1,66	19,10 ± 1,49
100 mM Bor	KÖK		13,68 ± 2,42		11,26 ± 1,99
	GÖVDE		18,86 ± 2,90		21,30 ± 1,35
400 mM Bor	KÖK		15,48 ± 1,58		10,84 ± 1,58
	GÖVDE		24,90 ± 2,07		18,82 ± 1,34

Farklı bor konsantrasyonlarının (100 ve 400 mM) çalışmada kullanılan Gökçe ve Küsmen 99 kültür çeşidlerinin büyümeleri üzerine olan etkisi yeterli büyümeden sonra 7 gün süre ile takip edilmiş, ölçümler 0. ve 7. gün olmak üzere iki kez alınmıştır. Kontrol gruplarına uygulamalardan farklı olarak half Hoagland besi çözeltilisinde bulunan miktar dışında bor ilavesi yapılmamıştır. Elde edilen veriler kontrol grupları ile kıyaslanarak irdelenmiş ve denemeler en az 3 kez tekrar edilmiştir. Besi çözeltilisine son konsantrasyon 100 mM olacak şekilde B ilave edildiğinde Gökçe kültür çeşidinin büyümesinde kontrole göre kök uzunluğunda önemli bir değişim kaydedilmemiştir. Bununla birlikte gövde uzunluğunda % 4.36 oranında bir azalma belirlenmiştir. 400 mM B eklenen besi çözeltilisiyle sulanan Gökçe kültür çeşidinde kontrol ve 100 mM’lık

çalışma grubuna kıyasla hem kök hem de gövde uzunluğunda önemli bir artış kaydedilmiştir. 400 mM B ilave edilen uygulamada kök uzunluğunda kontrol grubuna göre % 27,51'lik bir artış kaydedilirken 100 mM B ilave edilen uygulamaya göre % 13,15'lik bir artış kaydedilmiştir. Gövde uzunluğu açısından incelendiğinde ise; kontrole kıyasla 100 mM B uygulamalı grupta gelişim önemsiz iken ve 400 mM'lık B uygulamalı gruba göre ise % 32,02'lik bir artış gözlenmiştir.

Küsmen 99 kültür çeşidi ile yapılan çalışmada Gökçe kültür çeşidinden farklı olarak 100 mM ve 400 mM B uygulamalarda kök uzunluklarında kontrole kıyasla bir azalma kaydedilmiştir. Bor konsantrasyonu arttıkça kök uzunluğu azalmıştır. 100 mM B uygulamasında azalma kontrole göre % 19,68 iken 400 mM B ilave edildiğinde bu azalma kontrole kıyasla % 22,68 olarak belirlenmiştir. Küsmen 99 kültür çeşidinin gövde uzunluğu üzerine B konsantrasyonunun etkisi incelendiğinde; 100 mM B uygulamasının gövde uzunluğunu kontrole kıyasla % 11,51 artırdığı buna rağmen 400 mM B uygulamasının gövde uzunluğuna bir etkisinin olmadığı anlaşılmıştır.

Çizelge 4.2 ve 4.3'te sırasıyla, gövde ve köke ait yaş ve kuru ağırlık değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.2 Araştırma bitkilerinin (Gökçe ve Küsmen 99), bor stresine maruz bırakılmalarını takiben 0.-7. günlerde gövde yaş ve kuru ağırlığında (g) gözlenen değişimler.

GRUPLAR		GÖKÇE		KÜSMEN 99	
		0.GÜN/g	7.GÜN/g	0.GÜN/g	7.GÜN/g
Kontrol	YA.	0,6350 ± 0,0635	0,8020 ± 0,2309	0,8283 ± 0,2446	1,1860 ± 0,1550
	KA.	0,0833 ± 0,0121	0,1000 ± 0,0292	0,1117 ± 0,0426	0,1780 ± 0,0268
100 mM Bor	YA.		0,8117 ± 0,1623		0,9920 ± 0,2233
	KA.		0,1117 ± 0,0293		0,1520 ± 0,0356
400 mM Bor	YA.		0,9600 ± 0,1751		0,6960 ± 0,1405
	KA.		0,0720 ± 0,0164		0,1300 ± 0,0071

Gökçe kültür çeşidinde kontrole nazaran 100 mM'lık uygulamada gövde yaş ağırlığındaki artış önemsiz iken, 400 mM'lık çalışma grubunda % 19,7'lik bir artış gerçekleşmiştir. Kontrole kıyasla gövde kuru ağırlığı 100 mM'lık uygulamada % 11,7'lik artış gerçekleşirken; 400 mM'lık uygulamada % 28'lik azalma belirlenmiştir.

Küsmen 99'un gövde yaş ve kuru ağırlığında B konsantrasyonuyla doğru orantılı olarak kontrol grubuna göre azalma belirlenmiştir. Gövde yaş ağırlığında 100 mM'lık uygulamada % 16,4'lük 400 mM'lık uygulamada ise % 41,1'lik azalma belirlenirken, gövde kuru ağırlığındaki azalma 100 mM'lık seride % 14, 7; 400 mM'lık seride %27 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.3. Araştırma bitkilerinin (Gökçe ve Küsmen 99), bor stresine maruz bırakılmalarını takiben 0.-7. günlerde kök yaş ve kuru ağırlığında (g) gözlenen değişimler

GRUPLAR		GÖKÇE		KÜSMEN 99	
		0.GÜN/g	7.GÜN/g	0.GÜN/g	7.GÜN/g
Kontrol	YA.	1,1517 ± 0,3786	1,3440 ± 0,4848	1,4600 ± 0,5105	1,3080 ± 0,3455
	KA.	0,0617 ± 0,0194	0,0580 ± 0,0228	0,0833 ± 0,0350	0,0780 ± 0,0179
100 mM Bor	YA.		1,2717 ± 0,5909		1,1880 ± 0,3727
	KA.		0,0600 ± 0,0228		0,0740 ± 0,0182
400 mM Bor	YA.		1,6560 ± 0,3260		1,3280 ± 0,3653
	KA.		0,0720 ± 0,0164		0,0680 ± 0,0192

Bor stresinin uygulandığı her iki kültür çeşidinde 100 mM'lık kök yaş ağırlığında azalma, 400 mM'lık serilerde ise artış belirlenmiştir.

Gökçe kültür çeşidinde kontrole nazaran kök yaş ağırlığı 100 mM'lık uygulamada % 6, 4 azalmış, 400 mM'lık grupta % 23 artış gerçekleşmiştir. Kök kuru ağırlığında 100 mM'lık çalışma uygulamasında azalma önemsiz iken 400 mM'lık grupta % 28,1'lik azalma gerçekleşmiştir.

Küsmen 99'da Gökçe'ye benzer olarak kontrole kıyasla kök yaş ağırlığında 100 mM'lık uygulamada % 10'luk azalma, 400 mM'lık grupta ise önemsiz sayılabilecek artış gerçekleşmiştir. Kök kuru ağırlığında 100 mM'lık uygulamada azalma % 10 iken 400 mM'lık grupta % 13'lük azalma gerçekleşmiştir.

4. 2. BAĞIL SU İÇERİĞİ

Yaprak bağıl nem içeriğinde kontrole kıyasla Gökçe'de 100 mM'lıkta % 2, 400 mM'lıkta % 4,7'lik artış olurken, Küsmen 99'da kontrole kıyasla artış biraz daha fazla gerçekleşmiş; 100 mM'lıkta % 8,3 , 400 mM'lıkta % 18,2 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4 Araştırma bitkilerinin (Gökçe ve Küsmen 99), bor stresine maruz bırakılmalarını takiben 0.-7. günlerde yaprak bağıl neminde % gözlenen değişimler

GRUPLAR	GÖKÇE		KÜSMEN 99	
	0.GÜN/ % Bağıl nem	7.GÜN/ % Bağıl nem	0.GÜN/ % Bağıl nem	7.GÜN/ % Bağıl nem
Kontrol	73,13 ± 4,68	69,02 ± 7,95	68,91 ± 7,24	62,06 ± 3,08
100 mM Bor		70,42 ± 3,25		67,26 ± 3,94
400 mM Bor		72,30 ± 5,12		73,44 ± 3,38

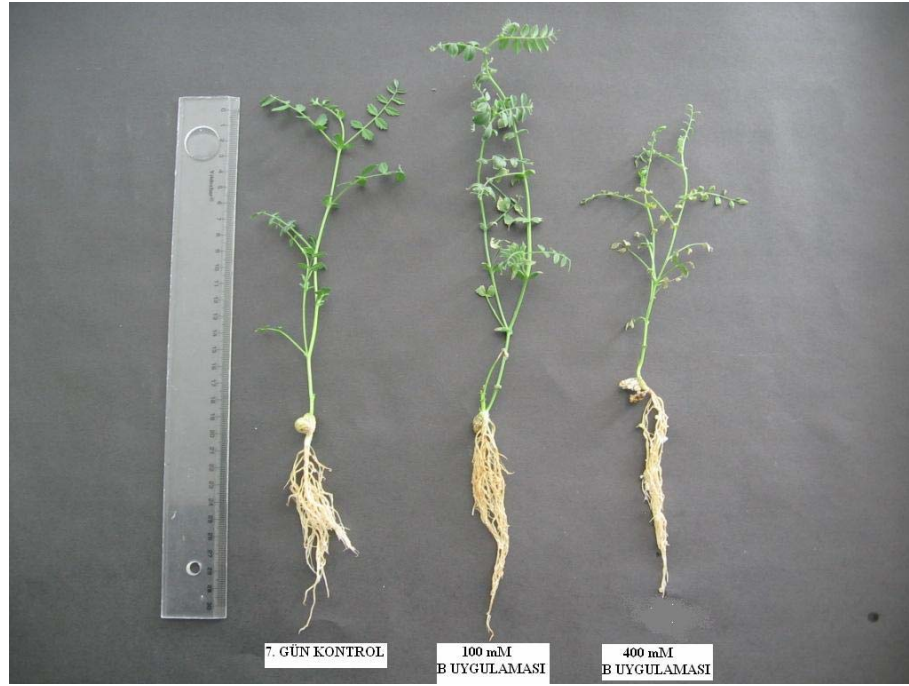
4. 3. KLOROFİL FLÜORESANS ÖLÇÜM BULGULARI

Gökçe ve Küsmen 99'un fotosentetik verimlerine ait değerler 4.5 no'lu çizelgede gösterilmiştir.

Fotosentetik verimde her iki kültür çeşidinde kotrole oranla 100 mM'lık gruplarda önemsiz azalma belirlenirken, 400 mM'lık gruplardan Gökçe'de % 3,6'lık, Küsmen 99'da ise % 8,6'lık azalma belirlenmiştir.

Çizelge 4.5 Araştırma bitkilerinin (Gökçe ve Küsmen 99), bor stresine maruz bırakılmalarını takiben 0.-7. günlerde fotosentetik veriminde (Fv/Fm) meydana gelen değişimler

Gruplar	GÖKÇE		KÜSMEN 99	
	0.GÜN/(Fv/Fm)	7.GÜN/(Fv/Fm)	0.GÜN/(Fv/Fm)	7.GÜN/(Fv/Fm)
Kontrol	0,851 ± 0,0107	0,856 ± 0,0076	0,863 ± 0,0030	0,851 ± 0,0033
100 mM Bor		0,855 ± 0,0085		0,843 ± 0,0097
400 mM Bor		0,826 ± 0,0146		0,778 ± 0,0815



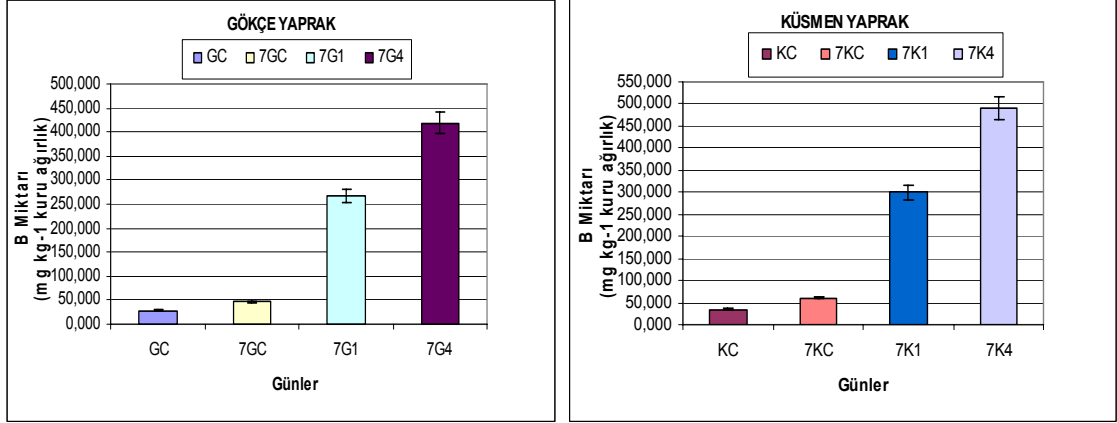
Şekil 4.1 B uygulamasının 7. günde Gökçe (*Cicer arietinum* L.) nohut çeşidi üzerine etkisi



Şekil 4.2 B uygulamasının 7. günde Küsmen 99 (*Cicer arietinum* L.) nohut çeşidi üzerine etkisi

4. 4. BİTKİLERDE BOR ANALİZİ (KURKUMİN YÖNTEMİ) BULGULARI

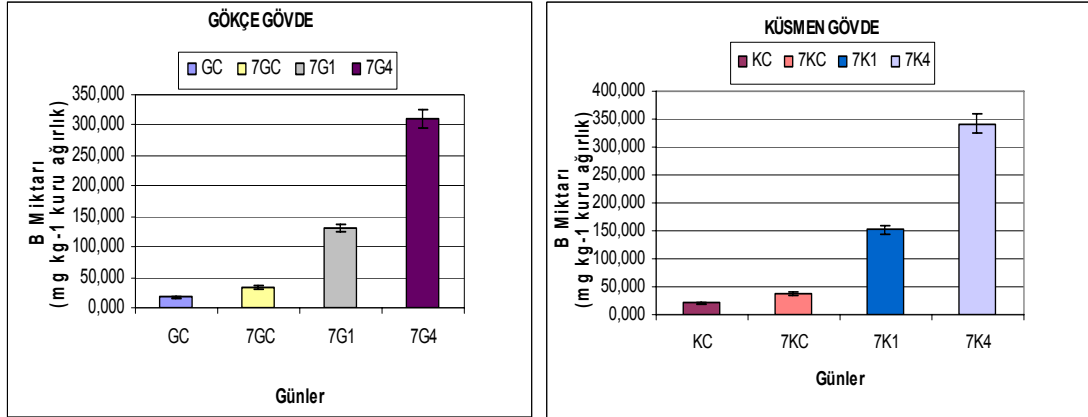
Gökçe ve Küsmen 99'un yapraklarında Şekil 4.3'de, gövdelerinde Şekil 4.4'de ve köklerinde biriken B miktarları şekil 4.5'de gösterilmiştir.



Şekil 4.3 Gökçe ve Küsmen 99 nohut (*Cicer arietinum* L.) kültür çeşidlerinin, bor stresine (100 mM ve 400 mM) maruz bırakılmalarını takiben 0.-7. günlerde yapraklarında biriken B miktarında (mg kg⁻¹ kuru ağırlık) gözlenen değişimler.

Gökçe kültür çeşidinde yapraklarda belirlenen ortalama B miktarı; 0. gün kontrolde 29 ppm, 7. gün kontrol grubunda 46,8 ppm, 100 mM uygulama grubunda 267,7 ppm, uygulamada ise 419,2 ppm olarak belirlenmiştir (Şekil 4.3).

Küsmen 99 kültür çeşidinin yapraklarında belirlenen B miktarı Gökçe'ye oranla daha fazladır. Ortalama olarak; 0. gün kontrolde 34,6 ppm, 7. gün kontrol grubunda 61,1 ppm, 100 mM uygulama grubunda 299,2 ppm, 400 mM uygulamada ise 490,7 ppm olarak belirlenmiştir (Şekil 4.3).

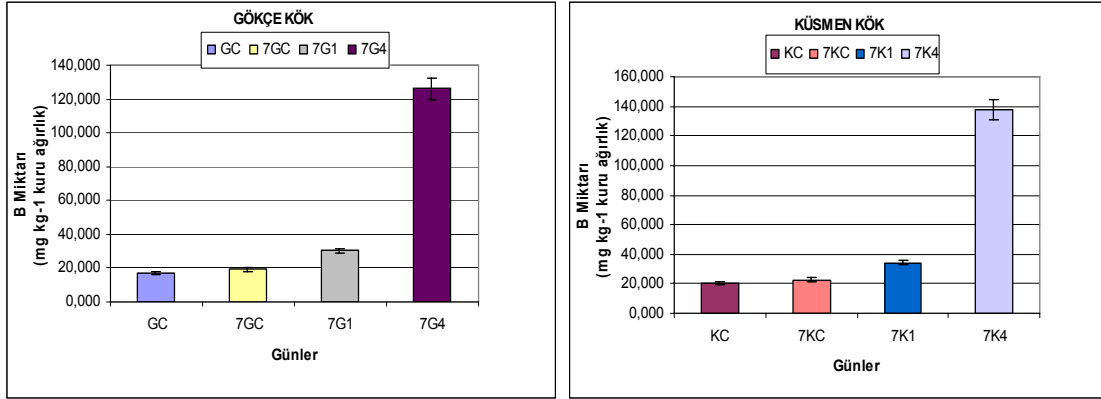


Şekil 4.4 Gökçe ve Küsmen 99 nohut (*Cicer arietinum* L.) kültür çeşidlerinin, bor stresine (100 mM ve 400 mM) maruz bırakılmalarını takiben 0.-7. günlerde gövdelerinde biriken B miktarında (mg kg^{-1} kuru ağırlık) gözlenen değişimler.

Gökçe ve Küsmen 99'un gövdelerinde biriken B miktarı şekil 4.4.'de gösterilmiştir. Küsmen 99 kültür çeşidinin gövdelerinde belirlenen B miktarı Gökçe kültür çeşidine oranla daha fazladır (Şekil 4.4)

Gökçe kültür çeşidi gövdelerinde belirlenen ortalama B miktarı; 0. gün kontrolde 16,7 ppm, 7. gün kontrol grubunda 33,5 ppm, 100 mM uygulama grubunda 131 ppm, 400 mM uygulamada ise 309,6 ppm olarak belirlenmiştir (Şekil 4.4).

Küsmen 99 kültür çeşidinde gövdelerinde belirlenen ortalama B miktarı; 0. gün kontrolde 20,3 ppm, 7. gün kontrol grubunda 37,5 ppm, 100 mM uygulama grubunda 152,7 ppm, 400 mM uygulamada ise 341,1 ppm olarak belirlenmiştir (Şekil 4.4).



Şekil 4.5 Gökçe ve Küsmen 99 nohut (*Cicer arietinum* L.) kültür çeşidlerinin, bor stresine (100 mM ve 400 mM) maruz bırakılmalarını takiben 0.-7. günlerde köklerinde biriken B miktarında (mg kg⁻¹ kuru ağırlık) gözlenen değişimler.

Gökçe ve Küsmen 99'un köklerinde biriken B miktarı şekil 4.5'de gösterilmiştir. Küsmen 99 kültür çeşidinin köklerinde belirlenen B miktarı Gökçe'ye oranla yaprakta ve gövde de olduğu gibi daha fazladır (Şekil 4.5).

Gökçe kültür çeşidinde köklerinde belirlenen ortalama B miktarı; 0. gün kontrolde 17,2 ppm, 7. gün kontrol grubunda 19,1 ppm, 100 mM uygulama grubunda 30,2 ppm, 400 mM uygulamada ise 126,4 ppm olarak belirlenmiştir (Şekil 4.5).

Küsmen 99 kültür çeşidinde köklerinde belirlenen ortalama B miktarı; 0. gün kontrolde 19,9 ppm, 7. gün kontrol grubunda 22,6 ppm, 100 mM uygulama grubunda 34,2 ppm, 400 mM uygulamada ise 137,8 ppm olarak belirlenmiştir (Şekil 4.5).

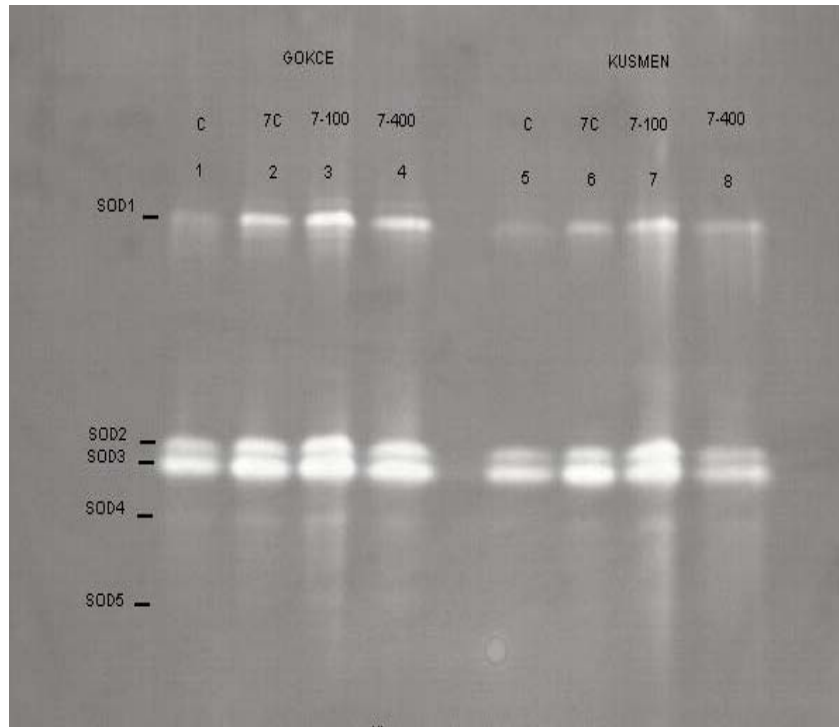
Her iki kültür çeşidinde Kurkimin yöntemiyle belirlenen B miktarına göre; bitkilerin en fazla yapraklarında B biriktirdiği daha sonra gövdelerinde en az B birikiminin ise köklerinde olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.5).

4. 5. ANTIÖKSİDANT ENZİM AKTİVİTELERİ

Gökçe ve Küsmen 99 nohut çeşidlerinde kontrol, 100 mM ve 400 mM B uygulamalarında antioksidant enzim aktivitelerinin belirlenmesi için; süperoksit dismutaz izozimleri (SOD), askorbat peroksidaz (AP), katalaz (CAT), peroksidaz (POX), glutasyon reduktaz (GR), prolin ve malondialdehit miktarı ölçümleri yapılmıştır.

4. 5. 1. Süperoksit dismutaz izozimlerinin aktiviteleri

Süperoksit dismutaz (SOD) izozim bantlarının densiyometrik analizi Bio-1D yazılım programında resim düzenleyici’de belirlenmiştir.



Şekil 4.6 Gökçe ve Küsmen 99 nohut çeşidlerinin gövde sürgünlerinde gözlenen SOD izozim aktiviteleri uygulama 1-4 Gökçe, uygulama 5-8 Küsmen 99 kültürüne ait kontrol, 100 mm ve 400 mm B uygulanmış gruptaki SOD izozim aktiviteleri

Bor stresinin 7.gününde Mn-SOD ve Cu/Zn SOD olmak üzere 2 farklı SOD izozimi belirlenmiştir. Gökçe’de kontrol gruplarına göre B uygulanmış gruplardan 100 M’lıkta % 16,3, 400 mM’lıkta % 8,1’lik artış Mn-SOD’da gözlenmiştir. 100 mM’lık gruplarda kontrole göre Cu/Zn SOD1’de % 1,8 lik artış, Cu/Zn SOD2’de % 9,3 azalma, Cu/Zn SOD3’de % 66,6 artış belirlenmiştir. Cu/Zn SOD4’de belirlenen SOD aktivite 100 değer birimi 100 mM için belirtilmiştir. 0. ve 7. gün kontrollerinde Cu/Zn SOD4’de SOD aktivitesi belirlenmemiştir. 400 mM’lık gruplarda kontrole göre Cu/Zn SOD1’de % 3,6, Cu/Zn SOD2’de % 13, Cu/Zn SOD3’de % 8,4 azalma belirlenmiştir. Cu/Zn SOD4’de belirlenen SOD aktivite değeri 100 mM kıyaslandığında % 36,4 azalmıştır (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.6 B stresine maruz bırakılan Gökçe nohut çeşidinin gövde sürgünlerine ait SOD izozimlerinin aktivitesinde gözlenen değişimler.

GÖKÇE	0. gün Kontrol /izozim miktarı (kDa)	7 gün Kontrol/izozim miktarı (kDa)	100 mM B/izozim miktarı (kDa)	400 mM B/izozim miktarı (kDa)
Mn-SOD1	32,6	100	116,3	108,1
Cu/Zn SOD1	83	100	101,8	96,2
Cu/Zn SOD2	96,2	100	90,7	87
Cu/Zn SOD3	75	100	166,6	91,6
Cu/Zn SOD4	0	0	100	63,6

Küsmen 99’da kontrol gruplarına göre Mn-SOD’da B uygulanmış gruplardan 100 M’lıkta % 86,2’lik artış, 400 mM’lıkta % 3,5’lik azalma gözlenmiştir. 100 mM’lık gruplarda kontrole göre Cu/Zn SOD1’de % 16,6 artış, Cu/Zn SOD2’de % 3,6 azalma, Cu/Zn SOD3’de % 177,7 gibi büyük bir artış belirlenmiştir. Cu/Zn SOD4’de belirlenen iki SOD değerinde biri olan 100 mM’lık grup kontrolde belirlenen SOD’a göre % 14 fazladır. 400 mM’lık gruplarda kontrole göre Cu/Zn SOD1’de % 35,5, Cu/Zn SOD2’de % 17,6 azalma belirlenmiştir. Cu/Zn SOD3’te belirlenen SOD aktivite değeri kontrolle

aynı olarak belirlenmiş, Cu/Zn SOD4'te 400 mM için ölçüm alınamamıştır (Çizelge 4.7).

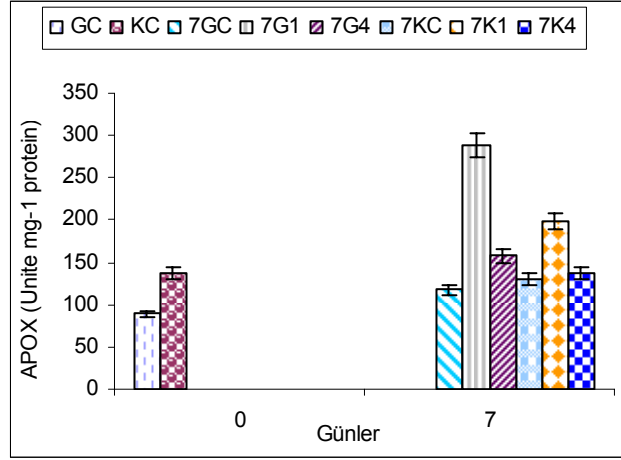
Çizelge 4.7 B stresine maruz bırakılan Küsmen 99 nohut çeşidinin gövde sürgünlerine ait SOD izozimlerinin aktivitesinde gözlenen değişimler.

KÜSMEN 99	0. gün Kontrol/izozim miktarı (kDa)	7 gün Kontrol/izozim miktarı (kDa)	100 mM B/izozim miktarı (kDa)	400 mM B/izozim miktarı (kDa)
Mn-SOD1	41,3	100	186,2	96,5
Cu/Zn SOD1	72,9	100	116,6	64,5
Cu/Zn SOD2	84,2	100	96,4	82,4
Cu/Zn SOD3	88,8	100	277,7	100
Cu/Zn SOD4	0	100	214	0

4. 5. 2. Askorbat peroksidaz enzim aktiviteleri

Askorbat peroksidaz enzim aktivitesi ile ilgili her iki kültür çeşidine ait veriler Şekil 4.7'de gösterilmiştir. B stresi altında 100 mM'lık her iki kültür çeşidinde de artış kontrollere kıyasla oldukça belirgindir.

Gökçe kültür çeşidinde 100 mM'lık grup kontrole kıyasla % 114 artış gösterirken, 400 mM'lık grupta % 32,7'lik artış belirlenmiştir. Küsmen 99'da, Gökçe'ye oranla Askorbat peroksidaz (APX) artışları daha az yüzdelerde gerçekleşmiştir. Küsmen 99'da 100 mM'lık grup kontrole kıyasla % 53,1'lik artış gösterirken, 400 mM'lık grupta % 6'lık artış belirlenmiştir.

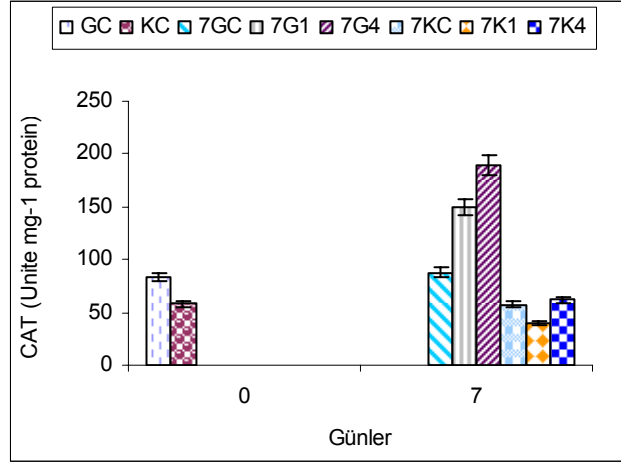


Şekil 4.7 Araştırma bitkilerinin (Gökçe ve Küsmen 99), bor stresine (100 mM ve 400 mM) maruz bırakılmalarını takiben 0.-7. günlerde Askorbat peroksidaz (APX) aktivitesinde (ünite /mg protein) gözlenen değişimler. (GC: Gökçe Kültür Çeşidi Kontrol, KC: Küsmen 99 Kültür Çeşidi Kontrol, 7GC: Gökçe Kültür Çeşidi 7. Gün Kontrol, 7G1: Gökçe Kültür Çeşidi 100 mM Bor Uygulaması, 7G4: Gökçe Kültür Çeşidi 400 mM Bor Uygulaması, 7KC: Küsmen 99 Kültür Çeşidi 7. Gün Kontrol, 7K1: Küsmen 99 Kültür Çeşidi 100 mM Bor Uygulaması, 7K4: Küsmen 99 Kültür Çeşidi 400 mM Bor Uygulaması)

4. 5. 3. Katalaz enzim aktiviteleri

Katalaz (CAT) enzim aktivitesiyle ilgili her iki kültür çeşidine ait veriler Şekil 4.8’de gösterilmiştir. Bor stresine bağlı olarak katalaz (CAT) enzim aktivite seviyesinde kontrol gruplarına göre her iki kültür çeşidinde de farklı tepkiler gözlenmiştir.

Gökçe kültüründe 100 mM’lık grup kontrole kıyasla % 69,8 artış gösterirken, 400 mM’lık grupta % 114,9 artış belirlenmiştir. Küsmen 99’da 100 mM’lık grup kontrole kıyasla % 28,8 azalma göstermiş, 400 mM’lık grupta ise % 8,7’lik artış belirlenmiştir (Şekil 4.8).

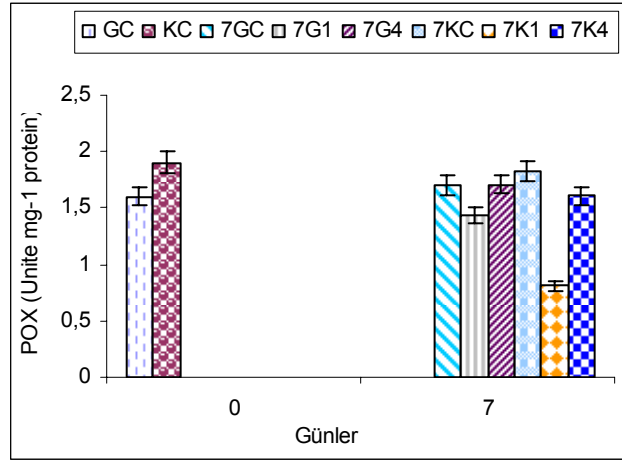


Şekil 4.8 Araştırma bitkilerinin (Gökçe ve Küsmen 99), bor stresine (100 mM ve 400 mM) maruz bırakılmalarını takiben 0.-7. günlerde Katalaz (CAT) aktivitesinde (ünite /mg protein) gözlenen değişimler. (GC: Gökçe Kültür Çeşidi Kontrol, KC: Küsmen 99 Kültür Çeşidi Kontrol, 7GC: Gökçe Kültür Çeşidi 7. Gün Kontrol, 7G1: Gökçe Kültür Çeşidi 100 mM Bor Uygulaması, 7G4: Gökçe Kültür Çeşidi 400 mM Bor Uygulaması, 7KC: Küsmen 99 Kültür Çeşidi 7. Gün Kontrol, 7K1: Küsmen 99 Kültür Çeşidi 100 mM Bor Uygulaması, 7K4: Küsmen 99 Kültür Çeşidi 400 mM Bor Uygulaması)

4. 5. 4. Peroksidaz enzim aktiviteleri

Peroksidaz enzim aktivitesiyle ilgili her iki kültür çeşidine ait veriler Şekil 4.9'da gösterilmiştir.

Gökçe ve Küsmen 99 kültür çeşidlerinin B stresine maruz gruplarında Peroksidaz enzim (POX) aktiviteleri kontrolle kıyasla azalma göstermiştir. Gökçe kültüründe 100 mM'lık grup kontrole kıyasla % 15,3'lük azalma gerçekleşirken, 400 mM'lık grupta azalma önemsizdir. Küsmen 99'da 100 mM'lık grup kontrole kıyasla % 55,8, 400 mM'lık grupta ise % 12,1'lik azalma belirlenmiştir.

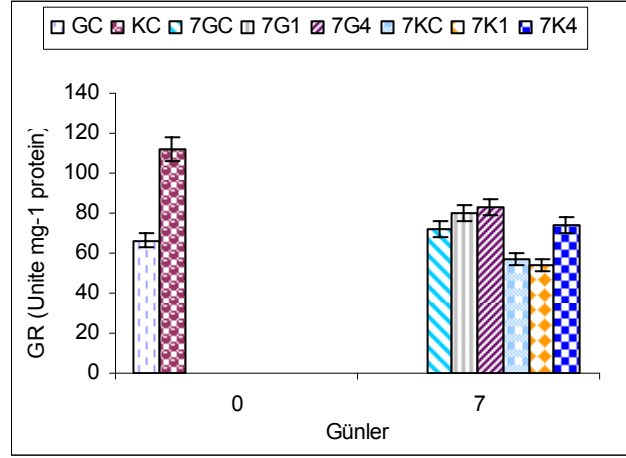


Şekil 4.9 Araştırma bitkilerinin (Gökçe ve Küsmen 99), bor stresine (100 mM ve 400 mM) maruz bırakılmalarını takiben 0.-7. günlerde Peroksidaz (POX) aktivitesinde (ünite /mg protein) gözlenen değişimler. (GC: Gökçe Kültür Çeşidi Kontrol, KC: Küsmen 99 Kültür Çeşidi Kontrol, 7GC: Gökçe Kültür Çeşidi 7. Gün Kontrol, 7G1: Gökçe Kültür Çeşidi 100 mM Bor Uygulaması, 7G4: Gökçe Kültür Çeşidi 400 mM Bor Uygulaması, 7KC: Küsmen 99 Kültür Çeşidi 7. Gün Kontrol, 7K1: Küsmen 99 Kültür Çeşidi 100 mM Bor Uygulaması, 7K4: Küsmen 99 Kültür Çeşidi 400 mM Bor Uygulaması)

4. 5. 5. Glutasyon redüktaz enzim aktiviteleri

Glutasyon redüktaz (GR) enzim aktivitesiyle ilgili her iki kültür çeşidine ait veriler şekil 4.10'da gösterilmiştir.

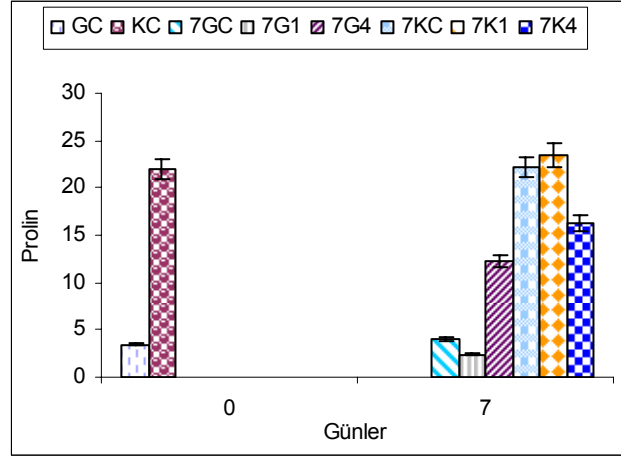
Bor stresine bağlı olarak Glutasyon redüktaz enzim aktivite seviyesinde kontrol gruplarına göre her iki kültür çeşidinde farklı tepkiler gözlenmiştir. Gökçe kültür çeşidinde 100 mM'lık grup kontrole kıyasla % 10,7, 400 mM'lık grupta ise % 15,6 artış belirlenmiştir. Küsmen 99'da 100 mM'lık grupta kontrole kıyasla % 4,8 azalma belirlenirken, 400 mM'lık grupta ise % 29,9 artış belirlenmiştir.



Şekil 4.10 Araştırma bitkilerinin (Gökçe ve Küsmen 99), bor stresine (100 mM ve 400 mM) maruz bırakılmalarını takiben 0.-7. günlerde Glutasyon reduktaz (GR) aktivitesinde (ünite /mg protein) gözlenen değişimler. (GC: Gökçe Kültür Çeşidi Kontrol, KC: Küsmen 99 Kültür Çeşidi Kontrol, 7GC: Gökçe Kültür Çeşidi 7. Gün Kontrol, 7G1: Gökçe Kültür Çeşidi 100 mM Bor Uygulaması, 7G4: Gökçe Kültür Çeşidi 400 mM Bor Uygulaması, 7KC: Küsmen 99 Kültür Çeşidi 7. Gün Kontrol, 7K1: Küsmen 99 Kültür Çeşidi 100 mM Bor Uygulaması, 7K4: Küsmen 99 Kültür Çeşidi 400 mM Bor Uygulaması)

4. 5. 6. Prolin bulguları

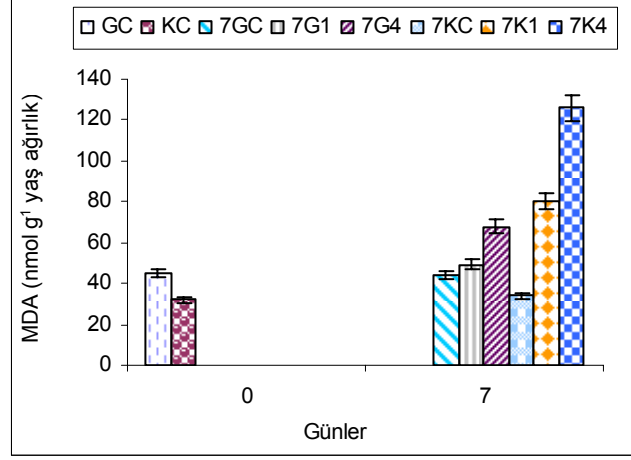
Prolin sonuçları Şekil 4.11’de gösterilmiştir. Kontrole oranla Gökçe kültür çeşidinde 100 mM’lık grupta % 38,8 azalma gerçekleşirken, 400 mM’lık grubunda üç katından fazla artış gerçekleşmiştir. Küsmen 99 kültür çeşidinde 100 mM’lık grupta % 5,9 artış gerçekleşirken, 400 mM’lık grubunda % 26,4 azalma belirlenmiştir.



Şekil 4.11 Araştırma bitkilerinin (Gökçe ve Küsmen 99), bor stresine (100 mM ve 400 mM) maruz bırakılmalarını takiben 0.-7. günlerde Prolin miktarında (μ mol /g yaş ağırlık) gözlenen değişimler. (GC: Gökçe Kültür Çeşidi Kontrol, KC: Küsmen 99 Kültür Çeşidi Kontrol, 7GC: Gökçe Kültür Çeşidi 7. Gün Kontrol, 7G1: Gökçe Kültür Çeşidi 100 mM Bor Uygulaması, 7G4: Gökçe Kültür Çeşidi 400 mM Bor Uygulaması, 7KC: Küsmen 99 Kültür Çeşidi 7. Gün Kontrol, 7K1: Küsmen 99 Kültür Çeşidi 100 mM Bor Uygulaması, 7K4: Küsmen 99 Kültür Çeşidi 400 mM Bor Uygulaması)

4.5.7. Lipid Peroksidasyonu bulguları

Lipid peroksidasyon oranları malondialdehit miktarında meydana gelen değişimlere göre belirlenmiş ve Şekil 4.12' de gösterilmiştir. Her iki kültür çeşidinde de malondialdehit miktarında artış belirlenmiştir. Küsmen 99'da artış çok belirgin gerçekleşmiştir. Küsmen 99'un 100 mM'lık B stresine maruz grubunda % 135,2, 400 mM'lık grubunda ise dört katına yakın oranında ciddi bir artış belirlenmiştir. Gökçe'nin 100 mM'lık grubunda artış önemsiz iken, 400 mM'lık grubunda % 54,5 oranında artış belirlenmiştir.



Şekil 4.12 Araştırma bitkilerinin (Gökçe ve Küsmen 99), bor stresine (100 mM ve 400 mM) maruz bırakılmalarını takiben 0.-7. günlerde Malondialdehit miktarında (MDA) (nmol/g yaş ağırlık) gözlenen değişimler. (GC: Gökçe Kültür Çeşidi Kontrol, KC: Küsmen 99 Kültür Çeşidi Kontrol, 7GC: Gökçe Kültür Çeşidi 7. Gün Kontrol, 7G1: Gökçe Kültür Çeşidi 100 mM Bor Uygulaması, 7G4: Gökçe Kültür Çeşidi 400 mM Bor Uygulaması, 7KC: Küsmen 99 Kültür Çeşidi 7. Gün Kontrol, 7K1: Küsmen 99 Kültür Çeşidi 100 mM Bor Uygulaması, 7K4: Küsmen 99 Kültür Çeşidi 400 mM Bor Uygulaması)

4.6. YAPILAN ÇALIŞMALARIN ANOVA İSTATİKSEL YÖNTEMİYLE İRDELENMESİ

Yapılan çalışmaların sonuçları one-way ANOVA istatistiksel yöntemiyle tür, zaman ve B konsantrasyonlarının etkileşimleri irdelenmiştir. Çizelge 4.8’de one-way ANOVA sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.8 Çalışmada yapılan Katalaz (CAT), Glutasyon Reduktaz (GR), Askorbat Peroksidaz (APX), Malondialdehit (MDA), Peroksidaz (POX), Büyüme, Klorofil Floresans ve Bağlı Su İçeriği sonuçlarının ‘one-way ANOVA’ istatistiksel yöntemiyle irdelenmesi

YAPILAN ÇALIŞMALAR	ORTALAMA. DEĞER	FREKANS
CAT (ünite /mg protein)	15,937,876	124,039
GR (ünite /mg protein)	1607,735	48,869
APX(ünite /mg protein)	22310,654	427,452
MDA (nmol/g yaş ağırlık)	5149,397	165,917
POX (ünite /mg protein)	0,712	30,098
Büyüme (cm)	44,653	13,659
Klorofil Floresans (Fv/Fm)	5,948E-03	7,684
Bağlı Su (% Bağlı nem)	131,988	1,891

5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bor bitkiler için gerekli ama eksikliği ile toksisite değerleri birbirine çok yakın olan tek elementtir (Brown et al., 2002). Bor toksisitesinin, hücre çeperinde oluşturduğu zararlar; ATP, NADH ve NADPH'ye bağlanan riboz kısımlarında metabolik bozukluk; RNA, serbest şekerler veya riboz bağlarıncaya meydana getirilen bölünen ve gelişen hücrelerdeki zarar ve yapraklarda yüksek miktarda biriken bor'un transpirasyon akım yönündeki osmatik düzenin bozulması şeklinde bitkilerde kendini göstermektedir (Stagoulis and Reid, 2002; Reid et al., 2004). B toksisitesinin; bitkide ürün kaybının yanı sıra, çok yüksek B seviyelerinde bitki ölümlerine de sebep olduğu bilinmektedir (Nable et al., 1997; Khan et al., 1999).

Bu çalışmada toksik miktardaki bor'un araştırma bitkilerinin; *Cicer arietinum* L. Gökçe (Genotip; kuraklığa dayanıklı), *Cicer arietinum* L. Küsmen 99 (Genotip; kuraklığa duyarlı); büyüme metabolizmasında metabolik yolları engelleyerek bitkilerde önemli zararlara neden olduğu saptanmış olup, Cartwright ve ark. (1984), Mahalakshmi ve ark. (1995), Lee ve ark. (1996), Khan ve ark. (1999), Hobson ve ark. (2001), Ermiş (2002), Karabal ve ark. (2003), Sotiropoulos ve ark. (2003), Papadakis ve ark. (2004 a., b.) ve Ortaca'nın (2005) elde ettiği sonuçlarla benzerlik gösterdiği saptanmıştır.

Bor toksisitesi, büyüme parametrelerinde her iki kültür çeşidinde de farklı sonuçlar vermiştir. Gökçe'de uygulanan 100 ve 400 mM'lık B konsantrasyonlarında kök uzunluklarında artış belirlenmiş, gövde uzunluğunda 100 mM'lıkta değişim gözlenmez iken 400 mM'lıkta artış gözlenmiştir. Küsmen 99'da ise her iki konsantrasyonda kök uzunluğunda azalma, gövdede ise sadece 100 mM'lık uygulamada önemsiz bir gövde büyümesi belirlenmiştir. Aynı şekilde her iki kültür çeşidi ve aynı konsantrasyon uygulamalarında gövde yaş ve kuru ağırlıklarında Küsmen 99'da ciddi sayılabilecek azalmalar gözlenirken, Gökçe kültür çeşidinde Küsmen 99'un aksine gövde yaş ve kuru ağırlıklarında 400 mM'lık kuru ağırlıktaki azalmanın dışında diğer konsantrasyon uygulamalarında az da olsa artışlar gözlenmiştir. Kök yaş ve kuru ağırlıkları karşılaştırıldığında ise; Gökçe 100 mM'lık kök yaş ölçümü uygulaması dışında diğerlerinde konsantrasyonla paralel olarak artışlar belirlenmiştir. Küsmen

99'da ise kontrole kıyasla 400 mM uygulamasında kök yaş ağırlığında önemsiz bir artışın dışında tüm ölçümlerde azalma gözlenmiştir. Küsmen kültür çeşidinin büyüme parametre sonuçları Güneş ve ark. (2000 a.,b.) ve Ortaca'nın (2005) sonuçları ile benzerlik göstermektedir. Gökçe kültür çeşidinde belirlenen sonuçlar doğrultusunda Gökçe'nin B toksisitesine Küsmen 99'a göre daha tolerans gösterebildiği ve gelişimini sürdürebildiği görülmüştür.

Klorofil flüoresans ölçüm sonuçlarına göre; Gökçe kültür çeşidinde konsantrasyona bağlı olarak biraz daha az azalma belirlenirken, Küsmen 99'da azalma oranı yüzde olarak Gökçe'nin iki katına yakın gerçekleşmiştir. Klorofil flüoresans ölçüm sonuçları, Papadakis ve ark. (2004 a.) ile benzerlik göstermektedir.

Bağıl su içeriği sonuçlarında Küsmen 99'da biraz daha belirgin olmak üzere her iki kültür çeşidinde de artış belirlenmiştir. Bor stresinin bağıl su değişimine olumsuz bir etki yapmadığı görülmüştür.

Gökçe ve Küsmen 99 nohut kültür çeşidlerine uygulanan 100 ve 400 mM'lık B konsantrasyonları sonucunda bitkide biriken B miktarını tespit ettiğimiz Kurkimin sonuçlarına göre; B birikimi en fazla yapraklarda belirlenmiştir. Yaprığı sırasıyla gövde ve en az da köklerdeki birikim takip etmiştir. Bitkilerin yapraklarında biriken B miktarı; 100 mM'lık B uygulamasında 100 mM üstünde ve aynı şekilde 400 mM'lık B uygulamasında 400 mM üstünde B miktarları tespit edilmiştir. Küsmen 99'da B birikiminin Gökçe kültür çeşidine oranla daha fazla olduğu belirlenmiş olup Güneş ve ark. (2000) ile de benzerlik göstermektedir. Küsmen 99'da B toksisitesinin daha fazla zarara neden olduğu görülmüştür (Şekil 4.3, 4.4, 4.5).

Bitkilerde bor toksisitesi; büyüme, gelişme ve membranların geçirgenliği vb. üzerlerindeki zararlarının dışında oksidatif zarara da neden olmaktadır (Bray et al., 2000; Karabal et al., 2003). Bitkiler aktif oksijen türlerinin fizyolojik üretimini kontrol etmek için birçok enzimatik ve enzimatik olmayan antioksidatif mekanizmalar geliştirmişlerdir.

SOD, süperoksit radikallerinin süpürülmesinden sorumlu olan ve oksijenli solunum yapan hücreler için anahtar bir antioksidant enzimdir (Asada, 1999). Çalışmamızda en belirgin bantlanmanın Cu/Zn-SOD bantlanması olduğu gözlenmiştir. Cu/Zn-SOD'ün kloroplastlarda oksidatif strese yol açan süperoksit radikalini süpürme eğiliminde olduğu belirlenmiştir. Araştırma bitkilerinde tesbit edilen SOD miktarındaki artış Ermiş (2002) ile paralellik gösterirken, Karabal ve ark. (2003) sonuçları ile farklılık göstermektedir.

Bitkilerde, askorbat peroksidaz; H_2O_2 'yi suya çeviren ve toksisitesinin yokedilmesinde rol alan en önemli peroksidazdır (Foyer and Halliwell, 1976; Noctor and Foyer, 1998). Çalışmamızda her iki kültür çeşidinde de özellikle 100 mM'lık konsantrasyonlarda gelişen bitkilerde kontrole nazaran askorbat miktarında önemli bir artış belirlenmiştir. Askorbat miktarındaki artışın Gökçe kültür çeşidinde Küsmen 99'dan daha fazla olduğu belirlenmiştir. Araştırma bitkilerinde bor stresi altında askorbat miktarındaki artış çeşitli literatür bildirişleriyle uygunluk göstermektedir (Çakmak et al., 1993; Foyer and Halliwell, 1976; Gilham and Dodge, 1986; Halliwell and Gutteridge, 1989; Asada, 1992; Ermiş, 2002; Karabal et al., 2003).

CAT hücresel zararı önlemede rol alan en etkili antioksidant enzimlerden birisidir (Scandalios, 1993). CAT miktarı Gökçe kültür çeşidinde stresle birlikte artmıştır. Küsmen 99'da 100mM'lık uygulamada CAT miktarı azalmış 400'lük uygulamada ise az da olsa artış belirlenmiştir. Çalışma sonuçlarımız Karabal ve ark. (2003) ile uygunluk göstermektedir.

Peroksidazlar sadece üretilen H_2O_2 'in uzaklaştırılmasında değil, aynı zamanda büyüme ve gelişimle ilgili bazı süreçlerde de görev almaktadırlar (Dionisio-Sese and Tobita, 1998). Araştırma sonuçlarımız POX miktarında azalmanın olduğunu belirten (Ermiş, 2002; Demiral, 2003; Seçkin, 2005) çalışmalarla paralellik gösterirken; POX aktivitesinin stres koşullarında genelde arttığını belirten çalışmalarla (Lopez et al., 1996; Renard et al., 1997) farklılık göstermektedir.

Glutasyon redüktaz miktarındaki değişim Gökçe kültür çeşidinde her iki deneme konsantrasyonlarında da kontrole kıyasla artış belirlenmiştir. Küsmen 99 kültür çeşidinde ise 100 mM'lık denemede azalma belirlenirken, 400 mM uygulamasında artış belirlenmiştir. B toksisitesine toleranslı nohutta (*Cicer arietinum* L. Gökçe) GR'de artış, duyarlı nohutta (*Cicer arietinum* L. Küsmen 99) ise GR'de azalma belirlenmiştir. Sonuçlarımız, Karabal ve ark. (2003)'larının arpalar üzerinde yapmış oldukları bir çalışma ile paralellik göstermektedir.

Prolin, bitkilerde meydana gelen stres oluşumuyla birlikte serbest radikalleri süpürücü, su stresini dengeleyen ve proteinlerin kararlılığını sağlayan bir osmolit olarak görev yapmaktadır (Jain et al., 2001). Çalışmamızda Gökçe'de 400 mM uygulamasında prolin miktarında kontrole oranla 3 kattan fazla prolin artışı belirlenirken, Küsmen 99'da 100 mM uygulamasında ise prolin miktarında çok az bir artış belirlenmiştir. Yaptığımız çalışma sonuçları; Rascio ve ark. (1994) ile paralellik göstermektedir.

Bitkilerde meydana gelen stresin sonucunda artan oksidatif stresin diğer önemli göstergesi membran lipidlerinin peroksidasyonudur ve ortamdaki malondialdehit (MDA) miktarına göre tayin edilmektedir (Elstner and Ossiviold, 1984). Gökçe ve Küsmen 99 nohut çeşidlerinde; Küsmen 99'da MDA'da meydana gelen artış Gökçe'den oldukça fazla gerçekleşmiştir. B toksisitesinin yarattığı stresin Küsmen 99'da, Gökçe'ye kıyasla oldukça fazla olduğu belirlenmiştir. Çalışma sonuçlarımız Karabal ve ark. (2003) ile paralellik göstermektedir.

Araştırma bitkilerinde B toksisitesine toleransın genetik çeşitlilikle ilgili olduğu saptanmıştır. Örneğin nohutta (*Cicer arietinum* L.) Gökçe, Menemen 92, İzmir 92 ve yerel çeşitler arasında yapılan B toksisite (Kontrol, 0.1 kg B /da, 0.3 kg B /da, 0.6 kg B /da) tarla denemelerinde, Gökçe kültür çeşidinde en fazla tane veriminin elde edildiği belirlenmiştir (Bayrak ve ark., 2005). Toprakta bor (B) toksisitesine karşı genotipik farklılıkların boyutunun araştırıldığı en önemli familya *Poaceae* familyası üyeleridir. Örneğin 70 makarnalık buğday bor toksisite duyarlılıklarına göre sınıflandırılmışlardır (Torun et al., 2006). En çok B toksisitesi çalışılan bitki arpa çeşitleridir. Bu çalışmalara; Riley ve Robson (1994), Mahboobi ve ark. (2000) bor'a toleranslı arpa kültüvarı Anadolu 83 ile B'a hassas Hamidiye 86 arpa kültür çeşitlerinde; Yau (2002)

24 kışlık arpada; Ermiş (2002) Kral-97, Cumhuriyet-50, Tokak-157/37, Erginel-90 arpa çeşitlerinde; Hayes ve Reid'in (2004) bazı arpa çeşitlerinde yapmış oldukları çalışmaları örnek verebiliriz. Güneş ve ark. (2000) mısır (*Zea mays* L.) çeşitlerinde, Picchioni ve ark. (1991) cevizgiller familyasından 5 kültür çeşitinde toksisite toleranslarını belirlemişlerdir.

Dünyanın farklı bölgelerinde bulunan B bakımından zengin topraklar, B eksikliği görülen topraklardan daha azdır. Bor ülkemizde Orta Anadolu bölgesi gibi topraklarında bor bulunan, kurak ve yarıkurak bölgelerde toksisite etkisini daha fazla göstermekte ve kullanılabilir tarım alanlarının azalmasına sebep olmaktadır.

Nohut bitkisi ülkemizde beslenme alışkanlığımızda önemli bir yere sahiptir. Özellikle protein ihtiyacının giderilmesinde diğer protein kaynakları göz önüne alındığında nohut kullanılabilir belli başlı protein kaynaklarından birisidir (Tokur, 1978 a.; Singh, 1997; Özdemir, 2002; Sepetoğlu, 2006).

Ülkemizde nohudun en geniş olarak yetiştirildiği bölgeler bor elementinin en yaygın bulunduğu Orta Anadolu ve özellikle Batı Anadolu Geçit alanlarıdır (Şehirali, 1988). Çalışmamızda seçtiğimiz Gökçe ve Küsmen 99 kültürleri de bölgede yaygın olarak ekimi yapılan çeşitleridir.

Diğer bitkilerde olduğu gibi nohutta da ekonomik olarak daha sağlıklı ve de daha verimli bir üretim için topraklarda bor'un bitkinin kullanabileceği miktarda olması gerekmektedir. Topraklarında yüksek bor içeren tarım alanlarının bor miktarının azaltılmasında; toprağın düşük seviyede bor içeren sularla sulanması, toprağa kireç, kalsiyum, azot, sülfatça zengin maddelerin ilave edilmesi veya B'a yüksek toleranslı bitkilerin yetiştirilmesi önerilebilir.

Araştırmamızda kurağa dayanıklı (*Cicer arietinum* L. Gökçe) ve kurağa duyarlı (*Cicer arietinum* L. Küsmen 99) iki kültür çeşidi nohut üzerinde; stres yaratacak düzeyde bor elementi uygulanıp fizyolojik ve biyokimyasal etkileri belirlenmiştir. Gökçe ve Küsmen 99 nohut kültür çeşitlerinin üretiminde toksisite sorunu tespit

edilmiştir. Sorunun çözümü için daha önce belirtilmiş olan hususlara dikkat edilmesi daha verimli bir üretimin yapılabilmesi konusunda yararlı olacaktır. Borun toksik olarak bulunabileceği Orta Anadolu bölgesinde, Gökçe nohut çeşidinin ekilmesinin çok daha ekonomik olacağı kanaatini taşımaktayız.

6. KAYNAKLAR DİZİNİ

Acar, O., 1999, Kurağa dayanıklı bazı arpa (*Hordeum* spp.) çeşitlerinde süperoksit dismutaz (SOD) aktivitelerinin araştırılması, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İzmir

Acar, O., Türkan, I., and Özdemir, F., 2001, Superoxide dismutase and peroxidase activities in drought sensitive and resistant barley (*Hordeum vulgare* L.) varieties. *Acta Physiologiae Plantarum*, 23(3): 351-356 p.

Adriano, D. C., 1986, Trace Elements in the Terrestrial Environment Springer-Verlog, New York, 73-79 p.

Anonim, 2000, T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar Genel Müdürlüğü Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Çeşit Kataloğu, Ankara. 31s.

Anonymous, 2002, D.İ.E. tarım İstatistikleri Özeti, T.C. Başbakanlık Devlet İstatistikleri Yayınları, Ankara

Allen, R., 1995, Dissection of oxidative stress tolerance using transgenic plants, *Plant Physiology*, 107, 1049-1054 p.

Asada, K., 1992, Ascorbate peroxidase-a hydrogen scavenging enzyme in plants. *Physiol. Plant.*, 85: 235-241 p.

Asada, K. 1999. The water-water cycle in chloroplasts: Scavenging of active oxygens and dissipation of excess photons. *Ann. Rev-Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 50: 601-639 pp.

Ataşlar, A., Potoğlu, İ. ve Tokur, S., 1995, Eskişehir Hamidiye’de Yayılış gösteren bazı bitkilerde bor değişimi, I. Spil, Fen Bilimleri Kongresi, 4-5 Eylül 1995, Manisa Bildiri Kitabı, 37-41 s.

Aydın, N., 2002, Nohudun Kullanımı ve Leblebi Üretimi. *Hububat*, 503-513 s.

Azkan, N., Yemeklik Tane Bitkileri, , 1999, Uludağ Üniv. Ziraat Fak. Ders Notları No:40

Babaoğlu, M., Gezgin, S., Topal, A., Sade, B. and Dural, H., 2004, *Gypsophila sphaerocephala* Fenzl ex Tchihat.: A Boron hyperaccumulator plant species that may phytoremediate soils with toxic B levels, *Turkish Journal of Botany* 28, 273-278 p.

Bayrak, H., Önder, M. ve Gezgin, S., 2005, Bor uygulamasının nohut (*Cicer arietinum* L.) çeşitlerinde verim ve bazı verim unsurlarına etkiler, S.Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi 19 (35), 66-74 s.

Beauchamp, C. and Fridovich, I., 1971, Superoxide Dismutase: Improved Assays and Applicable to Acrylamide Gels. *Analytical Biochemistry*, 44: 276-287 p.

Bellaloui, N. and Brown, P.H., 1998, Cultivar differences in boron uptake and distribution in celery (*Apium graveolens*), tomato (*Lycopersicon esculentum*) and wheat (*Triticum aestivum*), *Plant and Soil*, 198, 153-158 p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Bellaloui, N., Brown, P.H. and Dandekar, A., 1999, Manipulation of in vivo sorbitol production alters boron uptake and transport in tobacco, *Plant Physiology*, 119, 735-741 p.

Bellaloui N., Yadav R.C., Chern M.S., Hu H., Gillen A. M., Greve C., Dandekar A. M., Ronald P. C. and Brown P.H., 2003, Transgenically enhanced sorbitol synthesis facilitates phloem-boron mobility in rice, *Physiology Plantarum*, 117, 79-84 p.

Bharti, N., Murtuza, M. and Singh, A. P., 2002, Effect of boron-Rhizobium relationship on yield, nitrogen and boron nutrition of chickpea (*Cicer arietinum*). *Journal of Research, Birsa Agricultural University* 14 (2), Ranchi, India, 175-179 p.

Blevins D.G. and Lukaszewski K.,M., 1998, Boron in Structure and Function, *Annual Rev. Plant Physiology Plant Molecular Biology*, 49, 481-500 p.

Bray,E., Bailey-Serres., J. and Weretilnyk. E., 2000, Responses to abiyotik stresses chapter 22. In: *Biochemistry and molecular biology of plants*.B.B.Buchanan ,W.Gruissem and R.L. Jones,(ed.) American Society Plant Physiology Rockrille MD.

Brown P.H. and Hu H., 1998, Boron mobility and consequent management in different crops, *Beter Crops*, Volume 82, 28-34 p.

Brown P. H., Bellaloui N., Wimmer M. A., Bassil E. S., Ruiz J., Hu H., Pfeffer H., Dannel F. and Römheld V., 2002, Boron in Plant Biology, *Plant Biology* 4, 205-223 p.

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 p.

Boşgelmez, A., Boşgelmez, İ.İ., Savaşçı S. and Paşlı N., 2001, *Ekoloji II. Toprak*, Başkent Klîşe Matbaacılık, ISBN: 975-96377-2-3, Ankara, 669-675 p.

Bowler, C., Van Montagu, M., Inze', D., 1992, Superoxide dismutase and stress tolerance. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 43: 83-116 p.

Camacho-Cristobal, J. J., Anzellotti, D., Gonzales-Fontes, A., 2002, Changes in phenolic metabolism of tobacco plants during short-term boron deficiency, *Plant Physiology and Biochemistry*, 40, 997-1002 p.

Carpena R. O., Esteban E., Sarro M. J., Pen alosa J., Garate A., Lucena J. J. and Zornoza P., 2000, Boron and calcium distribution in nitrogen-fixing pea plants, *Plant Science* 151, 163–170 p.

Cartwright, B., Zarcinas, B. A. and Myfield, A. H., 1984, A Description of Land in the Southern Malle of South Australian. *J. Soil. Res.* 22, 261-272 p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Camacho-Cristobal, J.J. and Gonzalez-Fontes A., 1999, Boron deficiency causes a drastic decrease in nitrate content and nitrate reductase activity, and increases the content of carbohydrates in leaves from tobacco plants, *Planta* 209, 528-536 p.

Camacho-Cristobal, J.J., Lunar, L., Lafont, L., Baumert, A. and Gonzalez-Fontes A., 2004, Boron deficiency causes accumulation of chlorogenic acid and caffeoyl polyamine conjugates in tobacco leaves, *Journal of Plant Physiology* 161, 879–881 p.

Clarke H. J. and Siddique K. H. M., 2004, Response of chickpea genotypes to low temperature stress during reproductive development, *Field Crops Research* Vol. 90, Is. 2-3, 323-334 p.

Çakmak, I., Strbac, D., and Marschner, H., 1993, Activities of hydrogen peroxide –scavenging enzymes in germinating wheat seeds. *Journal of Experimental Botany*, 44(258): 127-132 p.

Çakmak, İ., Kurz, H. and Marschner, H., 1995, Short-term effects of boron, germanium and high light intensity on membrane permeability in boron deficient leaves of sunflower. *Physiol. Plant.* 95, 11–18 p.

Çakmak, İ. and Römheld V., 1997, Boron deficiency-induced impairments of cellular functions in plants, *Plant and Soil*, 193, 71–83 p.

Çiçek, A ve Gence, S., 2001, Kırka-Seyitgazi (Eskişehir) yöresinde yetiştirilen tarım ürünleri ve topraktaki bor birikiminin araştırılması, *Ulusal Sanayi-Çevre Sempozyumu ve Sergisi*, 25-27 Nisan 2001, Mersin, Bildiriler Kitabı, 600-608 s.

Dannel, F., Pfeffer H. and Römheld, V., 1997, Effect of Ph and Boron Concentration in the Nutrient Solution on Translocation of Boron in the Xylem of Sunflower, *Kluwer Academic Publisher*, 183-188 p.

Dannel, F., Pfeffer, H. and Römheld, V., 2000, Characterization of root Boron pools, Boron uptake and Boron translocation in Sunflower using stable isotips 10 B and 11B. *J. Plant Physiology* 27, 397-405 p.

Delibıçak, S., 1996, Aydın ili Germencik ovası topraklarının fiziksel, kimyasal ve minetalojik özellikleri üzerine bir araştırma, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir (Yayınlanmamış)*.

Dell, B. and Malajczuk, N., 1994, Boron deficiency in eucalypt plantations in China, *Canadian Journal of Forest Research* 24 (12), 2409-2416 p.

Dell, B. and Huang, L., 1997, Physiological response of plants to low boron, *Plant and Soil*, 193, 103–120 p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Demiral, T., 2003, Genç pirinç fidelerine dışarıdan glisinbetain uygulanmasıyla, tuza (NaCl) toleransının arttırılmasında antioksidant enzim aktivitesinin rolünün araştırılması, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir
- Dordas C. and Brown P.H., 2000, Permeability of Boric acid across lipid bilayers and factors affecting it, *Journal Membran Biology* 175, 95-105 p.
- Dordas, C., Maarten, J., Chrispeels, M. J., and Brown P.H., 2000, Permeability and channel-mediated transport of boric acid across membrane vesicles isolated from squash roots, *Plant Physiology*, 124, 1349-1361 p.
- Ediz N. ve Özday H., 2001, Bor Mineralleri ve Ekonomisi, DPÜ Fen Bilimler Dergisi, Sayı: 2, 133-152 s.
- Edreva, A., 1998, Stress Physiology, Definitions and Concepts of Stress. Classifications of Stress Factors, Approaches Applied in Stres Research, Bitkilerde Stres Fizyolojisinin Moleküler Temelleri Sempozyumu, 22-26 Haziran, Ebiltem, Bornova, İzmir.
- Elstner, E.F., Osswald, W., 1994, Mechanisms of oxygen activation during plant stres *Proc.R. Soc. Edinburg* 102B : 131-154 p.
- El-Hamdaoui, A., Redondo-Nieto, M., Rivilla, R., Bonilla, I., Bolanos, L., 2003, Effects of boron and calcium nutrition on the establishment of the Rhizobium leguminosarum-pea (*Pisum sativum*) symbiosis and nodule development under salt stress, *Plant Cell and Enviroment*, 26, 1003-1011 p.
- El-Shintinawy, F., 1999, Structural and functional damage caused by boron deficiency in sunflower leaves, *Photosynthetica* 36, 565-573 p.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, D.S.İ. Genel Müdürlüğü, 1983, Kırka yöresi Bor Kirliliği Araştırması, İçme Suyu ve Kanalizasyon Dairesi Başkanlığı, Ankara
- Ermiş, İ., 2002, Bazı arpa çeşitlerinin çimlenme yüzdesi ve antioksidant enzim düzeylerine bor stresinin etkisi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir (Yayınlanmamış).
- Fleischer, A., Titel, C. and Ehwald, R., 1998, The boron requirement and cell wall properties of growing and stationary suspension-cultured *Chenopodium album* L. cells, *Plant Physiology*, 117, 1401-1410 p.
- Fridowich, I., 1998, Oxygen toxicity: a radical explanation. *The Journal of Experimental Biology*, 201: 1203-1209 p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Foyer, C. H., Halliwell, B., 1976, Presence of Glutathion and Glutathione Reductase in Chloroplasts: A Proposed Role in Ascorbic acid Metabolism, *Planta* 133, 21-25 p.

Foyer, C. H., Descourvieres, P., Kunert, K.J, 1994. Protection against oxygen radicals: an important defence mechanism studied in transgenic plants, *Plant Cell Environ.* 17: 507-523 p.

Gezgin, S., Dursun, N., Hamurcu, M., Harmankaya, M., Önder, M., Sade, B., Topal, A., Soylu, S., Akgün, N., Yorgancılar, M., Ceyhan, E., Çiftçi, N., Acar, B., Gültekin, İ., Işık, Y., Şeker, C. and Babaoğlu, M., 2002, Determination of B contents of soils in Central Anatolian cultivated lands and its relations between soil and water characteristics. *Boron In Plant and Animal Nutrition*, Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, 391-400 p.

Gezgin, S., Gökmen, F., Dursun, V., Babaoğlu, M. ve Hakkı, E. E., 2005, Tarımda Bor'un önemi, I. Ulusal Bor Çalıştayı Bildiriler Kitabı, 28-29/04/2005, Ankara, 147-154 s.

Gillham, D.J. Dodge, A.D., 1986. Hydrogen-peroxide scavenging systems within pea chloroplasts. *Planta* 1267: 246-251 p.

Goldbach, E. H., Wimmer M. A. and Findeklee P., 2000, Boron-How can the critical level be defined? *Journal of Plant Nutrition*, 163, 115-121 p.

Güneş, A., Alpasalan, M., Özcan, H. ve Çıkkılı Y., 2000 a., Türkiye'de yaygın olarak yetiştirilen mısır (*Zea mays* L.) çeşitlerinin Bor toksisitesine Duyarlılıkları, *Turkish Journal of Agricultural* 24, 277-282 s.

Güneş, A., Alpasalan, M., Özcan, H. ve Çıkkılı Y., 2000 b., The effect of zinc on alleviation of boron toxicity in tomato plants (*Lycopersicon esculentum* L.), *Turkish Journal of Agricultural*, 24, 505–509 p.

Hakkı, E.E., Atalay, E., Babaoğlu M.B., Soylu, S., Durali D. ve Gezgin, S., 2005, Bitkilerde düşük ve yüksek bora toleransta tür içi ve türler arası farklılık, IVX. Ulusal Biyoteknoloji Kongresi 31 Ağustos-02 Eylül 2005, Eskişehir, Bildiri Kitabı, 74-77 p.

Halliwell, B. and Gutteridge J.M.C., 1989, *Free radicals in biology and medicine*. Oxford: Clarendon Pres, 86-123 p.

Hayes, J. E. and Reid, R. J., 2004, Boron tolerance in barley is mediated by efflux of boron from the roots, *Plant Physiology*, 136, 3376-3382 p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Helvacı, C., 2004, Türkiye Borat Yatakları: Jeolojik Konumu, Ekonomik Önemi ve Bor Politikası, 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 13-14/05/2004, İzmir, 11-27 s.

Herzog, V. and Fahimi, H., 1973, *Biochemistry*, 55, 554-562 p.

Hobson, K.B., Seymour, L. R., Armstrong, R.D., Connor, D.J., Brand, J.D. and Materne, M., 2001, Improving the adaptation, profitability and reliability of pulses growing on hostile alkaline subsoils. Department of Crop Production, Institute of Land & Food Resources, The University of Melbourne, Victoria. Proceedings of the 10th Australian Argonomy Conference, Hobarts.

Hu, H., and Brown, P.H., 1994, Localization of boron in cell walls of squash and tobacco and its association with pectin, *Plant Physiology*, 105, 681–89 p.

Hu, H., Brown, P.H. and Labavitch, J.H., 1996, Species variability in boron requirement is correlated with cell wall pectin. *Journal Experiment Botany*, 47, 227–232 p.

Hu, H., and Brown, P.H., 1997, Absorption of Boron by plant roots, *Plant and Soil*, 193, 49-58 p.

Hu, H., Penn, S. G., Lebrilla, C. B. and Brown, P. H., 1997, Isolation and characterization of soluble boron complexes in higher plants, *Plant Physiology*, 113, 649-655 p.

Jain, M., Mathur, G., Koul, S., Sarin, N.B., 2001, Ameliorative effects of proline on salt stres induced lipid peroxidation in cells lines of groundnut. *Plant Cell Rep.*, 20, : 463-468 p.

Kacar, B., 1972, Bitki ve Toprağın Kimyasal Analizleri:II, Bitki Analizleri, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, No:453, Ankara.

Kaneko, S., Tadashi, I., and Matsunaga, T., 1997, A Boron-Rhamnogalacturonan-II complex from Bamboo shoot cell walls, *Phytochemistry*, 44, 243-248 p.

Karabal, E., Yücel, M. and Öktem, H. A., 2003, Antioxidant responses of tolerant and sensitive barley cultivars to boron toxicity, *Plant Science*, 164, 925-933 p.

Kastori, R., Plesnicar, M., Pankovic, D. and Sakac, Z., 1995, Photosynthesis, chlorophyll fluorescence and soluble carbonhydrates in sunflower leaves as affected by boron deficiency, *Journal of Plant Nutrition* 18, 1751-1763 p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Khan, N., Young, K. J. and Gartrell, J. N., Research Officers, 1999, Boron toxicity in barley. Division of Plan Research, Agriculture Western Australia, Farmnote, 85 p.

Kılıç, G., 2005, Batı Geçit Koşullarında Değişik Çinko Uygulamalarının Nohudun Tarımsal Özelliklerine Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü , Eskişehir (Yayınlanmamış).

Kistler, R. B. and Helvacı, C., 1994, Industrial minerals and ro. society of mining, metallurgy and exploration, Inc., 171-184 p.

Kobayashi, M., Matoh, T. and Azuma J., 1996, Two chains of rhamnogalacturonan II are cross-linked by borate-diol ester bonds in higher plant cell walls, *Plant Physiology*, 110, 1017–1020 p.

Kobayashi, M., Ohno, K. and Matoh, T., 1997, Boron nutrition of cultured tobacco BY-2 cells .2. Characterization of the boron-polysaccharide complex, *Plant and Cell Physiology*, 38, 676-683 p.

Kobayashi, M., Mutoh, T. and Matoh, T., 2004, Boron nutrition of cultured tobacco BY-2 cells. IV. Genes induced under low boron supply, *Journal of Experimental Botany* 55, 1441-1443 p.

Koca, H., 2002, Tuz stresinin farklı domates (*Lycopersicon*) genotiplerinde fizyolojik ve biyokimyasal özellikler üzerine etkisi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir

Lazarow, P.B. and Fujiki, Y., 1985. Biogenesis of peroxisomes. *Annu. Rev. Cell Biol.* 1:489-530 p.

Lehto , T., Räisänen M., Lavola A., Riitta Julkunen-Tiitto R. and. Aphalo P. J., 2004, Boron mobility in deciduous forest trees in relation to their polyols, *New Phytologist*, 163, 333–339 p.

Lee, C. W., Choi, J. M. and Pak, C. H., 1996, Micronutrient toxicity seed geranium (*Pelargonium xhantum* Boiley), *Journal of American Society for Horticultural Science*, 121 (1), 7-82 p.

Lopez, F., Vansuyt, G., Casse – Delbart, F., Fourcroy, P., 1996, Ascorbate peroxidase activity not the mRNA level, is enhanced in salt – stressed *Raphanus sativus* plants *Physiologia Plantarum* 97: 13-20 pp

Lukaszewski K.,M. And Blevins D.G., 1996, Root growth inhibition in boron-deficient or aluminium-stressed squash may be a result of impaired ascorbate metabolism. *Plant Physiology*, 112, 1135–1140p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

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 Science*, 157: 113-128 p.

Maesen van der L.J.G., 1972., *Cicer* L. Monograph of the genus, with special reference to the chickpea (*Cicer arietinum* L.), Its ecology and cultivation., Veenman H. and Zonen N.V., Wageningen, Nederland.

Mahalakshmi, U. Yau, P. K., Ryan, J. and Peacock, J. M., 1995, Boron toxicity in barley (*Hordeum vulgare* L.) seedlings in relation to soil temperature., *Plant Soil*, 177 (2), 151-156 p.

Mahboobi, H., Yücel, M. and Öktem H.A., 2000, Changes in total protein profiles of Barley cultivars in response to toxic boron concentration, *Journal of Plant Nutrition*, 23(3), 391-399 p.

Mahboobi, H., Yücel, M. and Öktem H.A., 2001, Cell wall uronic acid concentrations of resistant and sensitive cultivars of wheat and barley under boron toxicity, *Journal of Plant Nutrition*, 24(12), 1965-1973 p.

Matamoros, MA., Dalton, DA., Ramos J., Clemente MR, Rubio MC., 2003, Becana M., Biochemistry and molecular biology of antioxidants in the rhizobia legume symbiosis. *Plant Physiol*, 133: 499-509 p.

Matoh, T., Kawaguchi, S. and Kobayashi M., 1996, Ubiquity of a borate - rhamnogalacturonan II complex in the cell walls of higher plants, *Plant Cell Physiology*, 37, 636-640 p.

Matoh, T., 1997, Boron in plant cell walls, *Plant and Soil*, 193, 59-70 p.

Nable, R. O., Banuelos, G. S. and Paull, G., 1997, Boron toxicity, *Plant and Soil*, 193, 181-197 p.

Nakano, Y. and Asada, K., 1981, Hydrogen Peroxide is Scavenged by Ascorbate-Specific Peroxidase in Spinach Chloroplasts. *Plant and Cell Physiology*. 22 (3), 867- 880 p.

Noctor, G., Foyer, C.H., 1998, Ascorbate and glutathione: Keeping active oxygen under control. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, 49: 249-279 p.

O'Neill, M.A., Ishii, T., Albersheim, P. and Darvill A.G., 2004, Rhamnogalacturonan II: structure and function of a borate crosslinked cell wall pectic polysaccharide, *Annual Review of Plant Biology* 55, 109-139 p.

Online, www.boren.gov.tr

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Ortaca, Ş., 2005, Borun ayçiçeği bitkisinde vejetatif büyüme, pigment, protein miktarı ve protein profili üzerine etkileri, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya (Yayınlanmamış).

Özdemir, S., Yemeklik Baklagiller. 2002, Altan Matbaası, İstanbul. 49-69 s.

Papadakis, I. E., Dimassi, K. N., Bosabalidis, A. M., Therios, I. N., Patakas, A. and Giannakoula, A., 2004 a, Effects of B excess on some physiological parameters of 'Navalina' orange plants grafted on two rootstocks, Environmental and Experimental Botany, 51, 247-257 p.

Papadakis, I. E., Dimassi, K. N., Bosabalidis, A. M., Therios, I. N., Patakas, A. and Giannakoula, A., 2004 b, Boron toxicity in 'Clementine' mandarin plants grafted on two rootstocks, Plant Science ,166, 539–547 p.

Pfeffer, H., Dannel, F. and Römheld, V., 1999, Are there two mechanism for boron uptake in sunflower?, Journal of Plant Physiology, 155, 34-40 p.

Pfeffer, H., Dannel, F. and Römheld, V., 2001, Boron compartmentation in roots of sunflower plants of different boron status a study using the stable isotips 10 B and 11B adopting two independent approaches, Physiology Plant 113, 346-351 p.

Picchioni, G. A., Miyomoto S. and Storey, J. B., 1991, Growth and boron uptake of five pecan cultivar seedlings, HortScience 26 (4), 386-388 p.

Rascio, A., Platani, C., Scalfati, G., Tonti, A. and Fonzo, N., 1994, The accumulation of solutes and water binding strenght in durum wheat. Physiologia Plantarum, 90, 715-721 p.

Renard, M. and Guerrier, G., 1997. Is proline a compatible solute in cali from NaCl - sensitive *Lycopersicon esculentum* and NaCl – tolerant *L.pennellii*? Plant Physiol. Vol. 150. 331-337 pp.

Reid, R. J., Hayes, J. E., Post, A., Stangoulis, J. C. R. and Graham, R. D., 2004, A critical analysis of causes of boron toxicity in plants, Plant, Cell and Enviroment, 25, 1405-1414 p.

Rerkarsem, B. and Jamjod, S., 1997, Boron deficiency induced male sterility in wheat (*Triticum aestivum* L.) and implications for plant breeding, Euphytica 96, 257–262p.

Rerkarsem, B. and Jamjod, S., 2004, Boron deficiency in wheat: a review, Field Crops Research, 89, 173-186 p.

Riley, M.M. and Robson A.D., 1994, Pattern of supply affects boron toxicity in barley, Journal Of Plant Nutrition 17 (10), 1721-1738 p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Rozema, J., De Bruin, J. and Broekman, R. A., 1992, Effects of boron on the growth and mineral economy of some halophytes and non-halophytes, *New Phytology*, 121, 249-256 p.

Sairam, RK., Srivastava, G.C., 2002, Changes in antioxidant activity in subcellular fractions of tolerant and susceptible wheat genotypes in response to long term salt stress. *Plant Science*, 162: 897-904 p.

Sato, Y., Murakami, T., Funatsuki, H., Matsuba, S., Saruyama, H., Tanida, M., 2001, Heat shock-mediated APX gene expression and protection against chilling injury in rice seedlings. *J. Exp. Bot.*, 52(354): 145-151 p.

Schlatter, J. E. and Gerding, V., 1985, Boron deficiency in *Pinus radiata* plantations in Chile, *Bosque* 6 (1), 32-43 p.

Seçkin, B., 2005, Mannitolün tuz stresine maruz bırakılan buğday fidelerinin antioksidant enzim düzeyleri üzerindeki etkilerinin araştırılması, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir (Yayınlanmamış).

Sepetoğlu, H., 2006, Tarla Bitkileri I., Ege Üniv. Ziraat Fak. Yayınları No: 569, Ege Üniv. Basımevi Yayınları, 79-107 s.

Shelp, B. J. and Brown P.H., 1997, Boron mobility, *Plant and Soil*, 193, 85-101 p.

Shorrocks, V. M., 1997, The occurrence and correction of boron deficiency, *Plant and Soil*, 193, 121-148 p.

Singh, K.B., 1997, Chickpea (*Cicer arietinum* L.), *Field Crop Research*, 53, 161-170 p.

Smith I. K., Vierheller T. L. and Thorne C. A., 1989, Properties and functions of glutathione reductase in plants. *Physiol. Plant.*, 77: 449-456.

Sotiropoulos, T. E., Therios, I. N. and Dimassi, K. N., 1999, Calcium application as a means to improve tolerance of kiwifruit (*Actinidia deliciosa* L.) to boron toxicity, *Scientia Horticulturae*, 81, 443-449 p.

Sotiropoulos, T. E., Therios, I. N., Dimassi, K. N., Bosabalidis, A. and Kofidis, G., 2002, Nutritional status, growth, CO₂ assimilation and leaf anatomical responses in two kiwifruit species under boron toxicity, *Journal of Plant Nutrition*, 25, 1249-1261p.

Sotiropoulos, T. E., Therios, I. N. and Dimassi, K. N., 2003, boron toxicity in kiwifruit (*Actinidia deliciosa* L.), treated with nitrate, ammonium, and a mixture of both, *Journal of Plant Nutrition, Soil Science*, 166, 529-532 p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Stangoulis, J.C.R, Reid, R.J., Brown, P.H. and Graham R. D., 2001, Kinetic analysis of Boron transport in Chara. *Planta* 213, 142-146 p.

Stavrianakou, S., Liakopoulos, G. and Karabourniotis, G., 2006, Boron deficiency effects on growth, photosynthesis and relative concentrations of phenolics of *Dittrichia viscosa* (Asteraceae), *Environmental and Experimental Botany*, 56, 293–300 p.

Stone, E. L., 1994, Boron deficiency and excess in forest trees, *Forest Ecology and Management* 37 (1-3), 49-75 p.

Şehirli, S., 1988, Yemelik Dane Baklagilleri, Ankara Ün., Ziraat Fak., Yayınları: 1089, Ders Kitabı No:314, 337-387 s.,

Torun, A. A., Yazıcı, A., Erdem, H. and Çakmak, İ., 2006, Genotypic variation in tolerance to Boron toxicity in 70 Durum wheat genotypes, *Turkish Journal of Agricultural* 30, 49-58 p.

Tokur, S. and Zeybek, N., 1976, *Cicer arietinum* L. subsp. *pisiforme* Pop. var. *eborinum* Pop. et Pavl Üzerinde Araştırma, *Bitki*, III (1): 12-24 s.

Tokur, S., 1978 a., Bazı *Cicer arietinum* L. (Nohut) türleri üzerinde taksonomik ve morfolojik araştırmalar, Ege Ün., Fen Fakültesi, Sistematik Botanik Kürsüsü, Doktora Tezi, Bornova, İzmir.

Tokur, S and Sheikh, K., 1978 b., Seed germination, Root nodulation and Growth of chickpea (*Cicer arietinum* L. subsp. *arieticeps*) at Different Levels of Soil pH. *Biologia*, 24(2): 399-407 p.

Tokur, S., 1979 a., *Cicer arietinum* L. (Nohut)'un Morfolojik ve Taksonomik Özellikleri, E.Ü. Fen Fakültesi Dergisi Seri B, Sayı 1-4, 161-176 s.

Tokur, S. 1979 b., Bazı *Cicer* L. (Nohut) Türleri Üzerinde Polen Verimliliği ve Karyolojik Çalışmalar. E.Ü. Fen Fakültesi Dergisi, Seri B, Sayı 1-4, 177-189 s.

Tokur, S., 1980, Bazı *Cicer* L. (Nohut) Türleri Üzerinde Biyometrik Çalışmalar, Tübitak VII. Bilim Kongresi, Biyoloji Seksiyonu, 737-748 s.

Türkan İ, Demiral T., 2004, Does exogenous glycinebetaine affect antioxidative system of rice seedlings under NaCl treatment? *Journal of Plant Physiology* 161, 1089–1100 p.

Türe, C. and Bell, R. W., 2004, Plant distribution and its relationship to extractable boron in naturally-occurring high boron soil in Turkey, *Israel Journal of Plant Sciences*, 52, 125-132 p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Uygan, D. ve Çetin, Ö., 2004, Bor'un tarımsal ve çevresel etkileri: Seydisuyu su toplama havzası, II. Uluslararası Bor Sempozyumu, 23-25 Eylül 2004, Eskişehir, Bildiriler kitabı, 527-540 s.

White, J.B. and Krause, H.H., 2001, Short-term boron deficiency in black spruce (*Picea mariana* Mill. B.S.P.) plantation, *Forest Ecology and Management* 152, 323-330 p.

Wilkinson, R.E., 1994, *Plant-Environment Interactions*. Marcel Dekker, Inc., NewYork, 599 p.

Wimmer, M. A., Mühling, K. H., . Läuchli, A., Brown, P. H. and Goldbach, H. E., 2003, The interaction between salinity and boron toxicity affects the subcellular distribution of ions and proteins in wheat leaves, *Plant, Cell and Environment* 26, 1267–1274 p.

Yadav, H. D., Yadav, O. P., Dahankar, O. P. and Oswal, U., 1989, Effect of chlonide salinity and boron on germination mineral composition of chickpea. (*Cicer arietinum* L.) *Arial Zone*, 28 (1-2), 63-67 p.

Yaşaroğlu, N., 1991, Simav çayı sularıyla sulanan alivial topraklarda borun mikrobiyolojik ve bazı kimyasal olaylar üzerine etkisi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir (Yayınlanmamış).

Yau, S. K., 1993, Interactions of boron-toxicity, drought, and genotypes on barley root growth, yield, and other agronomic characters, *Australian Journal of Agricultural Research*, 53(3), 347-354 p.

Yau, S. K., Kalaycı, M., Avcı, M. and Beniwal, S. P. S., 1999, Importance of and Genotypic Variation for Boron Toxicity Tolerance in Barley in the Central Anatolian Plateau.

Yau, S. K., 2002, Comparison of European with West Asian and North African winter barleys in tolerance to boron toxicity, *Euphytica*, 123, 307–314 p.

Ye, Z., Longbin Huang, L., Bellb, R. W. and Dellb B., 2003, Low root zone temperature favours shoot B partitioning into young leaves of oilseed rape (*Brassica napus*) *Physiologia Plantarum* 118, 213–220 p.

Yorgancılar M. ve Babaoğlu M., 2005, Buğday çeşitlerinde borun çimlenme üzerine etkisinin in vitro ve saksı şartlarında araştırılması, S.Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi 19 (35), 109-114 s.

Yu, C. L., Luo, S. G., Peng X. L., and Liu Y.Y., 2006, Effects of Boron, Zinc, and Iron on the Gentiopicroside Content and yield of Gentian, *Pedosphere* 16(2), 210-214 p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Zhao, D. and Oosterhuis, D. M., 2002, Cotton carbon exchange, nonstructural carbohydrates, and boron distribution in tissues during development of boron deficiency, Field Crops Research, 78, 75-87 p.

Zhukovsky, P., 1951. Türkiye'nin Ziraî Bünyesi, Türkiye Şeker Fab. A.Ş. Yayınları No:20, İstanbul, 384-399s,

ÖZGEÇMİŞ

1973 yılında Eskişehir’de doğan Murat ARDIÇ, ilk öğrenimine Eskişehir Merkez Çamlıca İlkokulunda, orta öğrenimini Osmangazi Ortaokulunda, lise öğrenimini Ahmet Kanatlı Lisesi’nde tamamladı. 1991 yılında Anadolu Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümüne başladı ve 1995 yılında Osmangazi Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümünden mezun oldu. 1995 yılında Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Botanik Bilim Dalında Prof. Dr. Süleyman TOKUR danışmanlığında yüksek lisans öğrenimine başladı. 1998 yılında ‘*Eskişehir Hekimdağ (Bozdağ) Florası*’ konulu yüksek lisans tezini tamamlamıştır.

Ağustos 1998 yılında Osmangazi Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak Akademik hayatına başlayan Murat ARDIÇ halen, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü Botanik Anabilim Dalı’nda görevine devam etmektedir.

Evli ve iki çocuk babasıdır.