ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BUĞDAYDA BOR TOKSİSİTESİ İLE KALSİYUM ARASINDAKİ ETKİLEŞİMİN BÜYÜME VE ÇÖZÜNÜR KARBONHİDRATLAR İLE İLİŞKİSİNİN İNCELENMESİ

Yeşim KAPTANBAŞ

BİYOLOJİ ANABİLİM DALI

ANKARA
2019

Her hakkı saklıdır

TEZ ONAYI

Yeşim KAPTANBAŞ tarafından hazırlanan **"Buğdayda Bor Toksisitesi ile Kalsiyum Arasındaki Etkileşimin Büyüme ve Çözünür Karbonhidratlar ile İlişkisinin İncelenmesi"** adlı tez çalışması 28.03.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Esra Koç
Ankara Üniversitesi Biyoloji Anabilim Dalı

Jüri Üyeleri :

Başkan : Prof. Dr. A. Sülün ÜSTÜN
Ankara Üniversitesi Biyoloji Anabilim Dalı

Üye : Doç. Dr. Esra KOÇ
Ankara Üniversitesi Biyoloji Anabilim Dalı

Üye : Dr. Öğretim Üyesi Cahit DOĞAN
Hacettepe Üniversitesi Biyoloji Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Atila Yetişemiyen

Enstitü Müdürü

ETİK

Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

28.03.2019

Yeşim KAPTANBAŞ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BUĞDAYDA BOR TOKSİSİTESİ İLE KALSİYUM ARASINDAKİ ETKİLEŞİMİN BÜYÜME VE ÇÖZÜNÜR KARBONHİDRATLAR İLE İLİŞKİSİNİN İNCELENMESİ

Yeşim KAPTANBAŞ

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Biyoloji Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Esra KOÇ

Bu araştırmada bor (B) toksisitesine karşı duyarlı olduğu bilinen makarnalık buğday (*Triticum durum* Desf. cv Kızıltan-91) ve B toksisitesine karşı toleranslı olduğu bilinen ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L. cv Gün-91) fidelerinde, toksik seviyedeki bor (B) elementine antogonistik etki gösteren kalsiyumun (Ca) farklı konsantrasyonlarının büyüme ve çözünür karbonhidrat miktarı üzerindeki etkileri açıklanmaya çalışılmıştır.

Tek başına tüm B konsantrasyonları Kızıltan-91 çeşidinde kök boyunda artışa, Gün-91 çeşidinde ise azalmaya neden olmuştur. Ayrıca, yüksek konsantrasyondaki B uygulamalarının sürgün boyunu, sürgün taze ve kuru ağırlığını azalttığı tespit edilmiştir. B ve Ca'un birlikte yapılan uygulamaları sürgün boyunda genel olarak artışa neden olmuş ve Ca uygulaması yüksek konsantrasyonlardaki B'un toksik etkisini azaltmıştır. 45 ppm B uygulaması ile her iki çeşitte oransal su içeriği ve fruktoz miktarı azalmasına karşın, Ca ilavesi hem fruktoz hem de oransal su içeriğinde artışa neden olmuştur. B ve Ca'un eş zamanlı yapılan uygulamalarında, maksimum glukoz içerikleri 30 ppm B + 120 ppm Ca ile Gün-91, 15 ppm B + 120 ppm Ca uygulamasında yetiştirilen Kızıltan-91 çeşidinde saptanmıştır. En fazla fruktoz miktarları ise 30 ppm B + 120 ppm Ca uygulamasında yetiştirilen Gün-91 fidelerinde ve 30 ppm B + 120 ppm Ca uygulamasında yetiştirilen Kızıltan-91 fidelerinde tespit edilmiştir. Sonuçlar, uygun konsantrasyonlarda Ca uygulamasının B toksisitesini azaltmak için etkili bir yöntem olabileceğini göstermiştir.

Mart 2019, 73 sayfa

Anahtar Kelimeler: Bor toksisitesi, buğday, çözünür karbonhidrat, kalsiyum

ABSTRACT

Master Thesis

INVESTIGATION OF RELATIONSHIP WITH GROWTH AND SOLUBLE CARBOHYDRATES OF BORON TOXICITY AND CALCIUM INTERACTION IN WHEAT

Yeşim KAPTANBAŞ

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Biology

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Esra KOÇ

In this study, the effect of different concentrations of calcium (Ca), which shows antagonistic effect to boron (B), on the seedling lenght, relative water content, amount of percent dry matter, and soluble carbohydrates in the seedlings of *Triticum durum* Desf. cv Kızıltan-91 that are tolerant and *Triticum aestivum* L. cv Gün-91 that are sensitive to B toxicity are investigated.

All B concentrations alone resulted in an increase in root length in Kızıltan-91 and decrease in Gün-91 cultivar. In addition, it was determined that high concentrations of B treatments reduced the length of shoot and the fresh weight of shoot. The combined treatment of B and Ca caused in a general increase in the length of the shoot and Ca treatment decreased the toxic effect of B in high concentrations. Although the relative water content and fructose content decreased in both cultivars with the application of 45 ppm B, the addition of Ca resulted in an increase in both fructose and relative water content. In treatments of B + Ca, maximum glucose contents were found in the 30 ppm B + 120 treatment in Gün-91 cultivar, in the 15 ppm B + 120 ppm Ca treatment in Kızıltan-91 cultivar and the highest increases in fructose content were determined 30 ppm B + 120 ppm Ca treatments in Gün-91 seedlings and in the 30 ppm B + 120 ppm Ca treatments in Kızıltan-91 seedlings. The results showed that Ca application at appropriate concentrations could be an effective management to reduce the toxicity of B.

March 2019, 73 pages

Key Words: Boron toxicity, wheat, soluble carbonhydrate, calcium

TEŞEKKÜR

Çalışmalarımı yönlendiren, araştırmalarımın her aşamasında bilgi, öneri ve yardımlarını esirgemeyen, motivasyonumun düştüğü anlarda desteğini her zaman yanımda hissettiğim danışman hocam Doç. Dr. Esra KOÇ'a (Ankara Üniversitesi Biyoloji Anabilim Dalı) ; tez çalışmam sırasında birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösterici olan ve her zaman sabır gösteren kıymetli hocam Prof. Dr. Işıl ÖNCEL'e (Ankara Üniversitesi Biyoloji Anabilim Dalı); Ziraat Fakültesi'nde yaptığım çalışmalarda sera ve laboratuvarda çalışma imkanı sağlayan, çalışmam boyunca verdiği değerli bilgiler ve hoşgörüsü için Sayın Prof. Dr. Rıfat YALÇIN'a (Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi), istatistiksel analizlerimin hazırlanmasında bilgi ve yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Rabia ALBAYRAK'a (Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi), lisans ve yüksek lisans sürecimde yanımda olan ve desteklerini esirgemeyen Gaye SERPEN, Melih KOÇ, Ersin ALTUNKAYNAK, Göknur KARACA'ya en içten teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımda aldığım her kararda yanımda olan annem Ayşe KAPTANBAŞ'a, ablalarım Yasemin KAPTANBAŞ ve Esin KAPTANBAŞ GÜRBÜZ'e, bizleri çok uzaklardan izlediğine inandığım babama; umutsuzluğa kapıldığım her anda beni tekrar ayağa kaldıran sevgili Ömer DEMİRKANLI'ya sonsuz teşekkürler…

Yeşim KAPTANBAŞ

Ankara, Mart 2019

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI
ETİK i
ÖZET ii
ABSTRACT iii
TEŞEKKÜR iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ vii
ŞEKİLLER DİZİNİ viii
ÇİZELGELER DİZİNİ ix
1. GİRİŞ 1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ÖZETLERİ 5
3. MATERYAL VE YÖNTEM 19
3.1 Bitkisel Materyal 19
3.2 Bitkilerin Yetiştirilmesi 19
3.3 Bitki Büyüme Ölçümleri 22
3.4 Oransal Su İçeriği 22
3.5 Çözünür Karbonhidrat Analizi 22
3.5.1 Glukoz tayini 22
3.5.2 Fruktoz tayini 23
3.6 İstatistiksel Analiz 23
4. ARAŞTIRMA BULGULARI 24
4.1 B, Ca ve B+Ca Uygulamalarının Buğday (*Triticum aestivum* L. cv. Gün-91, *Triticum durum* Desf. cv. Kızıltan-91) Fidelerinde Kök Boyuna Etkisi 24
4.2 B, Ca ve B+ Ca Uygulamalarının Buğday (*Triticum aestivum* L. cv. Gün-91, *Triticum durum* Desf. cv. Kızıltan-91) Fidelerinde Sürgün Boyuna Etkisi 25
4.3 B, Ca ve B+Ca Uygulamalarının Buğday (*Triticum aestivum* L. cv. Gün-91, *Triticum durum* Desf. cv. Kızıltan-91) Fidelerinde Kök Taze Ağırlığına Etkisi 27
4.4 B, Ca ve B+Ca Uygulamalarının Buğday (*Triticum aestivum* L. cv. Gün-91, *Triticum durum* Desf. cv. Kızıltan-91) Fidelerinde Sürgün Taze Ağırlığına Etkisi 29
4.5 B, Ca ve B+Ca Uygulamalarının Buğday (*Triticum aestivum* L. cv. Gün-91, *Triticum durum* Desf. cv. Kızıltan-91) Fidelerinde Kök Kuru Ağırlığına Etkisi 31
4.6 B, Ca ve B+Ca Uygulamalarının Buğday (*Triticum aestivum* L. cv. Gün-91, *Triticum durum* Desf. cv. Kızıltan-91) Fidelerinde Sürgün Kuru Ağırlığına Etkisi 33
4.7 B, Ca ve B + Ca Uygulamalarının Buğday (*Triticum aestivum* L. cv. Gün-91, *Triticum durum* Desf. cv. Kızıltan-91) Fidelerinde Oransal Su İçeriğine (OSİ) Etkisi 34
4.8 B, Ca ve B+Ca Uygulamalarının Buğday (*Triticum aestivum* L. cv. Gün-91, *Triticum durum* Desf. cv. Kızıltan-91) Fidelerinde Glukoz Miktarına Etkisi 36
4.9 B, Ca ve B+Ca Uygulamalarının Buğday (*Triticum aestivum* L. cv. Gün-91, *Triticum durum* Desf. cv. Kızıltan-91) Fidelerinde Fruktoz Miktarına Etkisi 38
5. TARTIŞMA VE SONUÇ 40

KAYNAKLAR **51**
EKLER **63**
EK 1 Farklı B (0, 15, 30, 45 ppm) ve Ca (0, 40, 80, 10 ppm) konsantrasyonlarında yetiştirilen makarnalık buğday (*Triticum durum* Desf. cv Kızıltan-91) ve ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L. cv Gün-91) fidelerinin kök boyu ile ilgili varyans analizi sonuçları **64**
EK 2 Farklı B (0, 15, 30, 45 ppm) ve Ca (0, 40, 80, 10 ppm) konsantrasyonlarında yetiştirilen makarnalık buğday (*Triticum durum* Desf. cv Kızıltan-91) ve ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L. cv Gün-91) fidelerinin sürgün boyu ile ilgili varyans analizi sonuçları **65**
EK 3 Farklı B (0, 15, 30, 45 ppm) ve Ca (0, 40, 80, 10 ppm) konsantrasyonlarında yetiştirilen makarnalık buğday (*Triticum durum* Desf. cv Kızıltan-91) ve ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L. cv Gün-91) fidelerinin kök taze ağırlık ile ilgili varyans analizi sonuçları **66**
EK 4 Farklı B (0, 15, 30, 45 ppm) ve Ca (0, 40, 80, 10 ppm) konsantrasyonlarında yetiştirilen makarnalık buğday (*Triticum durum* Desf. cv Kızıltan-91) ve ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L. cv Gün-91) fidelerinin sürgün taze ağırlık ile ilgili varyans analizi sonuçları **67**
EK 5 Farklı B (0, 15, 30, 45 ppm) ve Ca (0, 40, 80, 10 ppm) konsantrasyonlarında yetiştirilen makarnalık buğday (*Triticum durum* Desf. cv Kızıltan-91) ve ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L. cv Gün-91) fidelerinin kök kuru ağırlık ile ilgili varyans analizi sonuçları **68**
EK 6 Farklı B (0, 15, 30, 45 ppm) ve Ca (0, 40, 80, 10 ppm) konsantrasyonlarında yetiştirilen makarnalık buğday (*Triticum durum* Desf. cv Kızıltan-91) ve ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L. cv Gün-91 fidelerinin sürgün kuru ağırlık ile ilgili varyans analizi sonuçları **69**
EK 7 Farklı B (0, 15, 30, 45 ppm) ve Ca (0, 40, 80, 10 ppm) konsantrasyonlarında yetiştirilen makarnalık buğday (*Triticum durum* Desf. cv Kızıltan-91) ve ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L. cv Gün-91) fidelerinin oransal su içeriği ile ilgili varyans analizi sonuçları **70**
EK 8 Farklı B (0, 15, 30, 45 ppm) ve Ca (0, 40, 80, 10 ppm) konsantrasyonlarında yetiştirilen makarnalık buğday (*Triticum durum* Desf. cv Kızıltan-91) ve ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L. cv Gün-91) fidelerinin glukoz miktarı ile ilgili varyans analizi sonuçları **71**
EK 9 Farklı B (0, 15, 30, 45 ppm) ve Ca (0, 40, 80, 10 ppm) konsantrasyonlarında yetiştirilen makarnalık buğday (*Triticum durum* Desf. cv Kızıltan-91) ve ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L. cv Gün-91) fidelerinin fruktoz miktarı ile ilgili varyans analizi sonuçları **72**
ÖZGEÇMİŞ **73**

SİMGELER DİZİNİ

ABA	Absisik asit
ATP	Adenozin tri fosfat
B	Bor
$B(OH)_4^-$	Borat anyonu
Ca	Kalsiyum
$CaNO_3$	Kalsiyum nitrat
InSP	İnositol fosfat
H_3BO_3	Borik asit
LEA	Geç embriyogenez protein
N	Azot
NADH	Nikotinamid adenin dinükleotit
NADPH	Nikotinamid adenin dinükleotit fosfat
NH_4NO_3	Amonyum nitrat
OSİ	Oransal su içeriği
ROS	Reaktif Oksijen Türevleri
TA	Taze ağırlık
TuA	Turgorlu ağırlık
NIP	İntrinsik protein
PIP	Plazma zarı intrinsik proteinler
TIP	Tonoplast intrinsik proteinler

Kısaltmalar

FAO	Dünya Tarım Örgütü
TARM	Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Fizyolojik ve moleküler bor hedefleri 6

Şekil 2.2 Bitkilerde stres cevap yolu 13

Şekil 2.3 Ca^{+2} ile düzenlenen gen ekspresyon yolu ve stres cevabı 14

Şekil 3.1 *Triticum durum* Desf. cv Kızıltan-91 fideleri 21

Şekil 3.2 *Triticum aestivum* L. cv Gün-91 fideleri 21

Şekil 4.1 Farklı B, Ca ve B + Ca konsantrayonlarında yetiştirilen buğday (*Triticum aestivum* L. cv. Gün-91, *Triticum durum* Desf. cv. Kızıltan-91) fidelerindeki kök boylarının değişimi (n=10) 25

Şekil 4.2 Farklı B, Ca ve B + Ca konsantrayonlarında yetiştirilen buğday (*Triticum aestivum* L. cv. Gün-91, *Triticum durum* Desf. cv. Kızıltan-91) fidelerindeki sürgün boylarının değişimi (n=10) 26

Şekil 4.3 Farklı B, Ca ve B + Ca konsantrayonlarında yetiştirilen buğday (*Triticum aestivum* L. cv. Gün-91, *Triticum durum* Desf. cv. Kızıltan-91) fidelerindeki kök taze ağırlıklarının değişimi (n=10) 28

Şekil 4.4 Farklı B, Ca ve B + Ca konsantrayonlarında yetiştirilen buğday (*Triticum aestivum* L. cv. Gün-91, *Triticum durum* Desf. cv. Kızıltan-91) fidelerindeki sürgün taze ağırlıklarının değişimi (n=10) 30

Şekil 4.5 Farklı B, Ca ve B + Ca konsantrayonlarında yetiştirilen buğday (*Triticum aestivum* L. cv. Gün-91, *Triticum durum* Desf. cv. Kızıltan-91) fidelerindeki kök kuru ağırlıklarının değişimi (n=10) 32

Şekil 4.6 Farklı B, Ca ve B + Ca konsantrayonlarında yetiştirilen buğday (*Triticum aestivum* L. cv. Gün-91, *Triticum durum* Desf. cv. Kızıltan-91) fidelerindeki sürgün kuru ağırlıklarının değişimi (n=10) 34

Şekil 4.7 Farklı B, Ca ve B + Ca konsantrayonlarında yetiştirilen buğday (*Triticum aestivum* L. cv. Gün-91, *Triticum durum* Desf. cv. Kızıltan-91) fidelerindeki oransal su içeriklerinin değişimi (n=10) 35

Şekil 4.8 Farklı B, Ca ve B + Ca konsantrayonlarında yetiştirilen buğday (*Triticum aestivum* L. cv. Gün-91, *Triticum durum* Desf. cv. Kızıltan-91) fidelerindeki glukoz miktarının değişimi (n=3) 37

Şekil 4.9 Farklı B, Ca ve B + Ca konsantrayonlarında yetiştirilen buğday (*Triticum aestivum* L. cv. Gün-91, *Triticum durum* Desf. cv. Kızıltan-91) fidelerindeki fruktoz miktarının değişimi (n=3) 39

ÇİZELGE DİZİN

Çizelge 3.1 Bitkilere yapılan uygulamalar ve deney planı 20

1. GİRİŞ

Bitkilerde stres faktörlerinin en önemlilerinden biri olan besin elementlerinin eksikliği veya toksisitesi metabolizmanın işlevini engellemekte ve bitkilerde hasarlara neden olabilmektedir (Başalp vd. 2011). Bitkiler diğer streslerde olduğu gibi B ile baş edebilmek için de çeşitli biyokimyasal ve moleküler mekanizmalar geliştirmişlerdir (Seçkin 2005).

Bor'un (B) bitki büyümesi için temel bir mikro besin maddesi olduğu uzun süredir bilinmektedir (Warington 1923), fakat tarla bitkileri için yaygın önemi ise son zamanlarda kabul edilmiştir. B hücre duvarı güçlendirilmesine ve gelişimine katkıda bulunurken, hücre uzaması ve hücre bölünmesi, protein metabolizması, doku farklılaşması, membran geçirgenliği, polen çimlenmesi ve polen tüpü büyümesi, meyve ve tohum gelişimi, şeker sentezi ve taşınımı ve hormon gelişimi için kritik öneme sahip yüksek bitkilerin büyümesi ve metabolizması için gerekli olan bir elementtir (Camacho- Cristobal vd. 2008). B kök fonksiyonunda önemli bir rol oynar ve düşük B seviyeleri, bitkinin topraktan su ve besinleri alma kabiliyetini azaltır, bu da genellikle kalsiyum (Ca) eksikliğine neden olur (Tariq ve Mote 2007).

Bitkinin gelişmesi ve büyümesi için gerekli minerallerden biri olan kalsiyum, bitkilerde çoğu fizyolojik ve biyokimyasal süreçte önemli bir unsurdur. B'la benzer fonksiyonlara sahip olan Ca, seçiçi iyon alımı, hücre duvarı (Endho vd. 1971, Bangerth 1979), hücre uzaması, hücre bölünmesi (Burstrom 1968), polen çimlenmesi ve polen tüplerinin büyümesi, membran geçirgenliği ve stabilitesi için gerekli olan (Brewbaker ve Kwack 1963) önemli bir elementtir. Ca, bitki hücre duvarının önemli bir parçasıdır ve yeni hücre oluşumu için gereklidir. Bakteriyel ve viral hastalıklara direnci arttırır (Usten vd. 2006) ve yaprak ve kök gelişimini düzenleyen çeşitli enzim sistemlerini aktive eder (Mengel ve Kirkby 2001).

Ca ve B kombinasyonu, polenlerin çimlenmesi ve polen tüpünün uzaması için gereklidir (Krichevsky vd. 2007), kısır çiçek oluşumunu önleyerek başarılı bir döllenme veya tozlaşma sağlamaya yardımcı olur. Bununla birlikte, Ca ve B uygulamasının yararlı

etkisi, bitkilerdeki Ca ve B seviyeleri arasındaki dengeye bağlıdır. Tariq ve Mote (2007)' e göre, düşük Ca ve yüksek B, bitki büyümesine ve verimine zarar verebilir. Sürekli ekim ve otlatma, toprak erozyonu, değişebilir bazların sızması, toprak organik maddesinin azaltılması, alüminyum ve demir oksitlerin absorpsiyonu gibi nedenlerle yıpranmış topraklarda kalsiyum ve bor eksikliği oluşabilir (Steiner 2013).

B bitkide immobildir, dolayısıyla hareketi sınırlıdır. Bitkiler tarafından B alınmasının ve farklı organlara taşınmasının bitkinin su alımı ve ksilemdeki hareketi ile yakından ilişkili olduğu ve ayrıca bu taşınmanın bitki türleri arasında büyük farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir. Bu durum B'un esas itibariyle ksilemde taşındığını göstermektedir. Yaprak uçlarında ve kenarlarında B birikiminin başlıca nedeni B'un transpirasyonla taşınması olarak gösterilmektedir. B'un yapraklarda bu şekilde birikimi bazı durumlarda toksik etkilere neden olabilmektedir. Bazı bitkiler B birikiminin neden olacağı bu toksik etkileri azaltmak için B'u gutasyon ile dışarı atmaya çalışmaktadır. Bitkilerin ihtiyaç duydukları B miktarı oldukça azdır. B'un gerek duyulandan fazla olması, B eksikliğinde olduğu gibi bitkinin gelişmesi üzerine olumsuz etkilere neden olmakta ve çoğu zamanda gelişimini durdurmaktadır (Taban ve Erdal 2000). Aşırı B bitkilerde fotosentez, kök hücre bölünmesi, sürgün hücre duvarının genişlemesi gibi çoğu gelişimsel ve biyokimyasal yolların üzerinde olumsuz etkilere ve reaktif oksijen türlerinin artışı ile de oksidatif hasara neden olmaktadır (Cervilla vd. 2007, Han vd. 2009). B toksisitesi ayrıca kahverengi yaprak uçları, kloroz, nekrotik lekeler ve sonunda mahsul veriminde önemli bir azalma ile sonuçlanan depresif vejetatif büyümeye neden olmaktadır (Punchana vd. 2004).

B'un vasküler bitkilerin optimum büyümesi için temel bir mikro besin maddesi olarak görev yaptığı belirlenmiştir. Bununla birlikte, B kirliliği hem ekosistemleri hem de insan faaliyetlerini etkileyen ciddi bir çevresel problemdir. Sulama, kuru bölgesel iklim, aşırı gübreleme, endüstriyel atık su ve madencilik gibi sebepler toprak yüzeyinde ve derin zeminlerde bor birikimine neden olmaktadır. Hem sulama hem de kuru bölgesel çevre toprakta tuz birikimini sağlayarak; yetersiz su nedeniyle borun toksik seviyeye yükselmesine neden olmaktadır. Buna ek olarak, B bakımından zengin toprakların oluşma sebepleri arasında yüksek düzeyde B içeren su ile sulama yer almaktadır (Parks

ve Edwards 2005). Bu faktörlerin neden olduğu bor kirliliği vejetatif kaliteyi düşürmekte ve insanlara sağlanan ürün miktarını azaltmaktadır. Toprakta veya yeraltı suyunda izin verilen sınırın üstünde B mevcut olduğunda, bitki büyümesi ve üremesi etkilenmekte ve tüm dünyada mahsul verimini sınırlamaktadır. B toksisitesi dünyada düşük yağış nedeniyle alkali ve tuzlu topraklara sahip olan Avustralya, Kuzey Afrika, Türkiye ve Batı Asya'nın tarımsal alanlarında yaygın olarak görülmektedir (Reid vd. 2004) . Dünyanın en büyük B üreticileri olan ABD ve Türkiye aynı zamanda en çok B kirlenme sorunu yaşayan ülkelerdir (Lyday 2000).

Tahıllar, B'a karşı duyarlı bitkilerdir (Eaton 1944). Buğday 2 µg/g'a kadar B'u tolere etmekte ve bu konsantrasyon üzerinde ise olumsuz yönde etkilenmektedir (Gupta vd. 1985). Dünyada genelde kurak ve yarı kurak bölge topraklarında B toksitesi yaygın olarak görülmektedir. Ülkemizde ise Orta Anadolu Bölgesi topraklarında B içeriğinin yüksek olması (Anonymous 1982) bu bölgede yetiştirilen buğdaylarda B toksitesinin görülebileceğini ortaya koymaktadır. Akar (2007), santrallerden nehirlere tahliye edilen ve fazla bor içeren (25-30 mg/L) atık suyun, Türkiye'de narenciye ağaçlarının da mahsul üretimini azalttığını bildirmiştir.

Buğday bitkisi günlük beslenmenin en önemli bölümünü oluşturur. Bu nedenle birçok bilim insanı, dünyadaki buğdayın büyüme özellikleri ve teknikleri üzerinde çalışma eğilimindedir. Tahılların genellikle orta ila yüksek B seviyelerine duyarlı olduğu düşünülmektedir (Eaton 1944). Yüksek değerler sıklıkla kloroz, nekroz ve buğday bitkilerinin veriminde azalma gibi toksisite semptomlarına neden olabilir.

Tarımsal önemine rağmen, B toksisitesine ilişkin bilgi ve anlayışımız oldukça sınırlıdır. Son yıllarda kurak ve yarı kurak bölge, buğday tarım alanlarında B toksitesinin sıkca görülmesi sonucu, B toksitesine dayanıklı çeşitlerin belirlenmesi, buğdayda B gübrelemesi ve ayrıca B ile diğer bitki besin maddeleri arasında ilişkilerin olup olmadığını belirleme çalışmalarına hız verilmiştir (Alpaslan vd. 1996). Bununla birlikte, bazı besin elementleri B toksisitesinin olumsuz etkilerini azaltmak için ekinlerin büyüme ortamına uygulanmaktadır. Örneğin, sulama suyuna Ca ve P gibi minarellerin eklenmesinin bitkilerde B birikimini azaltabileceği rapor edilmiştir (Nable vd. 1997,

Sotiropoulos vd. 2002, Kaya vd. 2009). Kaya vd. (2009) yüksek konsantrasyonlarda yapılan B uygulamasının kontrol grubuna göre yaprak ve köklerdeki B miktarını da artırdığını belirlemişlerdir. Ayrıca yüksek B uygulamalarında yetişen bitkilerin yapraklarındaki Ca, P ve K konsantrasyonlarının da azalttığını belirlemişlerdir.

Bu çalışmada B toksisitesine karşı duyarlı olduğu bilinen makarnalık buğday (*Triticum durum* Desf. cv Kızıltan-91) ve B toksisitesine karşı toleranslı olduğu bilinen ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* Lcv Gün-91) fidelerinde, toksik seviyedeki B elementine antogonistik etki gösteren Ca'un farklı konsantrasyonlarının büyüme ve çözünür karbonhidrat miktarı üzerindeki etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Farklı B ve Ca konsantrasyonlarının uygulanmasıyla meydana gelen etkilere bağlı olarak buğday fidelerinin tepkisi, belirlenen fizyolojik ve biyokimyasal parametrelerle değerlendirilmiştir.

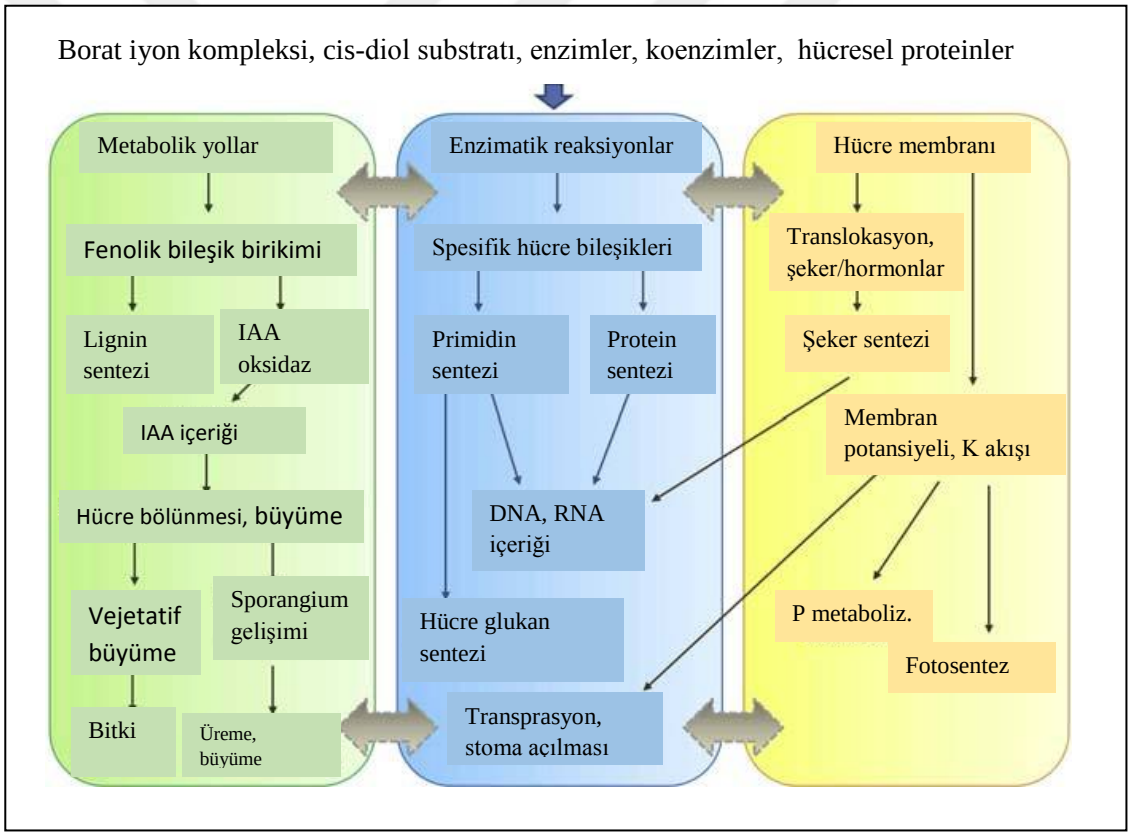
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bitkilerde B varlığı ilk kez 1910'da belirlenmiştir, ancak daha sonra bakla ve diğer baklagillerde büyüme ve gelişme için B'un önemi ifade edilmiştir. Aynı zamanda, altı dikotiledon ve bir monokotiledon için B gereksinimleri de gösterilmiştir. Büyümeleri ve gelişmeleri için B'a olan gereksinimlerine göre, bitkiler dört sınıfa ayrılabilir: (1) laktifler (lateks oluşturan türler); (2) baklagiller; (3) kalan diğer dikotiledonlar ve çoğunlukla monokotiledonlar ve (4) en az talepkar olan Poaceae familyasıdır. Günümüzde, B normal bitki büyümesi için temel bir mikro besin maddesi olarak kabul edilmektedir (Emebiri vd. 2009), bitkilerde eşit olmayan bir şekilde dağılmakta ve özellikle üreme organlarının dokularında bulunmaktadır (Saleem vd. 2011). Bitki türleri ve çeşitleri için uygun olan aralıklar çeşitlilik göstermektedir. B'un uygun olduğu kabul edilen çeşitli aralıklar gösterir. Örneğin, monokotiledonlarda B konsantrasyonları 1 ila 6 mg / kg arasında değişirken, çoğu dikotiledonda 20 ila 70 mg / kg arasındadır. Bununla birlikte, optimum bitki gelişimi için gereken B aralığı çok dardır. Hem yetersiz hem de toksik B seviyeleri, bitkilerin verim ve ürün hasat kalitesinin düşmesine neden olmaktadır (Saleem vd. 2011).

Hem borik asit hem de borat birçok farklı molekül tipiyle hızlı bir şekilde reaksiyona girebilir. Özellikle, çok çeşitli mono-, di- ve poli-hidroksil bileşikleri ile esterler ve kompleksler oluşturabilirler. Borik asit, riboz (RNA'nın ana bileşeni) apyoz, mannitol, mannan ve poli mannuronik asit (bitki hücre duvarlarındaki esansiyel bileşikler) gibi bir piranoid halka yerine furanoid içeren birçok şekere bağlanır (Loomis ve Durst 1992, Goldbach 1997).

B, doğada ve biyosferdeki ana rezervuarlarda geniş çapta dağılmıştır (Kot 2008). B'un inorganik formları hem doğal hem de antropojenik kaynaklardan gelir ve genellikle su, toprak ve atmosferde bulunur. Dünya'da, B esas olarak silikat minerallerinde yaklaşık 10 mg / kg konsantrasyonda bulunur. Magmatik, metamorfik ve tortul kayaçlarda borosilikat olarak bulunur (Krauskopf 1972). Çoğunlukla okyanuslardan (% 65- % 85), volkanlardan ve jeotermal buharlardan atmosfere salınmasına karşın, su ve topraktaki B bileşiklerinin başlıca kaynağı doğal olarak yıpranan tortul kayaçlar olarak

düşünülmektedir (Jansen 2003). Küresel B rezervinin % 73'ü ile Türkiye birinci olmasına rağmen, dünya çapındaki B bakımından zengin depolar; Kaliforniya, Avustralya, Çin, Rusya ve Arjantin'de bulunmaktadır. Atmosferdeki B seviyesi ~ 20 ng / m^3 ve 0,5 - 80 ng / m^3 arasındadır. Boratlar düşük uçuculuk gösterdiğinden B buhar olarak atmosferde belirgin şekilde bulunmaz. Toprakda, B 10 ila 300 mg / kg arasındaki konsantrasyonlarda bulunurken yüzey suyu B konsantrasyonları 0,001 ila 2 mg / L arasındadır. B, topraklarda H_3BO_3 ve kısmen de çözeltide, organik ve mineral fraksiyonlarında eşit miktarlarda olmayan $B(HO)_4^-$ olarak bulunur. Topraklarda, B en hareketli element olarak kabul edilir ve çoğu zaman tüm iz elementler arasında eksiktir. B, yüksek bitkilerde birçok önemli metabolik yollarda görev yapmaktadır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Fizyolojik ve moleküler B hedefleri (Princi vd. 2016).

Bunlar; şekerlerin taşınması ve karbonhidrat metabolizması, hücre duvarı sentezi ve lignifikasyon süreci, plazma zarı bütünlüğü ve işlevinin sürdürülmesi, nükleik asit metabolizmasının uyarılması, indolasetikasit metabolizması, askorbat/glutatyon döngüsü, fenolik bileşikler metabolizması, polen tüpü oluşumu, azot metabolizması, fotosentez; ve birçok enzimatik aktivitedir. Ca metabolizmasını etkiler ve eksikliği pektin bileşenleriyle ilişkili kalsiyumu azaltır (Moore 2004, Rehman vd. 2006, Reid, 2010, Princi vd. 2016) .

FAO'nun topraklarda bulunan mikro besinler üzerine yaptığı bir araştırma, B eksikliğinin dünyada yaklaşık olarak 8 milyon hektarı etkileyen en sık görülen sorun olduğunu ortaya koymuştur (Tariq ve Mote 2007). Bor yetersizliği Çin, Japonya ve ABD'nin iyi drene edilmiş toprakları olan nemli bölgelerde veya kumlu topraklarda bulunmaktadır (Tanaka ve Fujiwara 2008). Toprak çözeltisinde yüksek B çözünürlülüğü ile birlikte yüksek yağış oranı B eksikliğinin temel sebepleri olabilir (Shorrocks 1997). Bununla birlikte, biraz yüksek konsantrasyonlarda B, bitkiler için toksik hale gelebilir, çünkü eksiklik ile toksisite arasındaki aralık nispeten dardır (Paull vd. 1988). B yetersizliği ve toksisite hem bitki bozuklukları hem de ürün verim kayıpları ile ilişkilidir. Kural olarak, B toksisitesi, topraklar 12 mg / kg'dan daha yüksek konsantrasyonlar içerdiğinde meydana gelmekte ve genellikle 550 mm'den daha az yıllık yağış alan alanlarda görülmektedir (Hall 2010). B'un toksik düzeyleri Avustralya'da (Batı Avustralya, Güney Avustralya ve Victoria), Ürdün, Malezya, Peru, Şili (Kuzey), Hindistan, İsrail, Akdeniz bölgelerinde (Türkiye, Fas) ve Amerika Birleşik Devletleri'ne (California) ait topraklarda görülmektedir (Nable vd. 1997, Kot 2008, Tanaka ve Fujiwara 2008).

B toksisitesi, ürün verimini ve kalitesini etkileyen önemli bir problemdir. B toksisitesinin gözle görülebilir tipik belirtileri: yaprakların renk kaybı, bitki gelişim ve canlılığının azalması, çiçek ve tomurcuk sayısında ve meyvelerin büyüklüğü, ağırlığı ve sayısında azalmadır (Muntean 2009). Cervilla vd. (2012) iki domates genotipinde B toksisitesinin en fazla göstergesi olan parametreleri seçmek için farklı abiyotik stres göstergelerini incelemişler ve B fazlalığına karşı farklı hassasiyet gösterdiklerini saptamışlardır. Hassas ve toleranslı türlerin yapraklarındaki belirtilerin 10 kata kadar

farklılık gösterdiği bildirilmiştir (Furlani vd. 2003). Birçok bitki türünde doku B konsantrasyonlarının kritik toksisite değerleri belirlenmiştir, çünkü B konsantrasyonları farklı bitki dokularına ve / veya bitki gelişim aşamalarına göre de büyük ölçüde farklılık göstermektedir (Princi vd. 2016).

B toksisitesine ilişkin mekanizmalar hala belirsizdir (Nuttall 2000, Reid vd. 2004). Bununla birlikte, B'un cis konfigürasyonunda çoklu hidroksil grupları bulunduran bileşikleri bağlama kabileyeti göz önüne alındığında, ribozun toksisite ile ilgili etkiler için muhtemel bir aday olduğu ortaya çıkmıştır. Özellikle, ATP, nikotinamid adenin dinükleotit (NADH) veya nikotinamid adenin dinükleotit fosfat (NADPH) gibi enerji taşıyan moleküllerin riboz bölgesindeki cis hidroksiller B'un bağlanma yerleri olabilir. Bununla birlikte, hem fotosentezin hem de solunumun çok yüksek B konsantrasyonlarına duyarsızlığı nedeniyle, enerji taşıyan moleküllere bağlanmasının toksisitenin asıl nedeni olması muhtemel olarak görülmemiştir (Reid vd. 2004). Nozawa vd. (2006) mayada B toleransı sağlayan ve B'nin bağlanmasını önleyebilen *Arabidopsis*'te birkaç ribozomal protein ve TF tanımlamıştır.

Bitki gelişimi için oldukça dar bir konsantrasyon aralığı bulunmaktadır. Anormal B seviyeleri toksik olabilir veya eksiklik belirtilerini tetikleyebilir. Bir tür için optimum B seviyesi diğer türler için toksik veya yetersiz olabilir. B toksisitesi, bitkilerde glutatyon ve tokoferol oluşumunu inhibe etmekte, kök hücre bölünmesi ve hücre duvarı genişlemesinde - sürgün ve kök büyümesinde azalmaya, klorofil miktarında azalmaya, yaşlı yapraklarda nekrotik ve klorotik lekelerin oluşumuna, meyve sayısı, büyüklüğü ve ağırlığında azalmaya, lignin ve süberin birikimine, gelişimde azalmaya, membran sızıntısında artışa, lipid peroksidasyonuna, reaktif oksijen türlerinin (ROS) oluşumu ve oksidatif hasarda artışa, fotosentez, DNA ve antioksidan savunma sisteminde hasara neden olmaktadır. B toksisitesinin en önemli etkileri arasında; kök büyüme inhibisyonu, bitki kuru ağırlığında azalma (Turan vd. 2009) ve kök dokularında B konsantrasyonunda artış bulunmaktadır (Fang vd. 2016). Toksisite mekanizmaları hala belirsiz olsa da, yüksek B konsantrasyonun klorofil içeriğinde azalmaya neden olduğu, fotosentetik oranın azaldığı ve en son olarak da fotosentezin zarar gördüğü bildirilmiştir. Buna karşın, 50 mM B uygulaması yapılan arpada fotosentezin inhibe

olmadığı 100 mM B konsantrasyonunda ise % 23 oranında bir azalma olduğu belirtilmiştir (Reid vd. 2004).

Landi vd. (2013), kabakgillerde (*Cucumis sativus* L. ve *Cucurbita pepo* L.) fotosistem II'in fotokimyasal verimliliğinde ve klorofil a/b oranında azalma olduğunu saptamışlardır. Birçok türde, B fazlalığı, yapraklardaki Fv / Fm oranını (maksimum klorofil flüoresansı kuantum verimi) düşürerek fotoinhibisyona neden olan ROS oluşumunu artırmaktadır (Velez Ramirez vd. 2011). Bu olay aynı zamanda klorofil içeriğindeki azalmayı da açıklamaktadır. Ayrıca, elektron taşınım hızında inhibisyon, CO_2 asimilasyonunda görev yapan karboksilaz / oksijenaz, ribüloz-1,5-bisfosfat ve fruktoz-1,6-bisfosfat fosfataz gibi enzimlerin aktivitesinde, NADPH ve ATP'in ise kullanımında azalmalar tespit edilmiştir (Han vd. 2009).

Nable (1988) altı çeşit buğday bitkisi ile besin çözeltisinde yaptığı denemede, 15 µM'den başlayarak 5000 µM'e kadar bor uygulanmış besin çözeltisinde farklı buğday çeşitlerinin toprak üstü aksamının kuru madde miktarlarını belirlemiş ve bir çeşit hariç diğer çeşitlerde kuru madde miktarını azalttığını tespit etmiştir.

Paull vd. (1988), yedi buğday çeşidi kullanarak yaptıkları sera denemesinde toprağa farklı konsantrasyonlarda (0, 25, 50, 100 ve 150 µg B/g) bor uygulaması yapmışlar ve deneme sonunda konsantrasyon artışına bağlı olarak genelde tüm buğday çeşitlerinde kuru madde miktarının düştüğünü belirlemişlerdir.

B stresi de dahil olmak üzere çeşitli çevresel streslere verilen bitki tepkilerinde başında sükroz seviyesindeki değişiklikler gelmektedir. Birkaç çalışma, B'un bitki glikozitleri biyosentezi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Örneğin, B toksisitesi altında hem yaprak hem de şeker pancarının kökünde glikozda bir düşüş olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, B şekerden nişasta oluşumunu inhibe etmektedir. B fazlalığı kök ucunda indirgenmiş şeker (RS) artışına da neden olmuştur (Bonilla vd. 1980). B toksisitesi altındaki toleranslı arpanın kök ucunda invertaz aktivitesinde artışla birlikte, glukoz ve fruktoz miktarında da artış saptanmıştır. Karbonhidrat

metabolizmasındaki bu değişiklik, B toksisitesi altında bitki büyümesini ve kök gelişimini desteklemektedir (Choi vd. 2007).

Bitkilerin yapısal özellikleri üzerinde bu derece etkili olan B mineralinin, ihtiyaç duyulan miktardan eksik ya da fazla olması, bitkilerin gelişmesi üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır.Bu nedenle bitki beslenmesinde önemli bir rolü olan B mineralinin diğer besin elementleriyle interaksiyonu çok önemlidir (Gezgin ve Hamurcu 2006).

B ve azot (N) arasında antagonistik bir ilişki olduğu belirlenmiştir (Sakal 1987, Taban vd. 1995). B eksikliği bulunan topraklarda yapılan sera çalışmalarında, yonca bitkisine azot uygulamasının bitkide B konsantrasyonunu ve B alımını azalttığı görülmüştür. Aynı uygulamada B uygulanmaksızın sadece N uygulaması yapıldığında bitkilerin öldüğü ve bunun muhtemel sebebinin B yetersizliği olduğu belirtilmiştir (Willett 1985). B içeriği yüksek olan topraklarda azot uygulamasının narenciyelerde B alımını azalttığı ve toksik etkinin giderildiği bildirilmiştir (Jones vd. 1963).

B ve fosfor (P) arasında sinerjistik bir ilişki olduğu Patel ve Golakia (1986) tarafından yapılan çalışmalarla kanıtlanmıştır. Kireçsiz kumlu bir toprakta 0-6 ppm arasında B uygulamalarında, nohut filizlerinde P içeriğinin % 0.75'ten % 1.60'a kadar arttığı; bor içeriğinin de 58 ppm'den 416.6 ppm'e kadar yükseldiği; buğday filizlerinde P içeriğinin % 1.01'den % 1.30'a kadar arttığı ve B içeriğinin 28 ppm'den 29.3 ppm'e yükseldiği gösterilmiştir (Yadav ve Manchanda 1979).

Singh ve Singh (1983), B ve P arasında sinerjistik bir ilişkinin olduğunu ifade etmişlerdir. B noksanlığı bulunan topraklarda P uygulamalarının B alımını giderek azalttığı ve bitkide noksanlık belirtilerinin ortaya çıktığı belirlenmiştir (El-Kholi ve Hamdy 1977).

Bitkilerde B ve kükürt (S) arasında sinerjistik bir etki mevcuttur (Gezgin ve Hamurcu 2006). Hardal bitkisi üzerinde yapılan çalışmalarda bitkiye S ve boraks ilavesiyle N ve P kontrolünde tohum veriminin % 42'ye kadar arttığı belirlenmiştir (Shukla 1983).

B ve magnezyum (Mg) arasında antagonistik bir ilişki olduğu, kumlu-tın tekstüre sahip alüvyal toprakta mercimek bitkisiyle yapılan çalışmalarda, B seviyesi arttırıldığında mercimek filizlerinde magnezyum konsantrasyonunun azaldığı saptanmıştır (Singh ve Singh 1983).

Alüvyal topraklarda yetiştirilen hardal bitkisi ile yapılan çalışmalarda, çinko (Zn) uygulamasının tohum veriminin yanı sıra yağ ve protein içeriğini büyük ölçüde arttırdığı ve B ilavesinin de bu artışa yardımcı olduğu belirlenmiştir (Shukla 1983). Toprakta çinko eksikliğinin, buğdayda kuru madde oranını azaltırken bor konsantrasyonunu arttırdığı belirlenmiştir (Singh ve Singh 1990, Tandon 1995).

B ve demir (Fe) arasındaki etkileşim ise kontrollü sera şartlarında makarnalık buğdayda yapılan çalışmalarla ortaya çıkarılmıştır. Uygulanan bor dozunun artışına karşın bitkide de B konsantrasyonunun arttığını; uygulanan Fe miktarındaki artışa karşın Fe konsantrasyonunun belirli bir noktaya kadar artış gösterdiği ve belli bir seviyeden sonra düştüğü belirlenmiştir. Bu çalışmaya göre; uygulanan B miktarının bitkinin Fe alımı üzerine etkisinin olmadığı, buna karşın uygulanan demir miktarındaki artışa bağlı olarak bitkinin bor alımının azaldığı sonucu ortaya konmuştur (Hamurcu vd. 2005).

Domates bitkisiyle su kültüründe yapılan çalışmalarda, B ve mangan (Mn) arasındaki interaksiyon araştırılmıştır. B eksikliği durumunda bitki kökleri tarafından alınan Mn miktarının arttığı, B fazlalığı durumunda da bitki köklerinde Mn nispi hareketliliğinin azaldığı belirlenmiştir (Garate 1984). Sera koşullarında börülce bitkisi üzerinde yapılan çalışmalarda, B seviyesindeki artışla beraber bitkinin mangan konsantrasyonunun da arttığı belirlenmiştir (Singh 1988).

Tandon (1995), bitkilerde B ve bakır (Cu) arasındaki ilişkinin tam olarak belirgin bir nitelik kazanmamış olduğunu bildirmesine karşın, topraklara fazla miktarda B uygulanmasının yağ palmiyesi bitkisinde Cu alımını azalttığı belirlenmiştir (Singh 1981). Ayçiçeği bitkisinde farklı Cu konsantrasyonlarında yapılan çalışmalarda, B toksisitesi durumunda bitkide Cu taşınımı ve hareketlilikte azalma olduğu tespit edilmiştir (Alvarez-Tinaut 1979, Gomez 1981). Pamuk bitkisinde yapılan araştırmalarda

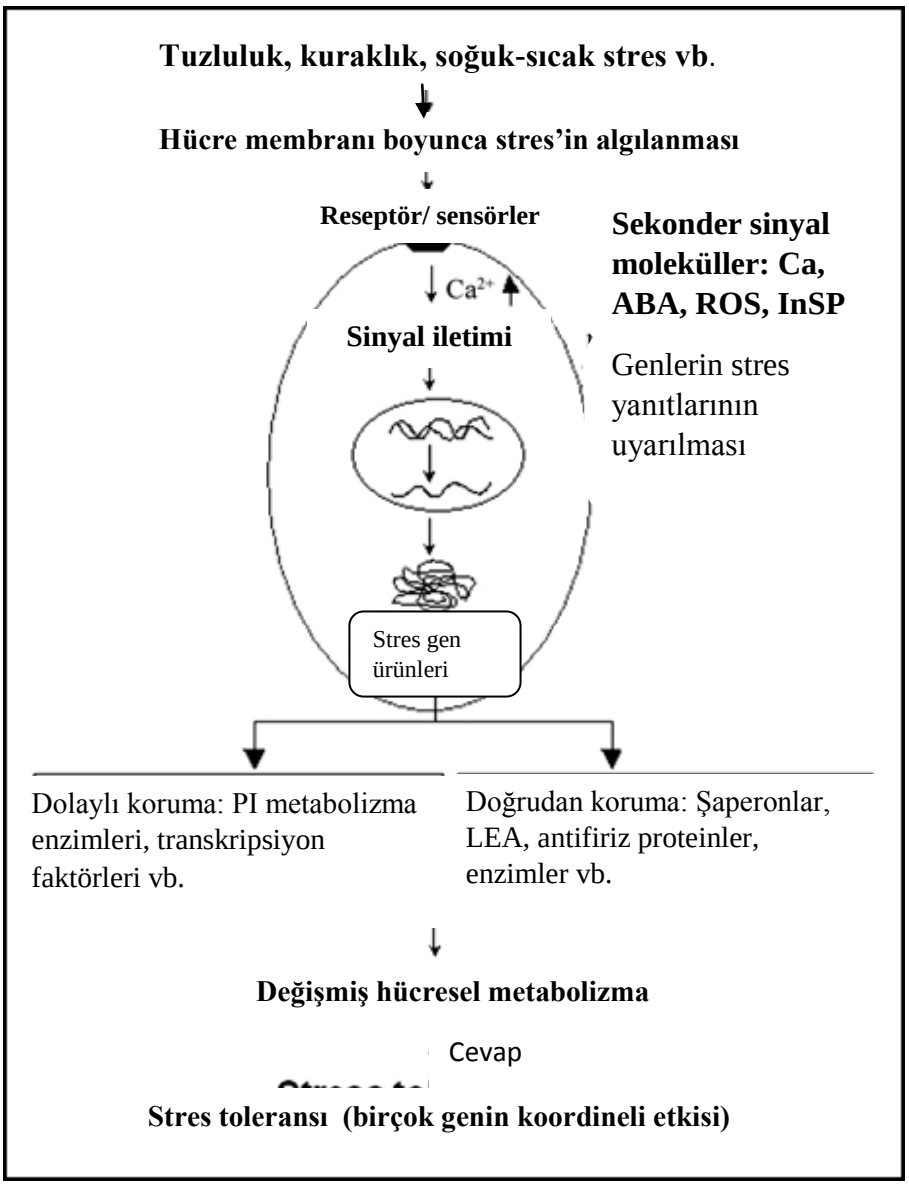
ise bitkide bor miktarının artmasıyla bakır miktarının da arttığı belirlenmiş, B ve Cu arasında sinerjistik bir etkinin olduğu sonucuna varılmıştır (El-Gharabbly ve Bussler 1986).

B ve molibden (Mo) arasındaki etkileşim ise, sera şartlarında Mo içeren kumlu-tınlı toprağa B uygulaması sonucunda buğday bitkisinde B ve Mo oranının artışı ile sonuçlanmıştır. Aynı çalışmada B mineralinin en yüksek konsantrasyonda uygulanmasıyla Mo alımında azalma gözlendiği belirtilmiştir (Singh ve Singh 1992).

B minerali ile diğer besin elementleri arasındaki etkileşimde en iyi bilinen Ca elementinin B alımı üzerindeki etkisidir. Yapılan birçok araştırma sonucunda B ve Ca arasında antagonistik bir etki olduğu belirlenmiştir (Fox 1968, Chauhan ve Power 1978). Buğday bitkisinde yapılan çalışmalarda B alınımının, gelişme ortamında bulunan Ca miktarına bağlı olarak azaldığı belirtilmiştir (Taban vd. 1995). Yüksek B içeren kireçli topraklarda B alınımındaki azalmanın Ca:B oranı ile ilgili olduğu ileri sürülmüştür (Gupta vd. 1985). *Raphanus sativus* bitkisinde yapılan çalışmalarda artan Ca konsantrasyonlarına karşın B alımının azaldığı bildirilmiştir (Tanaka 1967). Tütün bitkisi üzerinde yapılan çalışmalar, B fazlalığı olan alanlarda yetiştirilen bitkiye Ca ilavesiyle, bitkinin Ca miktarının artması ve B toksisitesi etkisinin azalması şeklinde gözlemlenmiştir (Patel ve Mehta 1966).

Ca bitkinin büyümesinde ve gelişiminde temel bir rol oynamaktadır. Ca hücresel metabolizmayı düzenler, mitokondri ve kloroplastlardaki enerji üretimi için önemlidir (Batistič ve Kudla 2010). Ca stres toleransında rol oynayan önemli bir elementtir (Tuteja 2009). Birçok hücre dışı sinyal ve ışık, abiyotik ve biyotik stres gibi çeşitli çevresel faktörler, hücresel kalsiyum seviyelerinde değişimlere neden olmaktadır. Ca, sekonder haberci olarak görev yapmakta ve konsantrasyonu vakuol, endoplazmik retikulum, mitokondri ve hücre duvarı gibi 'Ca depoları' nın varlığı ile hassas bir şekilde dengelenmektedir. Ca hücre duvarı ve vakuolde milimolar konsantrasyonlarda bulunmakta ve gerektiğinde hücre tarafından salınmaktadır (Mahajan ve Tuteja 2005). Xiong vd. (2006) mitokondri, kloroplastlar ve çekirdek gibi çift zarlı organellerin de kendi başına kalsiyum sinyali üretmek üzere donatıldığını göstermiştir.

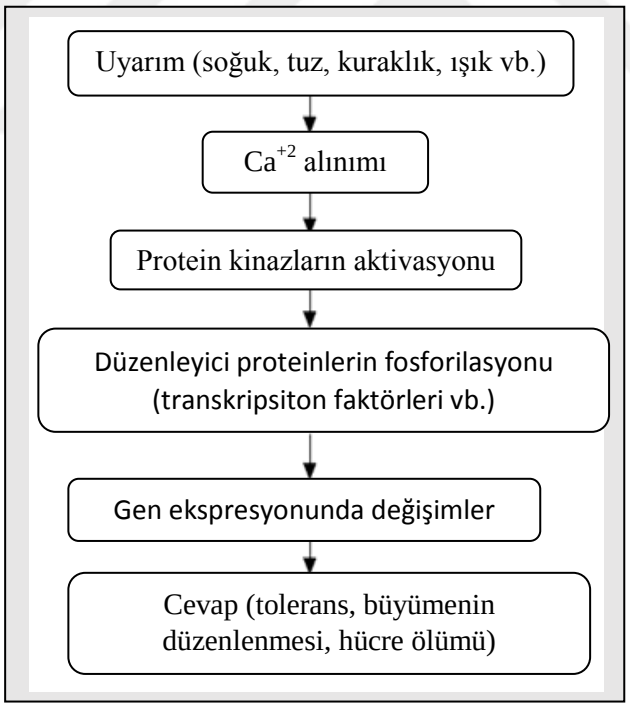
Ca^{+2} iyonu önemli bir sinyal molekülüdür ve birçok farklı sinyal yolunun da keşişme noktasını temsil etmekdir (Şekil 2.2). Çevresel zorluklarla karşı karşıya kalan bitki hücreleri, hücre zarında stres algısıyla başlayan ve hücresel bir tepki ile biten bir sinyalleşme olaylar ağını tetikleyerek hücresel kurulumlarını yeniden programlamaktadır (Tuteja ve Mahajan 2007).



Şekil 2.2 Bitkilerde stres cevap yolu (Tuteja ve Mahajan 2007)

Hücre dışı stres sinyali önce membran reseptörleri tarafından algılanır ve daha sonra ikincil sinyal moleküllerinin üretilmesi de dahil olmak üzere hücre içi büyük ve karmaşık sinyal yolunu-şelalesini aktive eder. Sinyal şelalesi, doğrudan veya dolaylı olarak stres toleransı sağlayabilen strese duyarlı çoklu genlerin ekspresyonuna yol açar (ABA, absisik asit; LEA, geç embriyojenez bol proteinleri; InsP, inozitol fosfat; ROS, reaktif oksijen türleri) (Tuteja ve Mahajan 2007).

Genel bir sinyal iletim yolu aşağıdaki adımlara sahiptir: (a) Sinyalin membran reseptörleri tarafından algılanması (b) İkinci habercilerin üretilmesi, (c) Protein fosforilasyon/defosforilasyon olaylar şelalesi, stresle düzenlenmiş spesifik gen setini kontrol eden transkripsiyon faktörlerini hedef alır, (d) Stres toleransı, bitki adaptasyonu ve diğer fenotipik tepkiler. Ca seviyesindeki artışı protein kinazları aktive edebilen kalsiyum sensörleri veya Ca bağlayıcı proteinler tarafından tanınır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 Ca ile düzenlenen gen ekspresyon yolu ve stres cevabı (Tuteja ve Mahajan 2007)

Bu aktive edilmiş protein kinazlar ise stres toleransı için gerekli olan düzenleyici proteinleri kontrol eden genlerin ekspresyonunu düzenleyen transkripsiyon faktörleri dahil birçok düzenleyici proteini fosforile etmektedir (Tuteja ve Mahajan 2007).

Ca sükroz sinyal yolunun önemli bir bileşeni olarak kabul edilmekte ve bu da fruktan sentezinin indüksüyonuna neden olmaktadır. Ca sinyali ayrıca abiyotik strese cevap olarak hücre döngüsünün düzenlenmesinde de görev yapmaktadır. Ca bitkinin büyümesi ve gelişmesi için, özellikle de kök ve sürgün ucu için gerekli olan temel bir bitki besin maddesidir. Kök ve sürgün ucu meristematiktir ve hücre bölünmesi mitoz ile gerçekleşmektedir. Ca, mikrotübüllerin oluşumunda yardımcı olur ve kromozomların anafazik hareketi için gereklidir. Ca önemli iki değerlikli bir katyondur ve hücre duvarı ve membranlardaki yapısal roller için gereklidir. Ca hücre duvarında kalsiyum pektat olarak birikir ve hücreleri birbirine bağlar. Aynı zamanda, vakuol içinde inorganik ve organik anyonlar için karşı bir katyon olarak ve sitosolde ise hücre içi bir haberci olarak da görev yapmaktadır. Dışarıdan yapılan Ca, NaCl'nin toksik etkilerini azaltır. Ayrıca, polen tüpünün büyümesi ve uzaması için gereklidir (Sanders vd. 2002).

Ca bir asırdan daha uzun bir süre önce bitkilerde temel bir makro besin elementi olarak tanımlanmıştır. Ca toprak çözeltisinden kökler tarafından alınır ve ksilem vasıtasıyla sürgüne iletilir. Bitkiler Ca içeriği ve gereksinimlerinde belirgin farklılıklar göstermektedir. Ca içeriği, farklı bitki ve organlar için ağırlıklı olarak % 0.1 ile > % 5.0 aralığındadır. Monokotiledonlar optimum büyüme için dikotiledonlardan daha az Ca'a gereksinim duymaktadır. Ca bitki hücrelerine plazma membranlarındaki Ca'a geçirgen olan iyon kanallarından girmektedir. Ca^{+2} hem bu bölgeler için hem de topraktan alım için diğer katyonlarla rekabete girmektedir. Yüksek seviyelerde Ca varlığının topraktan toksik katyonların (Al^{+3} ve Na^{+}) alımının etkilerini hafiflettiği bilinirken, diğer katyonların (K^{+}, Mg^{+2}) yüksek düzeyleri ise Ca alımını azaltabilir. Ca alımı ve optimal büyüme için gereksinimler bu nedenle diğer katyonların varlığına büyük ölçüde bağlıdır (Burstrom 1968).

Ca eksikliği doğada nadir, ancak düşük baz doygunluğu ve/veya yüksek asidik birikimi olan topraklarda görülebilir. Kalsiyum eksikliği, diğer katyonlarla rekabet veya ksilem

akışının hızla büyüyen dokunun kalsiyum gereksinimlerini sağlamada yetersiz kaldığı duruma bağlı olarak meydana gelen düşük terleme nedeniyle oluşabilir. Ca eksikliği, bodur kök büyümesine ve yaprak görünümlerinde değişimlere neden olur (Marschner 1986).

Bitki hücrelerinde sitozolik Ca, abiyotik ve biyotik stresler ve çeşitli çevresel zorluklara cevaben artış göstermektedir. Sitozoldeki bu geçici Ca artışının fizyolojik cevapların üretimi için kritik olduğu düşünülmektedir. Ca artışı strese evrensel bir cevap olarak kabul edilmektedir. Çeşitli çevresel zorluk ve gelişimsel işaret ile ortaya çıkan sitozolik Ca seviyelerindeki değişimler önemlidir ve belirli bir uyarıcıya karşı uygun fizyolojik tepkiye yol açmaktadır.

Hem Ca eksikliği hem de yüksek konsantrasyonları lokalize hücre ölümüne neden olduğu için, Ca'un bitki boyunca taşınması sıkı bir kontrol altındadır. Ca'ca eksik koşullarda yetiştirilen bitkilerin bitki patojenlerine karşı daha hassas olduğu belirlenmiştir. Ayrıca apikal meristemlerin büyümesinde azalma, klorotik yaprak oluşumu ve dokuların yumuşamasına yol açan hücre duvarı bozulmalarının olduğu belirlenmiştir (White ve Broadley 2003). Ancak Ca eklenmesi, bu semptomları hafifletmekten daha fazlasını yapmış ve kök uzunluğunu artırarak bitki büyümesini desteklemiş ve bitkilerin strese karşı koymalarına veya strese karşı korunmalarına yardımcı olmuştur.

B ve Ca düşük mobilite, intra-sitoplazmik içeriğe kıyasla yüksek ekstra-sitoplazmik konsantrasyon, eksiklik sırasındaki büyüme değişikliklerine neden olmak gibi ortak birkaç özelliğe sahiptir. Bu besinlerin herhangi birinin miktarı ve varlığının dağılımı (Ramón vd. 1990) ve optimum bitki gelişimi için diğerinin gereksinimini etkilemektedir. Hem B hem de Ca, pektin fraksiyonunun hücre duvarlarındaki stabilitesi için gereklidir (Kobayashi vd. 1999). Bolaños vd. (2003), tuz stresi altında geliştirilen bezelye nodüllerinde hücre duvarları yerine sadece sitozolde pektin polisakkaritlerinin biriktiğini saptamıştır. Yapılan çalışmada B yokluğunda pektin kaybı B uygulaması ile düzenlenememiş, ancak hem B hem de Ca uygulaması ile bitkilerin strese tolerans gösterdiği belirlenmiştir. Bolaños vd. (2003) her iki besinin tamamlayıcı bir role sahip

olduğunu, Ca'un B eksikliğinin bazı etkilerini önleyebileceğini, hücre duvarı yapısının korunması için her iki besinin de mutlaka gerekli olduğunu ileri sürmüşlerdir. Ca, tuz stresi altında çimlenmeyi arttırdığını yüksek konsantrasyolardaki tuz stresinde B'un konsantrasyonun düştüğünü, kök uzaması için ise ekstra B uygulamasının gerekli olduğunu saptamışlardır. Buna karşın, tuz stresine karşı uygulanan yüksek B konsantrasyonlarının ise kök uzamasını inhibe edici etkiye sahip olduğunu belirlemişlerdir (Bonilla vd. 2004). B toksisitesinin bu tipik etkilerinin sebebi hücre içi piridin nükleotit koenzimlerini kompleksleştirme kapasitesi (Loomis ve Durst 1992) veya hücre bölünmesi üzerindeki olumsuz etkileri (Liu vd. 2000) ile açıklanmaktadır.

Chatterjee vd. (1987) mısır bitkisinde yaptıkları çalışmada Ca ve B eksikliğinde şeker ve nişasta içeriğindeki azalmanın yanısıra dokudaki Ca ve B içeriğinde de azalma saptamışlardır. B stresi altında bitkilere yüksek konsantrasyonlarda Ca uygulaması; dokuda Ca ve B içeriğinde artışa, nişasta, şeker, nükleik asit, inorganik fosfor konsantrasyonu ve nişasta fosforilaz-ATPaz aktivitelerinde ise azalmaya neden olmuştur. Ca veya B eksikliği, genel olarak hem indirgen şekerlerin hem de nonindirgen şekerlerin içeriğinde artışa neden olmuştur. Bununla birlikte, kalsiyum fazla miktarda verildiğinde ve bor seviyesi eksik veya normal düzeylerde olduğunda hem indirgen hem de indirgen olmayan şeker konsantrasyonununda ve nişasta miktarında (aşırı Ca nişasta fosforilaz enzimini inhibe eder) ise azalma saptanmıştır.

Türkiye'de tarımsal üretim içerisinde tahılların önemi çok büyüktür ve günlük besinler içinde en yaygın kullanılan besin grubunu oluşturmaktadır. Ülkemizde tarım yapılan arazilerinin yaklaşık % 80'inde tahıl üretimi yapılmakta, tahıl üretimi yapılan arazilerinde yaklaşık % 65'inde buğday üretimi yapılmaktadır. Türkiyede yetişen tahıl bitkilerinde B eksikliği ya da toksikliği sıkça rastlanan önemli çevresel sorunlarından biridir (Güneş vd. 2000). Tahıllar, hem düşük oranlardaki B hem de yüksek seviyelerdeki B miktarından etkilenmektedir.

Günümüzde önemli stres faktörlerden biri olan B toksisitesi ile mücadelede, olumsuz toprak koşullarına dayanıklı olan bitki çeşitlerinin seçilmesi veya bitki besin maddeleri

arasında mevcut olan interaksiyonlardan yararlanarak bu sorunun üstesinden gelmenin mümkün olabileceği ifade edilmiştir (Güneş vd. 2000).

Günümüze kadar yapılan çalışmalar, B'un olumsuz etkilerini azaltmada Ca'un önemli bir rolü olduğunu göstermiştir (Kanwal vd. 2008, Turan vd. 2009). Ca ve B arasındaki etkileşimler halen tartışılmaktadır (Bolaños vd. 2003). Bu nedenle, Ca ve B'nin bitki büyümesi üzerindeki etkilerinin incelenmesi önemlidir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Araştırmada kullanılan bitkilerin yetiştirilmesi ve toprak örneklerinin analizleri, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü Sera ve Araştırma Laboratuvarları'nda; bitkilerin yetiştirilmesi sonrasında yapılan biyokimyasal analizler ise Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü Bitki Fizyolojisi Araştırma Laboratuvarlarında yapılmıştır.

3.1 Bitkisel Materyal

Araştırmada bitkisel materyal olarak bor toksisitesine karşı duyarlı olduğu bilinen makarnalık buğday (*Triticum durum* Desf. cv Kızıltan-91) ve B toksisitesine karşı toleranslı olduğu bilinen ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L. cv Gün-91) çeşitleri kullanılmıştır. *Triticum durum* Desf. cv Kızıltan-91 ve *Triticum aestivum* L. cv Gün-91 tohumları Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü'nden (TARM-ANKARA) temin edilmiştir.

3.2 Bitkilerin yetiştirilmesi

Fidelerin yetiştirilmesinde kullanılan toprak, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü bahçesinden alınmıştır. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü Sera ve Araştırma Laboratuvarları'ndan temin edilen ortalama 150 kg toprağın elenmesi işlemi 11 mm elek teli aracılığıyla gerçekleştirilmiştir Topraklar saksılara konulmadan önce, serada hava kuru hale getirilmiştir. Serada hava kurusu hale getirilen toprak, Weight Zero Stable Net- Denshi DS-1 tartı ile, her bir çeşit için 64, toplamda 128 adet saksı içerisine, her saksıda 1000 g toprak olacak şekilde tartılmış ve polietilen poşetler içerisinde saksılara yerleştirilmiştir. Fidelerin yetiştirilmesinde kullanılan toprağa temel gübre olarak 0,72 g alüminyum sülfat $Al_2(SO_4)_3$, 0,22 g mono potasyum fosfat (KH_2PO_4) ve 0,08 g potasyum sülfat (K_2SO_4) uygulanmıştır. Kimyasalların tartımı Kern 440-33

hassas teraziyle tartılmış ve bu işlemle uygulamada kullanılan toprağın azot (N), fosfor (P) ve potasyum (K) bakımından eksik kalmaması amaçlanmıştır.

Hava kurusu alınmış toprağa 0, 15, 30, 45 ppm konsantrasyonlarındaki B ve 0, 40, 80, 120 ppm konsantrasyonlarındaki Ca homojen olacak şekilde uygulanmıştır. B ve Ca uygulamasının yapılmadığı saksılar 'kontrol grubu' olarak adlandırılmıştır (Çizelge 3.1). Uygulanan B konsantrasyonları H_3BO_3 (Borik asit) ve kalsiyum konsantrasyonları $Ca(NO_3)_2$. $4H_2O$ (Kalsiyum nitrat) olarak uygulanmıştır. B tabiatta serbest halde bulunmaz. B mineralinin bitkiler tarafından kullanılabilir formu borik asittir (H_3BO_3) (Boşgelmez vd. 2001). Bu nedenle araştırma sırasında uygulanan B konsantrasyonları için H_3BO_3 (Riedel- de Haen, S231100) kullanılmıştır.

Çizelge 3.1 Bitkilere yapılan uygulamalar ve deney planı

1.TEKRAR	2. TEKRAR	3. TEKRAR	4. TEKRAR
Ca_0B_0 (0,0)	Ca_0B_0 (0,0)	Ca_0B_0 (0,0)	Ca_0B_0 (0,0)
Ca_0B_1 (0, 15 ppm)	Ca_0B_1 (0,15)	Ca_0B_1 (0,15)	Ca_0B_1 (0,15)
Ca_0B_2 (0, 30 ppm)	Ca_0B_2 (0,30)	Ca_0B_2 (0,30)	Ca_0B_2 (0,30)
Ca_0B_3 (0, 45 ppm)	Ca_0B_3 (0,45)	Ca_0B_3 (0,45)	Ca_0B_3 (0,45)
Ca_1B_0 (40 ppm, 0)	Ca_1B_0 (40,0)	Ca_1B_0 (40,0)	Ca_1B_0 (40,0)
Ca_1B_1 (40 ppm, 15 ppm)	Ca_1B_1 (40,15)	Ca_1B_1 (40,15)	Ca_1B_1 (40,15)
Ca_1B_2 (40 ppm, 30ppm)	Ca_1B_2 (40,30)	Ca_1B_2 (40,30)	Ca_1B_2 (40,30)
Ca_1B_3 (40 ppm, 45ppm)	Ca_1B_3 (40,45)	Ca_1B_3 (40,45)	Ca_1B_3 (40,45)
Ca_2B_0 (80ppm, 0)	Ca_2B_0 (80,0)	Ca_2B_0 (80,0)	Ca_2B_0 (80,0)
Ca_2B_1 (80 ppm, 15 ppm)	Ca_2B1 (80,15)	Ca_2B1 (80,15)	Ca_2B1 (80,15)
Ca_2B_2 (80 ppm, 30 ppm)	Ca_2B_2 (80,30)	Ca_2B_2 (80,30)	Ca_2B_2 (80,30)
Ca_2B_3 (80 ppm, 45 ppm)	Ca_2B_3 (80,45)	Ca_2B_3 (80,45)	Ca_2B_3 (80,45)
Ca_3B_0 (120 ppm, 0)	Ca_3B_0 (120,0)	Ca_3B_0 (120,0)	Ca_3B_0 (120,0)
Ca_3B_1 (120 ppm, 15 ppm)	Ca_3B_1 (120,15)	Ca_3B_1 (120,15)	Ca_3B_1 (120,15)
Ca_3B_2 (120 ppm, 30 ppm)	Ca_3B_2 (120,30)	Ca_3B_2 (120,30)	Ca_3B_2 (120,30)
Ca_3B_3 (120 ppm, 45 ppm)	Ca_3B_3 (120,45)	Ca_3B_3 (120,45)	Ca_3B_3 (120,45)

Her bir deneme grubu 4 paralel olacak şekilde hazırlanmış ve toplam 128 adet saksı kullanılmıştır (Çizelge 3.1). Denemelerde kullanılan saksı toprağı tarla kapasitesine (% TK= % 25,78) yakın noktada tutulmaya çalışılmıştır. İki buğday çeşidinin tohumları % 2 sodyum hipoklorürde 20 dakika bekletildikten sonra steril su ile yıkanmıştır. Kullanılan herbir saksıya 30 adet tohum ekilmiş ve fideler sera koşullarında 24-33 ˚C hava sıcaklığı, % 51 nisbi nem ve 14 saat gündüz, 10 saat gece ışık periyodunda 7 hafta yetiştirilmiştir (Şekil 3.1 - 3.2).



Şekil 3.1 *Triticum durum* Desf. cv Kızıltan-91 fideleri



Şekil 3.2 *Triticum aestivum* L. cv Gün-91 fideleri

Denemede kullanılan saksılar gün aşırı sulanmıştır. Saksıların yeri tesadüfi olarak belirlenmiş ve kendi aralarında rotasyon yapılarak gün ışığından eşit olarak yararlanmaları sağlanmış ve 7 hafta sonra toprak yüzeyinden hasat edilmiş, kuru örnekler desikatörde saklanmıştır.

3.3 Bitki Büyüme Ölçümleri

Hasat edilen fideler yıkanarak temizlendikten sonra her uygulama için rastgele seçilen 10 fideden kök boyu ve sürgün boyu cm olarak ölçülmüştür. Aynı fideler tohum kalıntısından kesilerek kök ve sürgün ağırlıkları ayrı ayrı ölçülmüş, aynı materyal 110 ºC'lik etüvde 24 saat kurutulmuş ve kuru ağırlıkları belirlenmiştir.

3.4 Oransal Su İçeriği

Kontrol uygulama grubundan rastgele seçilen 10 fideden 4 mm çapında diskler alınmış ve taze ağırlıkları (TA) ölçülmüştür. Diskler distile su bulunan petride 25 ºC'de iki saat bekletilmiş ve turgorlu ağırlıkları (TuA) belirlenmiştir. Aynı diskler 110 ºC'de 24 saat kurutulduktan sonra kuru ağırlıkları ölçülmüş ve oransal su içeriği (OSİ) hesaplanmıştır (Salisbury ve Ross 1992). Bu yöntemde hesaplanan OSİ değeri tam hidrate olmuş dokudaki suyun yüzdesi olarak orijinal örnekteki suyu ifade etmektedir.

$$OSİ= [(TA-KA)/(TuA-KA)]x100$$

3.5 Çözünür Karbonhidrat Analizi

Çözünür karbonhidrat tayini Halhoul ve Kleinberg (1972)'e göre gerçekleştirilmiştir. Kuru örnekler % 80'lik etil alkol ile çalkalanmış, santrifüjlenerek erlene alınmış, kalıntı üzerine % 80 etanol konularak santrifüj edildikten sonra süpernatan elde edilmiştir. Süpernatan erlene alınmış, alkol buharlaştırıldığında 100 ml'ye distile su ile tamamlanmış ve soğuk ortamda saklanmıştır.

3.5.1 Glukoz tayini

Hazırlanan ekstrakttan 1'er ml tüplere pipetlenmiştir. Tüpler su-buz banyosunda soğutulup üzerine 2'şer ml soğuk anthron çözeltisi basınçlı olarak ilave edilmiş ve vortekste karıştırılmıştır. 95 ºC'deki su banyosunda 15 dk bekletildikten sonra buz banyosuna alınmış 5 dakika sonra 620 nm'de glukoz standartlarına karşı CECİL 5000 marka CE 5502 model UV stspektrofotometrede okunmuştur.

3.5.2 Fruktoz tayini

Hazırlanan ekstrakttan 1'er ml tüplere pipetlenmiştir. Tüpler su-buz banyosunda soğutulup üzerine 2'şer ml soğuk anthron çözeltisi basınçlı olarak ilave edilmiştir. Tüpler 40 ºC'deki su banyosunda 30 dk bekletildikten sonra buz banyosuna alınmış, 5 dakika sonra 620 nm'de CECİL 5000 marka CE 5502 model UV spektrofotometrede okunmuştur.

3.6 İstatistiksel Analiz

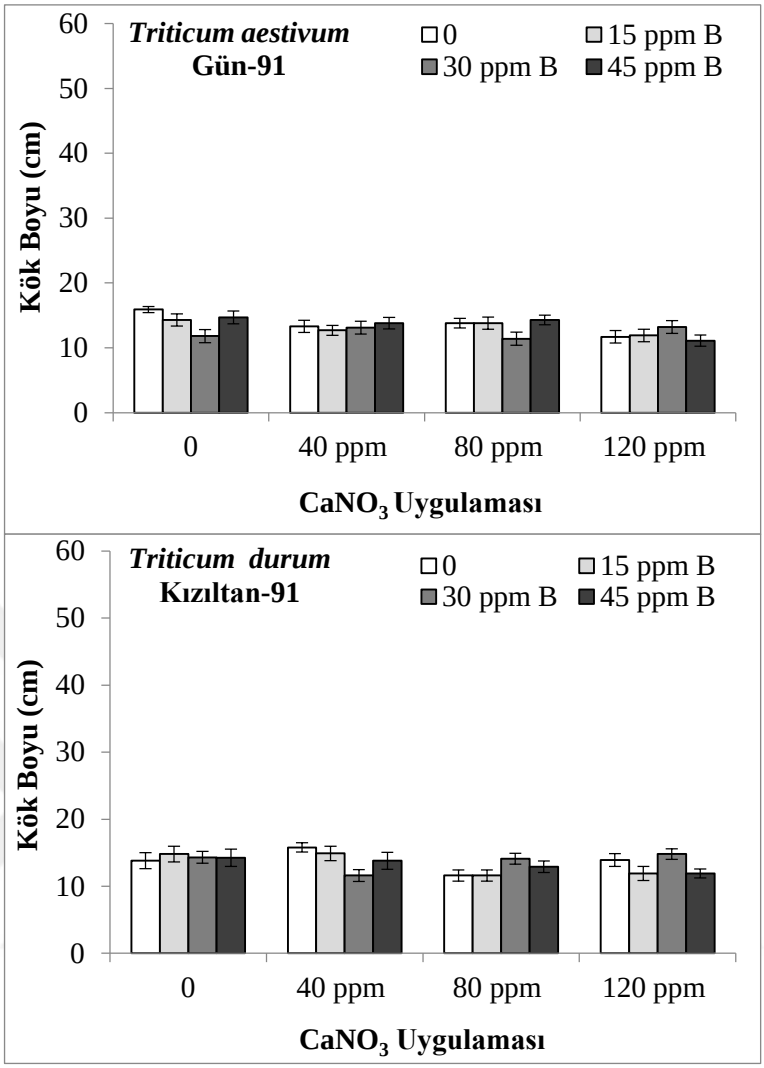
Varyans analizlerinde çeşit faktörünün *Triticum durum* Desf. cv Kızıltan-91 ve *Triticum aestivum* L. cv Gün-91 olmak üzere 2 seviyesi, B faktörünün 0, 15, 30, 45 olmak üzere 4 seviyesi ve Ca faktörünün de 0, 40, 80, 120 olmak üzere 4 seviyesi dikkate alınmıştır. Elde edilen veriler faktöriyel düzende varyans analizi tekniği ile değerlendirilmiştir. Farklı grupların belirlenmesinde DUNCAN çoklu karşılaştırma yöntemi kullanılmıştır. Analizlerin yapılmasında Statistica 7 paket programı kullanılmıştır. Analiz sonuçlarından elde edilen istatistiksel değerlendirmeler ekler kısmında sunulmuştur.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1 B, Ca ve B + Ca Uygulamalarının Buğday (*Triticum aestivum* L. cv. Gün-91, *Triticum durum* Desf. cv. Kızıltan-91) Fidelerinde Kök Boyuna Etkisi

Ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L. Cv. Gün-91) çeşidinde en uzun kök boyu 15.9 ± 0.482 cm ile hiçbir uygulama yapılmayan kontrol grubunda (0 ppm B, 0 ppm Ca) belirlenmiştir (Şekil 4.1). Kontrol grubu ile karşılaştırıldığında tek başına B ve Ca uygulamalarında yetiştirilen Gün-91 çeşidinde kök boyunda azalma olmuştur. Tek başına B ve Ca uygulamalarında yetiştirilen fidelerde kök boyunda en çok azalma 11.7 ± 0.978 cm ile 120 ppm Ca ($p<0.05$) ve 11.8 ± 0.646 cm ile 30 ppm B uygulamalarında saptanmıştır. B ve Ca'un birlikte yapılan kombinasyon uygulamaları hiçbir uygulama yapılmayan kontrol grubu ile karşılaştırıldığında kök boyunda azalmaya neden olurken en uzun kök boyu 14.3 ± 0.731cm ile 45 ppm B + 80 ppm Ca uygulamasında yetiştirilen fidelerde tespit edilmiştir ($p < 0.05$). Ayrıca 45 ppm B + 40 ppm Ca, 45 ppm B + 80 ppm Ca ve 30 ppm B + 120 ppm Ca uygulamalarının tek başına uygulanan Ca'a göre kök boyu uzunluğunda daha etkili olduğu saptanmıştır ($p < 0.05$).

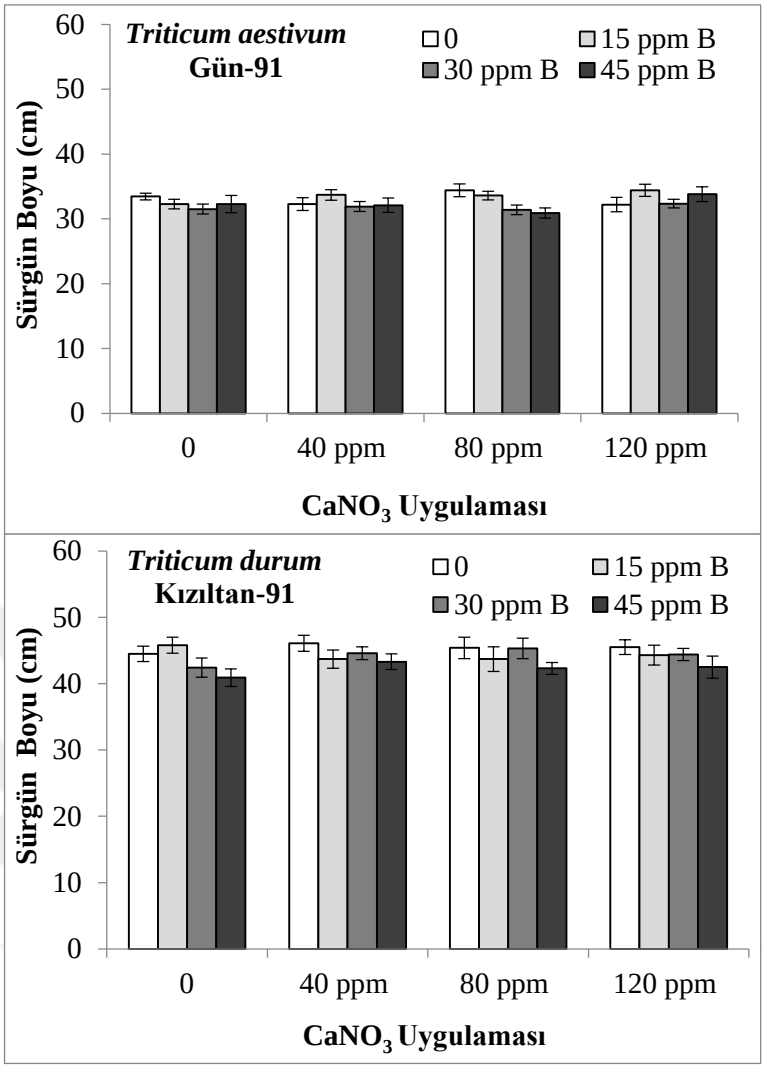
Makarnalık buğday (*Triticum durum* Desf. cv Kızıltan-91) çeşidinde en uzun kök boyu 15.8 ± 0.696 cm ile 40 ppm Ca uygulamasında yetiştirilen fidelerde belirlenmiştir ($p < 0.01$) (Şekil 4.1). Hiçbir uygulama yapılmayan kontrol grubu ile karşılaştırıldığında tek başına uygulanan B'un tüm konsantrasyonlarında artış saptanmış fakat aradaki fark istatistiki olarak önemli bulunmamıştır. Ca'un ise 40 ppm uygulamasında kök boyundaki artış önemli bulunmuştur ($p<0.01$). B ve Ca'un birlikte yapılan kombinasyon uygulamalarında en uzun kök boyu 14.8 ± 0.772 cm ile 30 ppm B + 120 ppm Ca uygulamasında tespit edilmiştir ($p < 0.05$). 30 ppm B + 80 ppm Ca, 30 ppm B + 120 ppm Ca ve 45 ppm B + 80 ppm Ca kombinasyonlarının tek başına uygulanan Ca'a göre Kızıltan-91 fidelerinin kök boyu uzunluğunda daha etkili olduğu saptanmıştır ($p<0.05$). Dolayısıyla tek başına uygulanan Ca ile karşılaştırıldığında her iki çeşitte 30 ppm B + 120 ppm Ca ve 45 ppm B + 80 ppm Ca kombinasyonlarının kök boyu artışında etkili olan ortak uygulamalar olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$) (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 Farklı B, Ca ve B + Ca konsantrayonlarında yetiştirilen buğday (*Triticum aestivum* L. cv. Gün-91, *Triticum durum* Desf. cv. Kızıltan-91) fidelerindeki kök boylarının değişimi (n=10)

4.2 B, Ca ve B + Ca Uygulamalarının Buğday (Triticum aestivum L. cv. Gün-91, Triticum durum Desf. cv. Kızıltan-91) Fidelerinde Sürgün Boyuna Etkisi

Ekmeklik buğday Gün-91 çeşidinde en uzun sürgün boyu 34.4 ± 1 cm ile 80 ppm Ca ve 34.4 ± 0.945 cm ile 15 ppm B + 120 ppm Ca uygulamalarında belirlenmiştir (Şekil 4.2). Kontrol grubu ile karşılaştırıldığında tek başına uygulanan B'un tüm konsantrasyonları, Gün-91 çeşidi fidelerinde sürgün boyunda azalmaya neden olmauş ve aradaki fark önemli bulunmuştur ($p < 0.01$). 80 ppm Ca hariç 40 ve 120 ppm Ca uygulamaları da Gün-91 çeşidi fidelerde sürgün boyunu azaltmış fakat aradaki fark önemli bulunmamıştır.



Şekil 4.2 Farklı B, Ca ve B + Ca konsantrayonlarında yetiştirilen buğday (*Triticum aestivum* L. cv. Gün-91, *Triticum durum* Desf. cv. Kızıltan-91) fidelerindeki sürgün boylarının değişimi (n=10)

B ve Ca'un birlikte yapılan kombinasyon uygulamalarında yetiştirilen fideler hiçbir uygulama yapılmayan kontrol grubu ile karşılaştırıldığında sürgün boyunda artış saptanmış ve bu artışlar 15 ppm B + 40 ppm Ca ve 15 ppm B + 120 ppm Ca uygulamalarında belirlenmiş, fark ise önemli bulunmamıştır (Şekil 4.2).

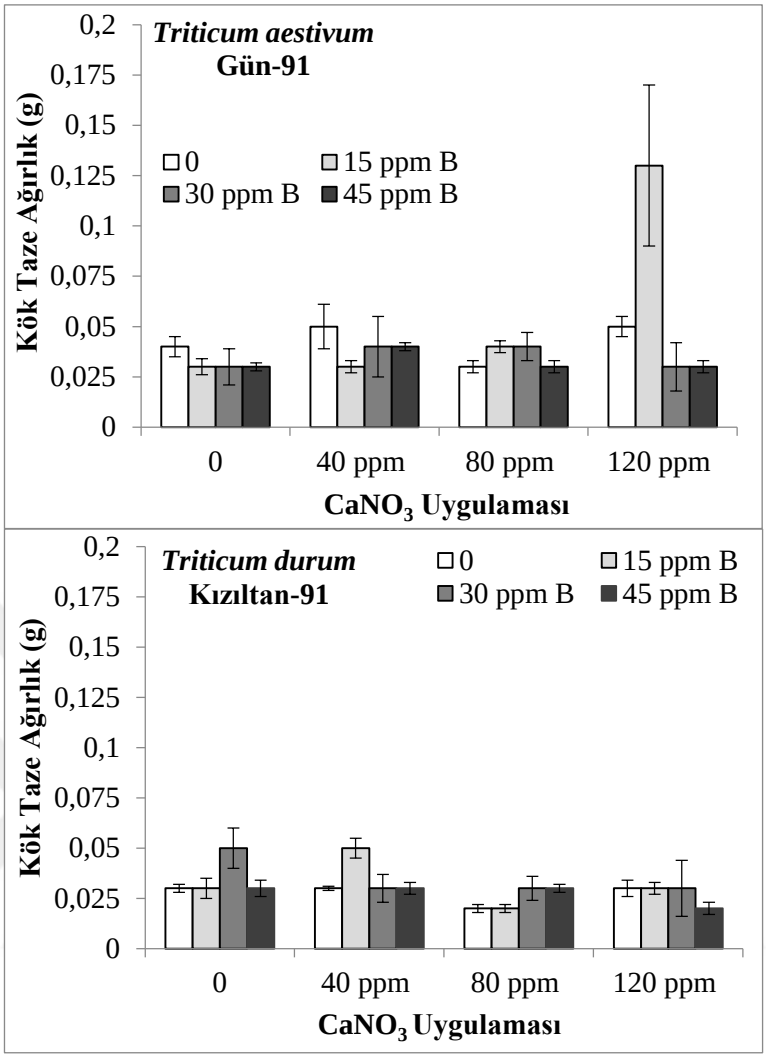
Makarnalık buğday Kızıltan-91çeşidinde en uzun sürgün boyu 46.1 ± 1.22 cm ile 40 ppm Ca uygulamasında yetiştirilen fidelerde belirlenmiştir (Şekil 4.2). Hiçbir uygulama yapılmayan kontrol grubu ile karşılaştırıldığında tek başına uygulanan 15 ppm B'un sürgün boyunda artışı önemli bulunmuştur ($p<0.01$). Ca'un ise tüm

konsantrasyonlarında yine sürgün boyunda artış tespit edilmiş fakat aradaki fark istatistiki olarak önemli bulunmamıştır. B ve Ca'un birlikte yapılan kombinasyon uygulamalarında yetiştirilen Kızıltan-91 fidelerinde en uzun sürgün boyu 45.3 ± 1.55 cm ile 30 ppm B + 80 ppm Ca uygulamasında tespit edilmiştir. B + Ca'un birlikte uygulamalarında genel olarak tek başına uygulanan Ca'a göre sürgün boyunda azalma, fakat 15 ppm B hariç tek başına uygulanan 30 ve 45 ppm B uygulamaları ile karşılaştırıldığında ise artış tespit edilmiş, aradaki fark önemli bulunmamıştır (Şekil 4.2).

4.3 B, Ca ve B + Ca Uygulamalarının Buğday (Triticum aestivum L. cv. Gün-91, Triticum durum Desf. cv. Kızıltan-91) Fidelerinde Kök Taze Ağırlığına Etkisi

Ekmeklik buğday Gün-91 çeşidinde en fazla kök taze ağırlık 0.13 ± 0.04 g ile 15 ppm B + 120 ppm Ca uygulamasında belirlenmiştir (Şekil 4.3). Hiçbir uygulama yapılmayan kontrol grubu ile karşılaştırıldığında tüm B uygulamaları Gün-91 çeşidinde kök taze ağırlığında azalma önemli bulunmuştur ($p<0.01$). Ca uygulamalarında ise kontrol grubu ile karşılaştırıldığında en fazla kök taze ağırlığı 40 ve 120 ppm Ca uygulamalarında tespit edilmiştir ($p < 0.01$) (Şekil 4.3).

B ve Ca'un birlikte yapılan kombinasyon uygulamaları, tek başına uygulanan tüm Ca ve B konsantrasyonları ile karşılaştırıldığında 15 ppm B + 120 ppm Ca uygulamasının kök taze ağırlığındaki artış farkı istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.01$). Ayrıca tek uygulanan B konsantrasyonlarına göre 30 ppm B + 40 ppm Ca, 45 ppm B + 40 ppm Ca, 15 ppm B + 80 ppm Ca ve 30 ppm B + 80 ppm Ca uygulamalarında yetiştirilen fidelerdeki kök taze ağırlığı artış da önemli olarak saptanmıştır (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 Farklı B, Ca ve B + Ca konsantrayonlarında yetiştirilen buğday (*Triticum aestivum* L. cv. Gün-91, *Triticum durum* Desf. cv. Kızıltan-91) fidelerindeki kök taze ağırlıklarının değişimi (n=10)

Makarnalık buğday Kızıltan-91çeşidinde en fazla kök taze ağırlık 0.05 ± 0.01 g ile 30 ppm B ve 0.05 ± 0.05 g ile 15 ppm B + 40 ppm Ca uygulamalarında tespit edilmiştir (Şekil 4.3). Tek başına yapılan B uygulamaları hiçbir uygulama yapılmayan kontrol grubu ile karşılaştırıldığında sadece 30 ppm B hariç diğer B konsantrasyonlarında yetiştirilen fidelerin kök taze ağırlığında önemli bir değişim saptanmazken, tek başına uygulanan 80 ppm Ca kök taze ağırlığında azalmaya neden olmuştur.

Her iki çeşit kök taze ağırlığı bakımından karşılaştırıldığında ise en fazla kök taze ağırlık 15 ppm B + 120 ppm Ca uygulaması yapılan Gün-91 çeşidinde belirlenmiştir ($p < 0.01$.) (Şekil 4.3).

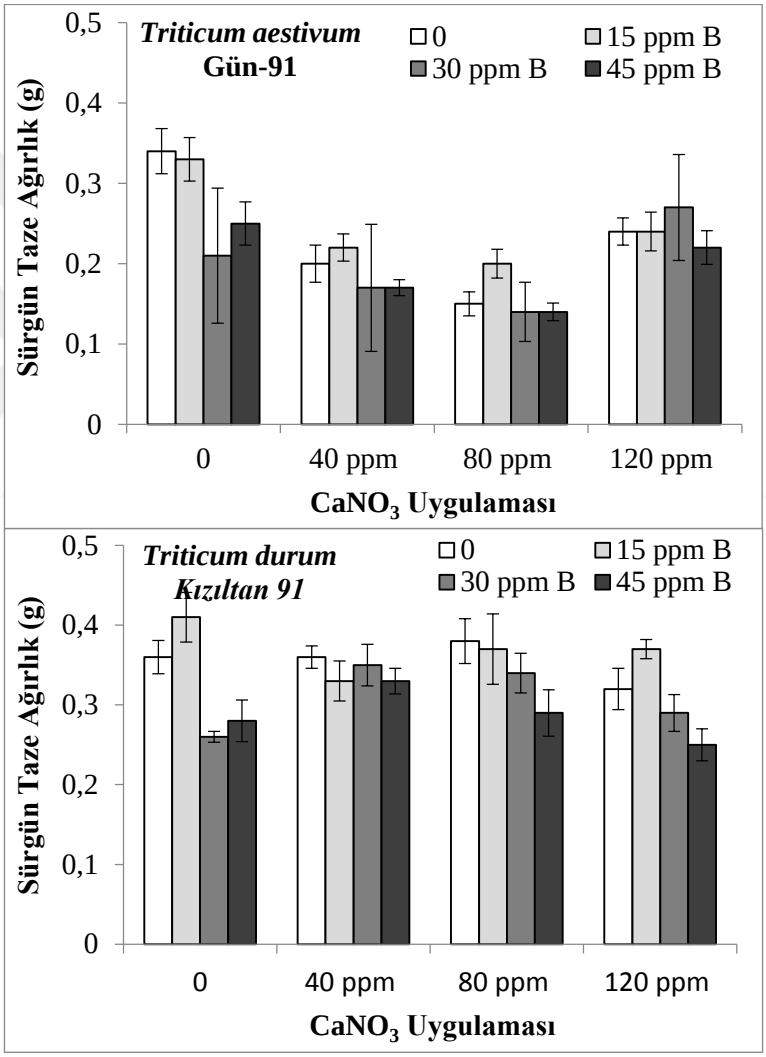
4.4 B, Ca ve B + Ca Uygulamalarının Buğday (Triticum aestivum L. cv. Gün-91, Triticum durum Desf. cv. Kızıltan-91) Fidelerinde Sürgün Taze Ağırlığına Etkisi

Ekmeklik buğday Gün-91 çeşidinde en fazla sürgün taze ağırlık 0.34 ± 0.028 g ile hiçbir uygulama yapılmayan kontrol grubunda ve bunu takiben 0.33 ± 0.027 g ile 15 ppm B uygulamasında belirlenmiştir. Hiçbir uygulama yapılmayan kontrol grubu ile karşılaştırıldığında tüm B uygulamalarında Gün-91 çeşidinde sürgün taze ağırlığındaki azalma önemli bulunmuştur ($p<0.01$) (Şekil 4.4).

Ca uygulamalarında en fazla sürgün taze ağırlığı 0.24 ± 0.017 g ile 120 ppm Ca uygulamasında tespit edilmiştir. B ve Ca'un birlikte yapılan kombinasyon uygulamaları tek başına uygulanan Ca ile karşılaştırıldığında 15 ppm B + 40 ppm Ca, 15 ppm B + 80 ppm Ca ve 30 ppm B + 120 ppm Ca uygulamaları yapılan Gün-91 fidelerinde sürgün taze ağırlığında artışa neden olmuştur ve en fazla artış ise % 12.5 ile 30 ppm B + 120 ppm Ca uygulamasında saptanmış, aradaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Bu uygulama aynı zamanda tek başına uygulanan 30 ppm B ile karşılaştırıldığında da sürgün taze ağırlığında yaklaşık olarak % 28.5'lik bir artışa neden olmuştur (Şekil 4.4).

Makarnalık buğday Kızıltan-91çeşidinde en fazla sürgün taze ağırlık 0.41 ± 0.031 g ile 15 ppm B uygulamasında belirlenmiştir (Şekil 4.4). Hiçbir uygulama yapılmayan kontrol grubu ile karşılaştırıldığında tek başına uygulanan 15 ppm B hariç diğer konsantrasyonları, Kızıltan-91 çeşidinin sürgün taze ağırlığında azalmaya neden olmuş aradaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.01$). Ca uygulamalarında en fazla sürgün taze ağırlığı 0.38 ± 0.028 g ile 80 ppm Ca uygulamasında tespit edilmiştir.

B ve Ca'un birlikte yapılan kombinasyon uygulamaları tek başına uygulanan Ca ile karşılaştırıldığında ise 15 ppm B + 120 ppm Ca uygulaması hariç diğer uygulamalarda yetiştirilen fidelerdeki sürgün taze ağırlığında azalma tespit edilmiş, fakat istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık saptanamamıştır. Tek başına uygulanan Ca ve B + Ca birlikte uygulamaları tek başına uygulanan 30 ve 40 ppm B konsantrasyonlarında yetiştirilen fidelerdeki sürgün taze ağırlıkları karşılaştırıldığında genel olarak artış tespit edilmiştir



Şekil 4.4 Farklı B, Ca ve B + Ca konsantrayonlarında yetiştirilen buğday (*Triticum aestivum* L. cv. Gün-91, *Triticum durum* Desf. cv. Kızıltan-91) fidelerindeki sürgün taze ağırlıklarının değişimi (n=10)

Her iki çeşit sürgün taze ağırlığı bakımından karşılaştırıldığında ise en fazla sürgün taze ağırlık 0.41 ± 0.031 g ile 15 ppm B uygulaması yapılan Kızıltan-91 çeşidinde belirlenmiştir. Ayrıca 30 ve 45 ppm B uygulamaları her iki çeşitte de sürgün taze ağırlığında azalmaya neden olmuştur ($p<0.01$) (Şekil 4.4)

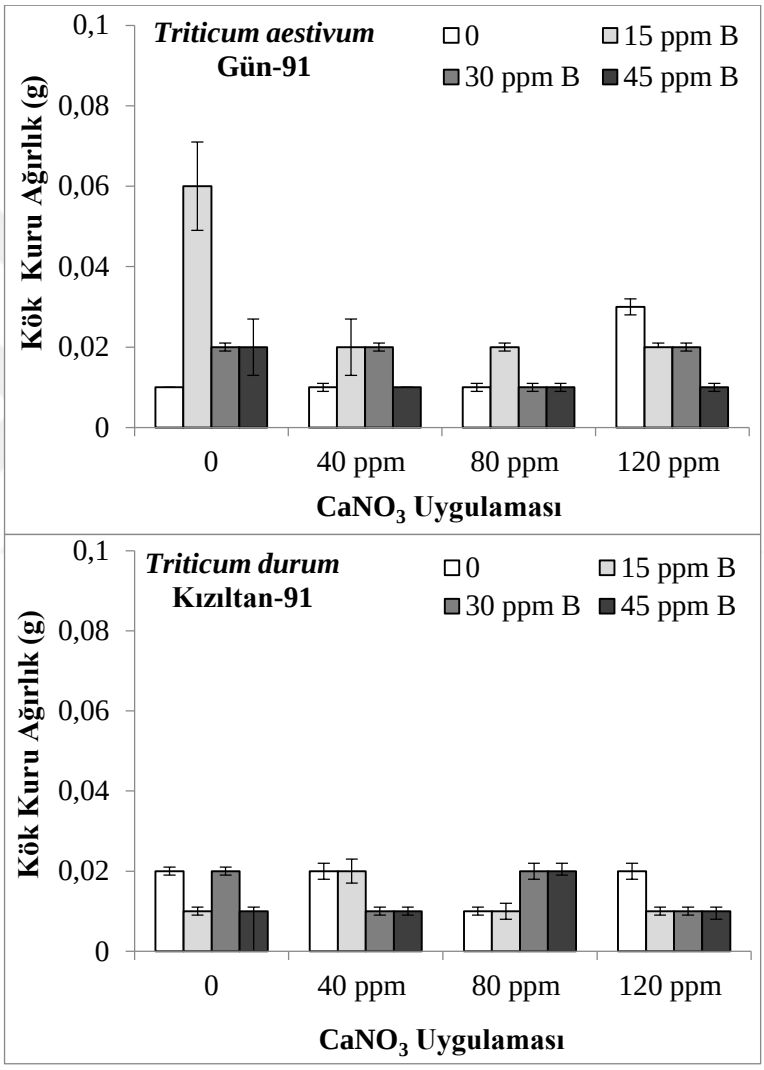
4.5 B, Ca ve B + Ca Uygulamalarının Buğday (Triticum aestivum L. cv. Gün-91, Triticum durum Desf. cv. Kızıltan-91) Fidelerinde Kök Kuru Ağırlığına Etkisi

Kök kuru ağırlığı bakımından yapılan varyans analizi sonucunda çeşit*bor*kalsiyum interaksiyonu istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.01$). Ekmeklik buğday Gün-91 çeşidinde en fazla kök kuru ağırlık 0.06 ± 0.011 g ile 15 ppm B uygulamasında belirlenmiştir ($p<0.01$) (Şekil 4.5). Hiçbir uygulama yapılmayan kontrol grubu ile karşılaştırıldığında tüm B uygulamaları ve 120 ppm Ca, Gün-91 çeşidinde kök kuru ağırlığında artışa neden olmuş ve aradaki fark önemli bulunmuştur ($p<0.01$) . 15 ppm B uygulaması ile karşılaştırıldığında tek başına uygulanan Ca ve tüm B + Ca kombinasyon uygulamalarının kök kuru ağırlığının daha düşük olduğu tespit edilmiş ve aradaki farklar önemli bulunmuştur ($p<0.01$) (Şekil 4.5).

Ca uygulamaları hiçbir uygulama yapılmayan kontrol grubu ile karşılaştırıldığında ise en yüksek kök taze ağırlığı 0.03 ± 0.002 g ile 120 ppm Ca uygulamasında saptanmıştır (Şekil 4.5). Ayrıca 30 ve 45 ppm B konsantrasyonu yapılan fidelere göre 120 ppm Ca uygulamasında yetiştirilen fidelerdeki kök kuru ağırlığındaki artış da önemli bulunmuştur ($p<0.01$). B ve Ca'un birlikte yapılan kombinasyon uygulamaları, sadece tek başına uygulanan 40 ve 80 ppm Ca ile karşılaştırıldığında 15 ppm B + 80 ppm Ca uygulamasının kök kuru ağırlığındaki artışa neden olan uygulama olarak tespit edilmiş ve aradaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.01$) (Şekil 4.5).

Makarnalık buğday Kızıltan-91 çeşidinde, 30 ppm B ve 80 ppm Ca hariç diğer tek başına yapılan uygulamalar hiçbir uygulama yapılmayan kontrol grubu fideler ile karşılaştırıldığında kök kuru ağırlığında azalmaya neden olmuş ve aradaki fark önemli bulunmuştur ($p<0.01$) (Şekil 4.5). Tek başına uygulanan 80 ppm Ca ile karşılaştırıldığında 30 ppm B + 80 ppm Ca, 45 ppm B + 80 ppm Ca uygulamaları kök

kuru ağırlığındaki artış önemli bulunmuştur ($p<0.01$). Aynı uygulamaların tek başına uygulanan 15 ve 45 ppm B ile karşılaştırıldığında da kök kuru ağırlığında artışa neden olduğu saptanmış ve aradaki fark yine önemli bulunmuştur (Şekil 4.5). Ayrıca, 15 ppm B + 40 ppm Ca, 30 ppm B + 80 ppm Ca, 45 ppm B + 80 ppm Ca tüm B + Ca kombinasyon uygulamalarında en yüksek kök kuru ağırlığına sahip uygulamalar olarak tespit edilmiştir ($p<0.01$) (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 Farklı B, Ca ve B + Ca konsantrayonlarında yetiştirilen buğday (*Triticum aestivum* L. cv. Gün-91, *Triticum durum* Desf. cv. Kızıltan-91) fidelerindeki kök kuru ağırlıklarının değişimi (n=10)

Kök kuru ağırlığı bakımından yapılan varyans analizi sonucunda çeşit*bor*kalsiyum interaksiyonu istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.01$). Her iki çeşit kök kuru ağırlığı bakımından karşılaştırıldığında ise en fazla kök kuru ağırlık 15 ppm B uygulaması yapılan Gün-91 çeşidinde belirlenmiştir ($p<0.01$). (Şekil 4.5).

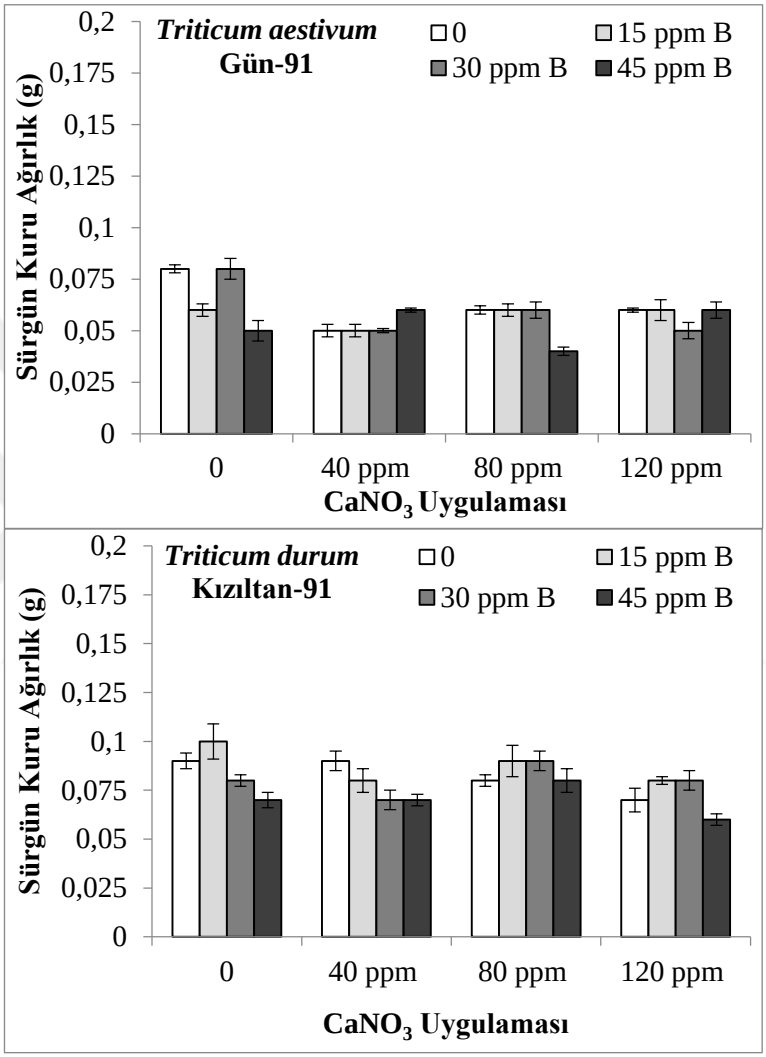
4.6 B, Ca ve B + Ca Uygulamalarının Buğday (Triticum aestivum L. cv. Gün-91, Triticum durum Desf. cv. Kızıltan-91) Fidelerinde Sürgün Kuru Ağırlığına Etkisi

Ekmeklik buğday Gün-91 çeşidinde en fazla sürgün kuru ağırlık 0.08 ± 0.002 g ile hiçbir uygulama yapılmayan kontrol grubunda ve 30 ppm B uygulamasında belirlenmiştir ($p<0.01$) (Şekil 4.6). Hiçbir uygulama yapılmayan kontrol grubu ile karşılaştırıldığında 15 ve 45 ppm B uygulamaları ($p<0.01$), Ca'un ise tüm konsantrasyonları Gün-91 çeşidinde sürgün kuru ağırlığında azalmaya neden olmuş ve aradaki fark önemli bulunmuştur ($p<0.01$) (Şekil 4.6).

B ve Ca'un birlikte yapılan kombinasyon uygulamalarında, sadece tek başına uygulanan 45 ppm B ile karşılaştırıldığında 45 ppm B + 40 ppm Ca, 15 ppm B + 80 ppm Ca, 30 ppm B + 80 ppm Ca, 15 ppm B + 120 ppm Ca, 45 ppm B + 120 ppm Ca uygulamalarında yetiştirilen Gün-91 fidelerinde sürgün kuru ağırlığındaki artış önemli bulunmuştur ($p<0.01$). Benzer şekilde tek başına uygulanan 40 ppm Ca ile karşılaştırıldığında ise 45 ppm B + 40 ppm Ca uygulamasında sürgün kuru ağırlığında artış tespit edilmiş ve aradaki fark önemli bulunmuştur ($p<0.01$) (Şekil 4.6).

Makarnalık buğday Kızıltan-91çeşidinde en fazla sürgün kuru ağırlık 0.1 ± 0.009 g ile 15 ppm B uygulamasında belirlenmiştir (Şekil 4.6). Tek başına yapılan B uygulamaları hiçbir uygulama yapılmayan kontrol grubu ile karşılaştırıldığında 15 ppm B hariç diğer B konsantrasyonları sürgün kuru ağırlığında azalmaya neden olmuştur ($p<0.01$). Benzer şekilde 120 ppm Ca uygulaması yapılan fidelerin sürgün kuru ağırlığında azalmaya neden olmuş ve aradaki fark önemli bulunmuştur ($p<0.01$). B ve Ca'un birlikte yapılan kombinasyon uygulamaları, tek başına uygulanan 45 ppm B ile karşılaştırıldığında 15 ppm B + 80 ppm Ca, 30 ppm B + 80 ppm Ca, 15 ppm B + 120

ppm Ca ve 30 ppm + 120 ppm Ca uygulamaları sürgün kuru ağırlığında artışa neden olmuştur ($p < 0.01$). Aynı uygulamaların tek başına uygulanan 80 ve 120 ppm Ca ile karşılaştırıldığında da sürgün kuru ağırlığında artışa neden olduğu saptanmış ve aradaki fark önemli bulunmuştur ($p<0.01$) (Şekil 4.6).

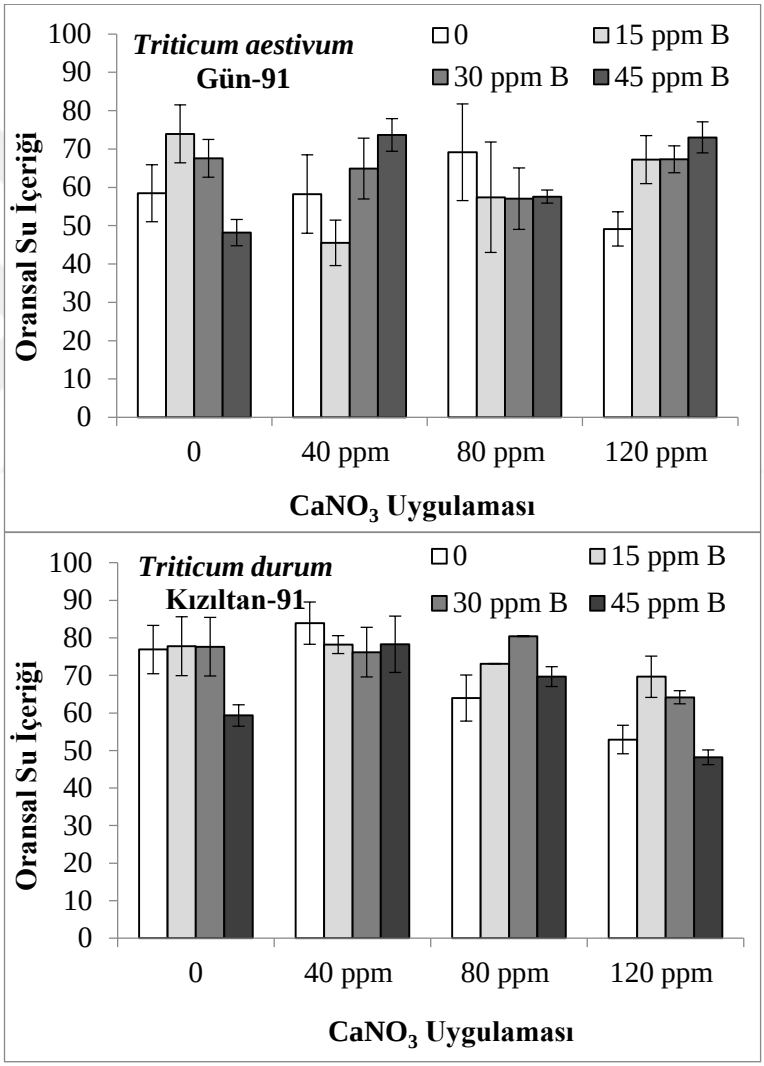


Şekil 4.6 Farklı B, Ca ve B + Ca konsantrayonlarında yetiştirilen buğday (*Triticum aestivum* L. cv. Gün-91, *Triticum durum* Desf. cv. Kızıltan-91) fidelerindeki sürgün kuru ağırlıklarının değişimi (n=10)

Sürgün kuru ağırlığı bakımından yapılan varyans analizi sonucunda çeşit*bor*kalsiyum interaksiyonu istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.01$). Her iki çeşit sürgün kuru ağırlığı bakımından karşılaştırıldığında ise en fazla sürgün kuru ağırlık 30 ppm B uygulamasında yetiştirilen Kızıltan-91çeşidinde belirlenmiştir (Şekil 4.6).

4.7 B, Ca ve B + Ca Uygulamalarının Buğday (Triticum aestivum L. cv. Gün-91, Triticum durum Desf. cv. Kızıltan-91) Fidelerinde Oransal Su İçeriğine (OSİ) Etkisi

Ekmeklik buğday Gün-91 çeşidinde, tek başına yapılan uygulamalarda, sadece yüksek konsantrasyonlardaki 45 ppm B ve 120 ppm Ca uygulamaları hiçbir uygulama yapılmayan kontrole grubu ile karşılaştırıldığında oransal su içeriğinde azalmaya neden olmuştur, fakat aradaki fark önemli bulunmamıştır (Şekil 4.7).



Şekil 4.7 Farklı B, Ca ve B + Ca konsantrayonlarında yetiştirilen buğday (*Triticum aestivum* L. cv. Gün-91, *Triticum durum* Desf. cv. Kızıltan-91) fidelerindeki oransal su içeriklerinin değişimi (n=10)

Buna karşılık 15 ppm B, 30 ppm B ve 80 Ca uygulamaları ise oransal su içeriğinde artışa neden olmuştur. 120 ppm Ca uygulaması ile karşılaştırıldığında % 36,8 ile 15 ppm B + 120 ppm Ca, 30 ppm B + 120 ppm Ca ve % 48,2 ile 45 ppm B + 120 ppm Ca uygulamalarında yetiştirilen fidelerde glukoz ve fruktoz miktarındaki artışlara paralel olarak oransal su içeriğinde de artış tespit edilmiş, ve tüm uygulamalar arasındaki en fazla artış ise 45 ppm B + 40 ppm Ca ve 45 ppm B + 120 ppm Ca uygulamalarında tespit edilmiştir ($p < 0.05$) (Şekil 4.7).

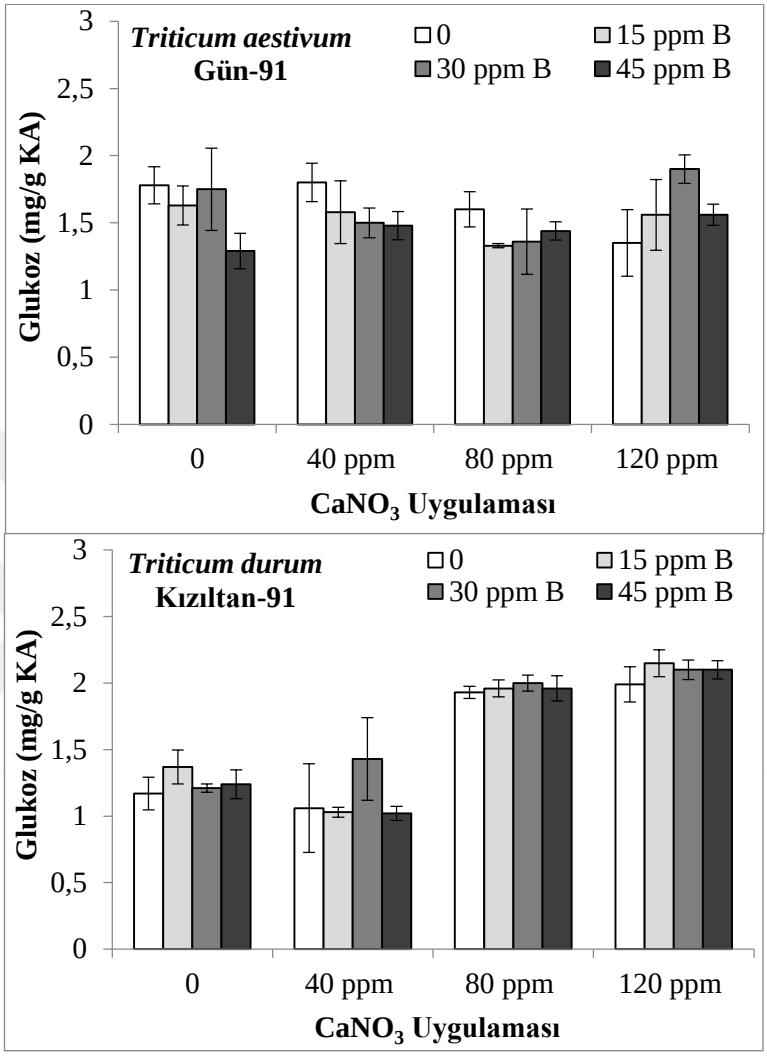
Makarnalık buğday Kızıltan-91 çeşidinde, 45 ppm B, 80 ve 120 ppm Ca konsantrasyonlarında yetiştirilen fidelerdeki oransal su içeriği hiçbir uygulama yapılmayan kontrol grubuna göre azalmış, aradaki fark ise önemli bulunmamıştır (Şekil 4.7). 40 ppm Ca konsantrasyonlarında yetiştirilen Kızıltan-91 fidelerdeki oransal su içeriği kontrol grubu ve 15, 30, 45 ppm B uygulamaları ile karşılaştırıldığında ise belirgin bir artış göstermiştir. 45 ppm B uygulaması ile karşılaştırıldığında 15 ppm B + 40 ppm Ca, 30 ppm B + 40 ppm Ca ve 45 ppm B + 40 ppm Ca ve 15 ppm B + 80 ppm Ca, 30 ppm B + 80 ppm Ca ve 45 ppm B + 80 ppm Ca uygulamaları oransal su içeriğinde önemli ölçüde artışa neden olmuştur ($p<0.05$) (Şekil 4.7).

Her iki çeşit oransal su içeriği bakımından karşılaştırıldığında en yüksek oransal su içeriği 40 ppm Ca uygulamasında yetiştirilen Kızıltan-91çeşidinde belirlenmiştir ($p<0.01$) (Şekil 4.7).

4.8 B, Ca ve B + Ca Uygulamalarının Buğday (Triticum aestivum L. cv. Gün-91, Triticum durum Desf. cv. Kızıltan-91) Fidelerinde Glukoz Miktarına Etkisi

Ekmeklik buğday Gün-91 çeşidinde farklı Ca konsantrasyonları kontrol grubu ile karşılaştırıldığında 80 ve 120 ppm konsantrasyonlarında glukoz miktarındaki azalmanın önemli olduğu saptanmıştır ($p < 0.01$). 120 ppm Ca uygulaması ile karşılaştırıldığında 15 ppm B + 120 ppm Ca, 30 ppm B + 120 ppm Ca ve 45 ppm B + 120 ppm Ca uygulamalarında yetiştirilen fidelerde glukoz miktarında artış tespit edilmiş ve tüm uygulamalar arasındaki en fazla artış ise 30 ppm B + 120 ppm Ca uygulamasında

belirlenmiş, aynı uygulama farklı B konsantrasyonlarına göre de artış göstermiş, fakat aradaki fark istatistiki olarak önemli bulunmamıştır (Şekil 4.8).



Şekil 4.8 Farklı B, Ca ve B + Ca konsantrayonlarında yetiştirilen buğday (*Triticum aestivum* L. cv. Gün-91, *Triticum durum* Desf. cv. Kızıltan-91) fidelerindeki glukoz miktarının değişimi (n=3)

Kızıltan-91 çeşidinde 80 ve 120 ppm Ca konsantrasyonları hiçbir uygulama yapılmayan kontrol grubu ve 40 ppm Ca uygulaması ile karşılaştırıldığında glukoz miktarında belirgin bir artış göstermiş ve bu artışlar sırasıyla 1.93 ± 0.046 mg/g ve 1.99 ± 0.133 mg/g olarak belirlenmiştir. Glukoz miktarında bu artışlar önemli bulunmuştur ($p<0.01$) (Şekil 4.8).

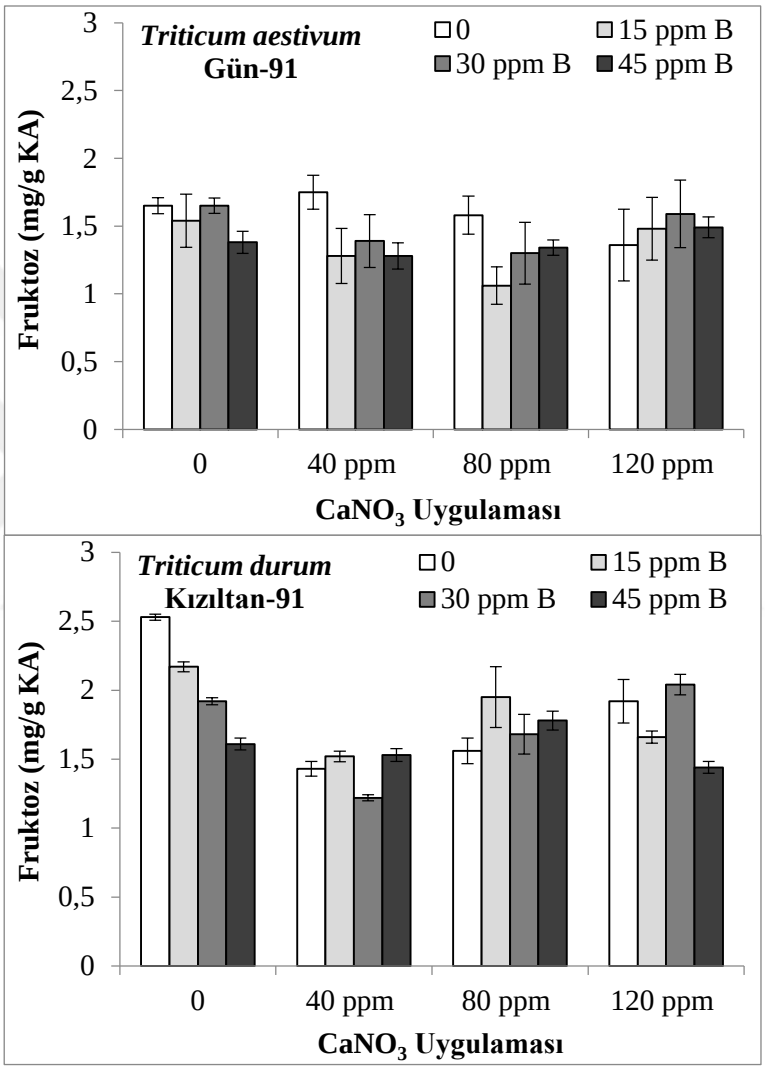
Tek başına uygulanan B konsantrasyonları (15, 30, 45 ppm B) ve 40 ppm Ca ile oluşturulan B + Ca kombinasyon uygulamalarına göre 80 ve 120 ppm Ca ile oluşturulan tüm B + Ca kombinasyon uygulamalarında (15 ppm B + 80 ppm Ca, 30 ppm B + 80 ppm Ca ve 45 ppm B + 80 ppm Ca, 15 ppm B + 120 ppm Ca, 30 ppm B + 120 ppm Ca ve 45 ppm B + 120 ppm Ca) yetiştirilen fidelerdeki glukoz miktarındaki artış önemli bulunmamış, en fazla artış ise 15 ppm B + 120 ppm Ca uygulamasında tespit edilmiştir. Ayrıca her iki çeşit tüm Ca konsantrasyonlarında glukoz miktarı bakımından karşılaştırıldığında aradaki fark önemli bulunmuştur ($p<0.01$) (Şekil 4.8).

4.9 B, Ca ve B + Ca Uygulamalarının Buğday (Triticum aestivum L. cv. Gün-91, Triticum durum Desf. cv. Kızıltan-91) Fidelerinde Fruktoz Miktarına Etkisi

Ekmeklik buğday Gün-91 çeşidinde, tek başına yapılan 15 ve 45 ppm B konsantrasyonlarındaki fruktoz miktarındaki azalma hiçbir uygulama yapılmayan kontrole göre istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.01$) (Şekil 4.9). 40 ve 80 ppm Ca uygulaması ile karşılaştırıldığında B + Ca kombinasyon uygulamalarında yetiştirilen fidelerdeki fruktoz miktarlarındaki azalma önemli bulunmuştur. Buna karşılık 120 ppm Ca uygulaması ile karşılaştırıldığında ise 15 ppm B + 120 ppm Ca, 30 ppm B + 120 ppm Ca ve 45 ppm B + 120 ppm Ca kombinasyon uygulamalarında yetiştirilen fidelerdeki fruktoz miktarında artış önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Aynı uygulamalar sadece 45 ppm B konsantrasyonuna göre de artış göstermiş ve fark önemli bulunmuştur (Şekil 4.9).

Makarnalık buğday Kızıltan-91 çeşidinde, tek başına uygulanan B ve Ca ($p<0.01$) ve tüm B + Ca ($p<0.05$) kombinasyon uygulamalarında yetiştirilen fidelerde hiçbir uygulama yapılmayan kontrole göre fruktoz miktarındaki azalma saptanmıştır ve aradaki farklar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Şekil 4.9). Bununla birlikte 80 ppm Ca konsantrasyonlarında yetiştirilen Kızıltan-91 fidelerinde ise B + Ca kombinasyon uygulamalarına (15 ppm B + 80 ppm Ca, 30 ppm B + 80 ppm Ca ve 45 ppm B + 80 ppm Ca) göre artışlar önemli bulunmuş ve fruktoz miktarında % 25'lik artış ile en fazla artış 15 ppm B + 80 ppm Ca uygulamasında belirlenmiştir. En fazla fruktoz miktarı ise 2.04 ± 0.074 mg/g ile 30 ppm B + 120 ppm Ca uygulaması yapılmış olan

fidelerde belirlenmiştir ($p<0.05$), fakat bu uygulama 120 ppm Ca uygulaması ile karşılaştırıldığında yaklaşık olarak % 6.25'lik artış göstermiştir. 15 ppm B + 80 ppm Ca ve 30 ppm B + 120 ppm Ca uygulamaları aynı zamanda 30 ve 45 ppm B konsantrasyonlarında yetiştirilen fidelerdeki frukoz miktarı ile karşılaştırıldığında da artışa neden olduğu bulunmuştur.



Şekil 4.9 Farklı B, Ca ve B - Ca konsantrasyonlarında yetiştirilen buğday (*Triticum aestivum* L. cv. Gün-91, *Triticum durum* Desf. cv. Kızıltan-91) fidelerindeki fruktoz miktarının değişimi (n=3)

Fruktoz bakımından yapılan varyans analizi sonucunda çeşit*bor*kalsiyum interaksiyonu istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.01$). Her iki çeşit tüm Ca konsantrasyonlarında fruktoz miktarı bakımından karşılaştırıldığında aradaki fark

istatistiki olarak önemli bulunmuş, en yüksek fruktoz miktarı ise 30 ppm B + 120 ppm Ca uygulamasında yetiştirilen Kızıltan-91 fidelerinde saptanmıştır ($p<0.01$) (Şekil 4.9).

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Hem Ca hem de B, bitki büyümesi ve gelişimi için temel elementlerdir (Siddiqui vd. 2013). Ca uygulamaları bitki büyümesini ve meyve gelişimini artırmaktadır. Yapılan çalışmalar ile B uygulamalarının da verimi ve kaliteyi artırdığı saptanmıştır (Wrobel 2009, Güneş vd. 2011). Bu çalışma da Ca, B uygulamaları ile Ca-B etkileşimleri buğdayın büyüme parametreleri üzerinde farklı etkilere neden olmuştur. Tek başına uygulanan tüm B konsantrasyonları B'a duyarlı olan Kızıltan-91 çeşidinde kök boyunda artışa, Gün-91 çeşidinde azalmaya, yüksek konsantrasyonlardaki B uygulamalarında her iki çeşitte sürgün boyunda ve sürgün taze ağırlığında ise azalmaya neden olmuştur. B, hücre bölünmesinin aktifleşmesinde ve hücre uzamasında önemli bir rol oynar (Marschner 1995). B, RNA oluşumunda rol alan urasil sentezine katılır ve hücre bölünmesini ve farklılaşmasını destekler, böylece meristematik aktiviteyi ve vejetatif büyümeyi korumaktadır (Jones 2003). Bu araştırmada tespit edilen fide gelişimindeki azalmaların en önemli nedeni farklı B konsantrasyonlarında, artan B miktarının meydana getirdiği toksik etki olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca, oluşan bu farklı tepkiler farklı genotiplere sahip olunmasına da bağlanabilir. Bitkilerin toksik B konsantrasyonlarına karşı farklı tepkiler verdiği bilinmektedir (Paull vd. 1988, Huang ve Graham 1990). Huang ve Graham (1990), toksik düzeydeki B konsantrasyonlarının etkisini belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmada, seçilen yedi buğday genotipinin gelişimini incelemişler ve konsantrasyonlarına bağlı olarak kök uzaması ve gelişiminin farklı olduğunu, dayanıklı olan çeşidin duyarlı olan buğday genotiplerine göre daha uzun kök eksenine sahip olduğunu belirlemişlerdir. Bu farklılığın B ile hücre membran geçirgenliği arasındaki ilişkiden kaynaklanabileceğini bildirmişlerdir. B' a dayanıklı olan çeşitlerde kuru madde ve ürün miktarında belirgin bir değişim olmazken, duyarlı olan çeşitte azalmaya neden olduğu saptanmıştır. Chantachume vd. (1995), yüksek B uygulamalarında buğday çeşitlerinin kök uzunluğundaki değişimlerin genetiksel farklılıklarından kaynaklandığını bildirmişler ve kök uzunluğu, bitki kuru madde ağırlığı, sürgün B miktarı ve B'un çeşitler üzerindeki yapmış olduğu toksik etkinin belirtileri arasında yüksek bir korelasyon bulunduğunu saptamışlardır. Kök büyümesinin azalması, domates (Cervilla vd. 2009), buğday (Turan vd. 2009) ve asma gibi farklı bitkilerde gözlenmiştir (Güneş vd. 2006). Özellikle, B toksisitesi,

baklagillerin kök meristeminde anormal bir hücre bölünmesine (Liu ve Yang 2000) ve soya kökünde kortikal hücre duvarında suberin birikimi ile birlikte hipodermis oluşumuna neden olmuştur (Ghanati vd. 2005). Bununla birlikte, lignifikasyon, domateste B kaynaklı kök büyümesi inhibisyonu için önemli bir faktör olarak görülmemiştir (Cervilla vd. 2009). Bazı çalışamalar ise B toksisitesine maruz kalan bitkilerin köklerindeki azalmanın karbonhidratların yapraklardan köklere taşınmasındaki azalmaya bağlı olduğunu ve böylece kök büyümesinin inhibe edilebileceğini bildirmişlerdir (Sheng vd. 2010). Son zamanlarda, Aquea vd. (2012), *Arabidopsis*'te B toksisitesinin neden olduğu kök büyüme inhibisyonunun moleküler temelini rapor etmiştir. B toksisitesinin, absisik asit (ABA) sinyal oluşumu, ABA cevabı ve hücre duvarı değişimi ile ilgili genlerin ekspresyonunu indüklediği gözlemlenmiştir. Ayrıca B, su transporter şifreleyen genlerin ekspresyonunu engellediği ve bu şekilde B toksisitesine bağlı oluşan su stresinin kök büyümesinde inhibisyona neden olduğunu rapor etmişlerdir. Dolayısıyla iyi bir ozmotik ayarlama sonucu kök gelişimindeki iyileşme B'a karşı bir tolerans sağlanabildiğini göstermektedir. Daha yakın zamanda, Princi vd. (2013) kısa süreli yüksek konsantrasyonda B uygulamasının farklı kök morfolojik özellikleri üzerinde belirgin bir etkisi olduğunu bildirmiştir. Bununla birlikte, yüksek B konsantrasyonlarında, toleranslı domates çeşidinde duyarlı olana kıyasla daha uzun ve daha ince bir kök sistemi oluştuğunu saptamış ve araştırmacıların toleranslı çeşitle elde ettiği sonuçlar bizim çalışmamızdan elde etiğimiz sonuçlar ile çelişki göstermiştir. Birçok bitki türü için, B eksikliği ve B toksisitesi arasındaki kritik konsantrasyonlarda dar bir aralık vardır. B toksisitesi, azaltılmış kök hücre bölünmesi, düşük fotosentetik oranlar ve azalmış lignin ve suberin seviyeleri vs. gibi, bitkilerde farklı etkilere neden olabilir (Reid 2007).

Ca'un kök uzaması üzerindeki etkisine dair yapılan son araştırmalar, Ca^{2+} uygulamasının büyümeyi hem inhibe ettiğini hem de uyarıldığını göstermektedir (Hasenstein ve Evans 1988, Evans vd. 1990). Takahashi vd. (1992) doğrudan kök başlığına uygulanan 10 veya 20 mm eksojen Ca'un bezelye (*Pisum sativum* L.) ve mısır (*Zea mays* L.) fidelerinde kök uzamasını önemli ölçüde uyardığını bildirmişlerdir. Arpada, olgun yapraklarda gelişen B toksisitesi semptomları yaprak tabanına yakın yaprak kenarlarında klorozis ile kendini göstermiş ve bir süre sonra da nekrotik hale

gelmiş ve bazen de yaprak kayıpları ile sonuçlanmıştır. Ayrıca, B toksisitesi sürgün büyümesinde, tahıl ve saman veriminde önemli bir azalmaya yol açmaktadır (Nable vd. 1997). Bu çalışmada en uzun sürgün ve kök boyu genel olarak 40 ppm Ca uygulamasında yetiştirilen fidelerde belirlenmiştir. Muhtemelen bu durum Ca'un mitoz ve sitokinezde yer alan enzimleri aktive etmesi ile de bağlantılı olabilir (Gislerød 1999). Ca hücre bölünmesi, hücre uzaması, hücre duvarı gelişimi, nitrat alımı ve metabolizması için önemlidir. B ve Ca bitki organlarının oluşumu için gerekli metabolitlerin miktarının belirlenmesinde rol oynayarak bitkilerin vejetatif büyümesini arttırmaktadır (Marscher 1995).

Bu çalışmada B + Ca'un birlikte yapılan uygulamaları tek başına uygulanan 30 ve 45 ppm B uygulamaları ile karşılaştırıldığında sürgün boyunda genel olarak artışa neden olduğu ve Ca uygulamasının B'un toksik etkisini azalttığı belirlenmiştir. B toksisitesi sorunu bazı araştırmacılar tarafından Ca uygulama yaklaşımı ile çözülmeye çalışılmıştır. Bu yaklaşım B ve Ca arasındaki etkileşimi gösteren bazı kanıtlara dayandırılmaktadır. Haleema vd. (2018) domateste yaptıkları çalışmada bitki boyu, primer ve sekonder dallar, her bitki başına düşen yaprak sayısı ve ortalama yaprak alanının % 0- 0.6 aralığındaki Ca uygulamalarında kontrol grubuna göre % 12, 42, 51, 77 ve 41 gibi değişen oranlarda artış gösterdiğini belirlemişlerdir. Benzer şekilde düşük B konsantrasyonlarında, bitki boyu, primer ve ikincil dallar ve yaprak sayısında artış saptanırken yüksek B konsantrasyonlarında bu parametrelerde azalma saptanmıştır. Çalışmada uygulamalara bağlı olarak meydana gelen artışlar, Ca'un bitki hücre duvarının temel bir bileşeni olması ve hücre bölünmesi ve genişlemesinde önemli bir rol oynamasına bağlanmaktadır (Rashid 2000, Ilyas vd. 2014). Yaprak sayısındaki artışın, Ca'un doğrudan fotosentezi düzenlemesiyle açıklanmaktadır. Tek başına Ca, enzimleri, fotosentezi ve karbonhidrat metabolizmasını aktive ederek yaprak alanını artırmıştır (Hussain vd. 2003). Bu nedenle, Ca'un daha uzun bitkiler, bitki başına daha fazla dal ve daha fazla yaprak alanının oluşumunu uyarmış olması muhtemeldir. Mevcut sonuçlar, domates bitkisinin uzunluğunun genellikle Ca uygulamasına olumlu tepki verdiğini ve domates bitkisinin vejetatif çoğalmasını veya sürgün büyümesini arttırdığını göstermiştir. Benzer şekilde, B bitki hücre çeperinin gelişimi ve hücrelerin farklılaşması ile sürgün büyümesinin artırılmasını sağlayarak bitki boyu, dal ve bitki başına düşen

yaprak sayısını da artırmaktadır (Ilyas vd. 2014). Bununla birlikte B konsantrasyonunda daha fazla artışın bitki boyunu, dalları, bitki başına düşen yaprak sayısını ve ortalama yaprak alanını azalttığı da gözlenmiştir. Bitkinin mikro besin olan B'a olan talebi genel olarak değişmektedir. Optimal B dozları topraktan toprağa farklılık göstermektedir. Farklı bitki türleri için B'un fazlası ve eksikliği arasındaki belirleyici doku konsantrasyonlarında çok ince bir sınır bulunmaktadır. B toksisitesi vasküler bitkiler üzerinde, fotosentetik oranlarda, hücre bölünmesinde, suberin ve lignin seviyelerinde azalma gibi farklı etkiler gösterebilmektedir. Yüksek B konsantrasyonu boy, yaprak, dal gibi bitkisel büyümeyi, çiçek ve meyvelerde de üreme gelişimini azaltabilir. Bitki büyümesi için hem Ca hem de B gereklidir (Bose ve Tripathi 1996). B ayrıca özellikle hücre duvarındaki Ca metabolizmasını da arttırmaktadır (Blevins ve Lukaszewski 1998). Ca + B kombinasyonunun daha fazla dal ve yaprağa sahip olan daha uzun boylu bitki üretiminde daha etkili olduğu kanıtlanmıştır (Haleema vd. 2018). Gupta (1979) ve Taban vd. (1995), B ve Ca arasında negatif bir korelasyon olduğunu bulmuşlardır. Bu araştırmacılar, bitkiye B uygulandığında Ca konsantrasyonun azaldığını, Ca uygulandığında ise B konsantrasyonun azaldığını bildirmişlerdir. Ca uygulanması hem B'un kullanılabilirliğini hem de B'un alınımını azaltmıştır. Bu sonuç, Ca'un hücre duvarında lokalize olması ile açıklanmaktadır. Dolayısıyla Ca'un hücre duvarında lokalizasyonu, hücre duvarının B'a olan geçirgenliğini azalmakta ve B alımına da engel olmaktadır. Nable vd. (1997) sulama suyuna Ca ilavesinin bitkilerde B birikiminde azalmaya yol açtığını rapor etmişlerdir. Sotiropoulos vd. (2002) Ca'un kivi yetiştiriciliğinde, bitkileri B'un zararlı etkilerine karşı kısmen koruduğunu bildirmişlerdir. Ca konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak toleransın arttığını ve burada yüksek Ca konsantrasyonunun B emilimini azalttığını belirtmişlerdir. Turan vd. (2009) buğdayın sürgün ve kök gelişiminin B tarafından azaltıldığı sonucuna varmış; bununla birlikte, Ca uygulamaları ile B'un bitki büyümesi üzerindeki inhibe edici etkisini azalttığını saptamışlardır (El-Feky vd. 2012). Bununla birlikte, Kappes vd. (2008) soya fasulyesinde B uygulamasının ortalama bitki boyunu arttırdığını tespit etmişlerdir. Buğdayın Ca ve B uygulaması ile bitki boylarındaki bu artış bitkilerin çeşitli fizyolojik yollarında bu besinlerin fonksiyonları ile ilgili olabileceği ileri sürülmüştür. Çünkü, Ca hücre bölünmesi, farklılaşma ve uzama (Hepler 2005) gibi bitkilerin büyümesi ve gelişmesi, yaprak ve kök gelişimini düzenleyen birkaç enzim sistemini aktive edilmesi

gibi metabolik süreçlerde haberci olarak görev yapmaktadır (Mengel ve Kirkby 2001). Buna karşılık B hücre duvarı oluşumu için esastır ve yeni hücrelerin gelişiminde ve büyümesinde önemli bir rol oynar (Camacho-Cristobal vd. 2008). Ek olarak, bu element bitkilerde oksinin üretimini de düzenler. Oksin, diğer fonksiyonların yanı sıra bitkinin uzaması, hücre bölünmesi ve büyümesinden sorumlu olan bir bitki hormonudur (Mengel ve Kirkby 2001). Bu nedenle, yeterli Ca ve B bitkilerin büyümesi ve gelişmesi için çok önemlidir. Dolayısıyla, her iki elementin bitkilere en uygun Ca/B oran kombinasyonunda uygulanması önem taşımaktadır.

B uygulaması, tahıl bitkilerinin meyve verimini arttırmış, pirinçte boş tane oluşumunu azaltmış, bezelyede de bitki boyunu ve nod sayısını azaltmıştır (Bagheri vd. 1992). Domates bitkilerinde, fazla B, taze ve kuru ağırlığı azaltıp verimi düşürmüştür (Kaya vd. 2009). Kavun bitkilerinin taze ve kuru bitki maddesi artan B konsantrasyonları ile önemli ölçüde azalmıştır (Goldberg vd. 2003). B toksisitesinin en belirgin fenotipik etkisi; bitki kuru ağırlığının azalması (Turan vd. 2009) ve kök dokusundaki artan B seviyesi ile birlikte kök büyümesindeki gerilemedir. Güneş vd. (2006), artan konsantrasyonlarda uygulanan (0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 ve 2.5 mg B kg-1) B'un ekmeklik (*Triticum aestivum* L. cv. Bezostaya) ve makarnalık (*Triticum durum* L. cv. Kızıltan–91) buğday çeşitlerinde gövde kuru ağırlıklarını arttığını rapor etmişlerdir. Taban ve Erdal (2000) yaptıkları çalışmada makarnalık buğday çeşitlerinin ekmeklik buğday çesitlerine göre B'dan daha fazla etkilendiği ve gelişimin gerilediği, ekmeklik buğdayda ise bazı çeşitler hariç diğer çeşitlerinde kuru ağırlıkta artışa neden olduğunu belirlemişlerdir. B toksisitesine dirençli olan buğday çesitlerine 150 mg B kg^{-1} uygulanması sonucu üründe önemli bir azalma görülmezken, aynı ve daha düşük konsantrasyonlarda yetiştirilen duyarlı çesitlerde büyük oranda ürün ve verim kaybı tespit edilmiştir (Paul vd. 1988). Buğday çeşitlerinin B'a gösterdikleri tepkiler farklılık göstermesine rağmen B uygulaması çoğu çeşitte kuru ağırlığın azalmasına neden olmuştur. Bu çalışmada da Kızıltan-91 çeşidinde bazı B uygulamaları kök kuru ağırlığında, her iki çeşidin ise sürgün kuru ağırlığında belirgin bir azalmaya neden olmuştur. Bitki türleri arasında olduğu gibi, aynı türün çeşitleri arasında da B'a duyarlılıkta büyük farklılıkların olduğu ve bu farklılıkların nedeninin de bitkilerin B

toksisitesinden fizyolojik olarak aynı oranda etkilenmemesinden kaynaklandığı bildirilmiştir (Nable 1991).

Su içeriğinde azalma ve kloroz B toksisitesinin bilinen belirtileri arasındadır (Simon vd. 2013). B uygulamaları büyümenin yanı sıra sürgün ve kök bağıl su içeriğinin de önemli ölçüde azaldığını göstermiştir. B toksisitesinin sürgün büyümesi üzerindeki benzer olan ters etkisi daha önce kanola bitkisinde tespit edilmiştir (Koohkan ve Maftoun 2016). Su içeriği ile sürgün ve köklerdeki B konsantrasyonu arasında güçlü bir negatif korelasyon olduğu ve yüksek B'un lahanada su alınımını azaltarak su stresine yol açtığı bildirilmiştir (Pandey 2013). Ca uygulaması, B-stresli bitkilerle kıyaslandığında, sürgün ve kök uzunluklarında, sürgün ve kök kuru ağırlığı ile sürgün ve kök su içeriğindeki artışa neden olarak B toksisitesini hafifletmiştir. Bu sonuçlar, Ca'un B toksisite koşulları altında meydana gelen hasarı azaltmada önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Benzer şekilde, B toksisitesi altındaki farklı bitki türlerine yapılan $CaCl_2$ uygulamalarının B'un toksik etkisini hafiflettiği rapor edilmiştir (El-Feky vd. 2012, Siddiqui vd. 2013, Turan vd. 2009). Sürgün ve köklerde su içeriği ve B konsantrasyonu arasındaki negatif zayıf ve güçlü korelasyonlar, su kanallarını fosforilasyon gibi sinyal işlemleri ile açık tutmak için Ca'un kritik seviyelerinin korunmasının gerekli olabileceğini göstermektedir (Martínez-Ballesta vd. 2008). Ca uygulaması, yüksek B konsantrasyonunda hem kök hem de sürgündeki B birikimini ve dağılımını azaltmıştır. Bu durum Ca'un fizyolojik süreçteki önemli rolünden kaynaklanan koruyucu etkisi ile açıklanabilir. Ca hücre duvarında önemli bir rol oynar ve B'un kökten yapraklara geçişini kontrol etmektedir. Bitkiler B toksisitesi altındayken, aquaporinler nodulin 26 benzeri intrinsik proteinler (NIP'ler), tonoplast intrinsik proteinler (TIP'ler) ve plazma zarı intrinsik proteinler (PIP'ler) bitki dokularında toksik B seviyelerinin birikmesini azaltmada rol oynamaktadır (Wang vd. 2017). Bitkilerin çevresel uyaranlara cevap olarak, aquaporinin fonksiyonları tersinir fosforilasyon ile Ca^{+2} ile düzenlenmektedir (Turan vd. 2009, El-Feky vd. 2012, Siddiqui vd. 2013,). Gupta ve Macleod (1981) Ca uygulanmasının B miktarını azaltabileceğini ve B alımının azalmasına neden olabileceği sonucuna varmışlardır. Ayrıca Turan vd. (2009), Ca'un hücre duvarında lokalizasyonunun, hücre duvarının B'a geçirgenliğinin azalmasına yol açtığı sonucuna varmıştır. Metwally vd. (2018) B stresi altında Ca

uygulamasının verimi artırdığını, bunun da B stresi nedeniyle bozulmuş olan su alımının arttırılmasıyla gerçekleşebileceğini rapor etmişlerdir. Yaptıkları çalışmanın sonuçları, kanola bitkilerinin hem sürgünlerinde hem de köklerinde B stresi nedeni ile su alımında önemli bir düşüş olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte Ca uygulanması B'un su alımı üzerindeki olumsuz etkisini büyük ölçüde azaltmıştır. Ayrıca Ca, B stresli kanola bitkilerinde B birikiminde önemli bir azalmaya neden olurken, stres altındaki bitkilerin büyüme parametrelerinin yanı sıra verimde de önemli bir artış sağlamıştır. Bu çalışmada 45 ppm B uygulaması her iki çeşitte oransal su içeriğinde azalmaya neden olurken Ca ilavesi oransal su içeriğinde artışa neden olmuştur. Bu çalışmanın sonuçları, Ca'un bitki-su durumunu iyileştirerek B toksisitesini hafiflettiğini göstermektedir.

B, şeker taşınımı ve karbonhidrat metabolizmasında kilit rol oynar. Metwally vd. (2017) yapmış oldukları çalışmada B uygulamasının iki farklı buğday çeşidini farklı etkilediğini B toksisitesinin B'a duyarlı olan Gemmeza 9 çeşidinde çözünür karbonhidratların artmasına neden olurken, toleranslı olan Sakha 93 çeşidinde ise çözünür karbonhidratlarda kayda değer bir değişiklik olmadığını belirlemişlerdir. Cervilla vd. (2007) B'un iki domates (*Lycopersicon esculentum*) çeşidinin yapraklarındaki glikoz, fruktoz ve sükroz içeriğini arttırdığını belirlemişlerdir. Bu çalışmada da yapılan B uygulamaları B toksisitesine karşı duyarlı olan makarnalık buğday Kızıltan-91 çeşidinde glukoz miktarında artışa neden olmuştur. Metwally vd. (2017), bu karbonhidrat birikimini sentezindeki artıştan ziyade kullanımının sınırlandırılmasıyla ilişkili olabileceği şeklinde yorumlamışlardır. Pérez-López vd. (2010) ise, stres koşullarında bitkilerde şeker birikiminin ozmotik ayarlamayla ilgili olduğunu bildirmişlerdir. Hücre özsuyu osmotik yoğunluğunun düzenlenmesinde rol oynayan ve koruyucu eriyik molekülleri olarak tanımlanan şekerler özellikle stres koşullarında birikmektedir. Diğer bir öngörü ise şekerlerdeki artışın, nişasta hidrolizinin ve şeker dönüşümünün bir sonucu olabileceği şeklindedir (Ingram vd. 1997). Bu çalışmada B toksisitesine karşı toleranslı olan Gün-91 çeşidinde özellikle 45 ppm B uygulamasında elde edilen glukoz miktarı, diğer B uygulamalarına göre azalma göstermiştir. Her iki çeşittte fruktoz miktarında ise azalma olmuştur. Bu sonuçlar glukozun B stresine fruktozdan daha duyarlı olabileceğini göstermiştir. Ayrıca, bu azalmanın dayanıklılık kazanımı için prolin miktarının artışı ile ilişkili olabileceği daha

önce yapılmış olan çalışmalarla tespit edilmiştir (Başalp vd. 2011). B'un şeker gibi çözünen maddelerin transmembran hareketini değiştirebilme olasılığı olduğu belirtilmiş ve plazma membranı boyunca bileşikler için bir mekik görevi üstlendiği rapor edilmiştir (Goldbach 1997). Goldbach'ın (1997) modelinde, B-çözünen kompleksi oluşturarak transmembran hareketini kolaylaştırdığını; bu kompleksin serbest çözünen maddenin aksine, farklı lipofilikliğinin bir sonucu olarak transmembran da taşınmasını kolaylaştırdığı ileri sürülmektedir. Bu kompleks daha sonra pH diferansiyelinin veya metabolik aktivitesinin bir sonucu olarak sitoplazmada ayrışır, çözünen maddeyi sitoplazmaya salıverir ve ayrışmış B'un zara yeniden geri dönerek ve işlemi tekrar etmesine izin vermektedir.

Bu çalışmada B ve Ca birlikte eş zamanlı yapılan uygulamalarında ise en fazla glukoz birikimleri 30 ppm B + 120 ppm Ca ile Gün-91, 15 ppm B + 120 ppm Ca uygulamasında yetiştirilen Kızıltan-91 çeşidinde, en fazla fruktoz birikimleri ise tek başına uygulanan 40 ppm Ca ve 30 ppm B + 120 ppm Ca uygulamasında yetiştirilen Gün-91 fidelerinde ve 30 ppm B + 120 ppm Ca uygulamasında yetiştirilen Kızıltan-91 fidelerinde tespit edilmiştir. Ca'un uyardığı çözülebilir şekerlerin birikimi, Ca'un B stresinin olumsuz etkisini hafifletmedeki olumlu rolünü göstermektedir. Ca bitkilerin çok çeşitli sinyal iletim yollarında, ikinci haberci olarak görev yapmaktadır. Ca uygulamasına bağlı olarak şeker birikimindeki artışın sebebi Ca'un bir sinyal molekül olarak görev yapması ve karbonhidrat biyosentezinden sorumlu olan genleri uyarmasıyla bağlantılı olabilir. Furuichi vd. (2001) *Arabidopsis thaliana*'da yaptıkları çalışmada Ca'un sinyal molekül olarak şeker birikimine neden olduğunu belirtmişlerdir. Çözülebilir şekerler gibi ozmotik bileşenlerin birikimi, bitkilerin dokudaki su içeriğini koruyarak hücresel işlevlerini sürdürmelerine yardımcı olmaktadır. Aşırı stres, bitkilerde metabolizmayı ve zarın işlevini değiştirebilen ve çiftleşmemiş bir veya daha fazla tek elektron taşıyan moleküller olan serbest radikal birikimine (ROS) neden olmaktadır. Biyolojik membranlar serbest radikallere karşı çok hassastır ve saldırıya uğradıklarında kolayca denatüre olurlar (Sofo vd. 2016). Savunmada etkili bir aminoasit olan prolin ve şeker gibi önemli osmolitler, ROS'u nötürleştirerek membranları ve diğer hücresel yapıları korumaktadır (Ahmad vd. 2015). Hücre dehidrasyonunu önlemede önemli role sahip olan çözünür karbonhidratların bitki

yapraklarında yeterli miktarda bulunması prolin oksidasyonunu önlemektedir (Oaks vd. 1970, Başalp vd. 2011). Bu prolin birikiminin çözünür karbonhidrat ile ilişkili olabileceğini göstermektedir. Nitekim, şekerlerin serbest prolin sentezini sağlayan öncü maddeler olarak rol oynadıkları kabul edilmektedir (Stewart 1978). Şekerler osmolit gibi davranmanın yanısıra spesifik makromolekülleri koruduğu ve membran yapılarının stabilizasyonuna katkıda bulunduğu, stres sırasında hücreleri koruduğu ve membran füzyonunu önlemek için hücre zarlarındaki fosfolipidlerin polar kafa gruplarıyla etkileşime girdiği varsayılmaktadır (Phillips vd. 2002, Bellaloui vd. 2013). Bu çalışmada, kalsiyum uygulaması şekerlerde artışlara neden olmuş ve böylece B'un toksik etkisinin azalmasına yardımcı olmuş olabilir.

Ca, seçici iyon alımı nedeniyle hücre zarının geçirgenliğini stabilize etmekte ve duvar pektinlerinin çapraz bağlanmasını indükleyerek hücre duvarının sertliğini arttırmaktadır. Bitki hücre duvarındaki yapısal elementlerden biri olan Ca, pektin moleküllerine bağlanır ve hücre duvarında B'un stabilize olması için Ca-pektat kompleksleri şeklinde hücre duvarında lokalize olmaktadır (Yamaouchi vd. 1986). Yani, hücre duvarında Ca ile pektin arasında çapraz bağların oluşturulması B alınımını azaltmaktadır. Turan vd. (2009), buğdayda yüksek Ca (100 ve 200 mg Ca kg^{-1}) uygulamalarında Ca'un B (5, 10, 20 mg Ca kg^{-1}) toksisitesini hafiflettiğini rapor etmiş ve bunun da daha çok hücre duvarında Ca birikimine bağlı olarak hücredeki B alımının azaltılmasıyla bağlantılı olabileceğini belirtmişlerdir. Hücre duvarındaki Ca alımı ve konsantrasyonu arttığında, plazma zarının B geçirgenliği azalır. Bu düşüş hücre duvarı sertliği ve çapraz bağlanmanın engellenmesi ile açıklanmaktadır (Turan vd. 2009, Turan vd. 2018). Hem B hem de kalsiyum, hücre duvar yapısındaki molekülleri kovalent bağlarla çapraz bağlayarak önemli bir rol oynar; eğer bu iyonlardan biri hücre duvarında diğerinden daha fazla birikirse, biriken iyon fazla çökelme nedeniyle oluşan toksik etkinin önlenmesi için diğerinin oluşumunu engeller. Ca, B mevcudiyetini ve bunun bitkiler tarafından kullanılmasını etkilemektedir. Bu durumun aksine, toksisite ile bitki büyümesinde gerilik ise sürgün bölgesine ve meyvelere yetersiz Ca taşınması ile bağlantılıdır (Yamaouchi vd. 1986, Turan vd. 2009). Dolayısıyla, B ve Ca arasındaki uygun oran optimum bitki gelişimi için çok önemlidir. Bu çalışmadan aşırı düşük veya yüksek bir Ca/B oranının, bitkilerin büyüme yanıtını önemli ölçüde değiştirebileceği

anlaşılmaktadır. B + Ca kombinasyon uygulamaları sonucu büyüme parametreleri ve karbonhidratların miktarındaki görülen düşüşlerin sebebi B ile birleştirildiğinde Ca'un destekleyici etkisinin olmayışı ve değerlendirilen konsantrasyonlarda Ca ve B arasında olası bir antagonistik etki olduğunu göstermektedir; yüksek B oranlarına adaptasyonu düşük olan bitki türlerinde B'un Ca metabolizmasını etkilediği de rapor edilmiştir (Wang vd. 2003). Belki de bu iki elementin etkileşimi nedeniyle ürün verimindeki azalmalar, diğer besin elementlerinin artmış veya azalmış olmasından da kaynaklanıyor olabilir. Çünkü, bir bitkinin maksimum büyümesi, tüm temel elementler optimum bir konsantrasyonda mevcut olduğunda ve aralarında uygun bir denge sağlandığında meydana gelmektedir.

Toprak-bitki sistemlerinde Ca ve B arasındaki ilişki birçok araştırmacının dikkatini çekmiştir. Bu konuda, Brenchley ve Warington (1927) bu ilişkiyi öneren ilk araştırmacılardır. Daha sonraki yıllarda, bu ilişki bitkilerdeki bu iki element arasındaki oran cinsinden ifade edilmeye başlanmıştır. Bu araştırmacıların sonuçları, Ca ve B'un hem alımında hem de doku konsantrasyonunda belirli bir denge varsa, bitkilerin normal şekilde büyüdüğünü göstermiştir. Bununla birlikte, çok sayıda rapor, Ca/B oranlarının substrattaki B konsantrasyonu ile ters orantılı olduğu için bitkilerde Ca/B oranının, B eksikliğini, yeterliliğini ve toksisitesini tespit etmek için etkili bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir. Ayrıca, B'un toksik etkilerinin topraklara Ca eklenerek azaltılabileceği veya önlenebileceği vurgulanmıştır. Bu olgu hem topraktaki reaksiyonlara hem de bitkilerde metabolik süreçlere uygulanarak hayata geçirilmiştir (Pendias ve Pendias 1992). Ca/B oranı bitkideki veya topraktaki bu besin maddeleri arasındaki durumu veya dengeyi ve neredeyse birbiri için vazgeçilmez olduğunu göstermektedir. Çünkü Ca/B oranındaki oldukça küçük değişimler bile bitki büyümesini etkileyebilmektedir.

Sonuç olarak, veriler fruktoz ve glukoz içeriğinin, sürgün kuru ve taze ağırlığının ve oransal su içeriğinin yüksek B uygulamalarında azaldığını göstermiştir. Dolayısıyla, aşırı veya toksik seviyelerde olan B'un, bitki büyümesinde azalma ve bitkilerin fizyolojisi ve biyokimyasının değişimden sorumlu olabileceği sonucuna varılabilir. Ca uygulamasının düşük B seviyesi ile birlikte uygulandığında ise bitki büyümesi üzerinde

önemli bir sinerjistik etkisi yarattığı görülmüştür. Bu çalışma, uygun konsantrasyonlarda Ca uygulamasının B toksisitesini azaltmak için etkili bir yöntem olabileceği hakkında bilgi sağlamıştır. Ca ve B arasındaki bu etkileşim, buğday ıslahında B toksisitesini ortadan kaldırmak için kullanılabilir, ancak Ca ve B arasındaki bu etkileşim üzerine daha fazla hücresel ve biyokimyasal çalışmaların yapılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

Ahmad, P., Sarwat, M., Bhat, NA., Wani, M.R., Kazi, A.G. and Tran, L.S. 2015. Alleviation of cadmium toxicity in *Brassica juncea* L. (Czern. &Coss.) by calcium application involves various physiological and biochemical strategies. Plos One, 10(1), 1 - 17.

Akar, D. 2007. Potential boron pollution in surface water, crop, and soil in the lower Buyuk Menderes Basin. Environmental Engineering Science Vol. 24, No. 9

Alpaslan M., Taban S., İnal A., Kütük A.C., Erdal İ. 1996. Besin çözeltisinde yetiştirilen buğday (Triticum aestivum L.) bitkisinde Bor-Azot ilişkisi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi. Cilt 2, Sayı 3, 215 – 219

Alvarez-Tinaut, M.C. 1979. Physiological effects of boron-manganese interaction in tomato plants. III. Uptake and translocation of the microelements Mn, Cu and Zn. An.Edafol. Y. Agrobiology, 38, 1013-1029.

Anonymous. 1982. Micronutrients and The Nutrient Status of Soils: A Global Study, FAO Soils Bulletin No 48, Rome.

Aquea, F., Federici, F., Moscoso, C., Vega, A., Jullian, P., Haseloff, J. and Arce-Johnson, P. 2012. A molecular framework for the inhibition of *Arabidopsis* root growth in response to boron toxicity. Plant Cell and Environment, 35, 719-734.

Bagheri, A., Paull, J.G., Rathjen, A.J., Ali, S.M. and Moody, D.B. 1992. Genetic variation in the response of Pea (*Pisum Sativum* L.) to high soil concentrations of boron. Plant and Soil, 146(1-2), 261- 269.

Bangerth, F. 1979. Calcium related physiological disorders of plants. Annual Review of Phytopathology, 17, 97-122.

Başalp, A., Öncel, I. ve Koç, E. 2011. Bor (B) toksisitesine toleranslı ve duyarlı buğday fidelerinde bazı fizyolojik ve biyokimyasal değişimlerin belirlenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 15(3), 135-141.

Batistič O. and Kudla J. 2010. Calcium: Not Just Another Ion. Cell Biology of Metals and Nutrients, 17-54.

Bellaloui, N., Hu, Y., Mengistu, A., Kassem, M.A. and Abel C.A. 2013. Effects of foliar boron application on seed composition, cell wall boron, and seed $15^{\delta}N$ and $13^{\delta}C$ isotopes in water-stressed soybean plants. Frontiers in Plant Science, 4, 1-13.

Blevins, D.G. and K.M. Lukaszewski. 1998. Boron in plant structure and function. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 49, 481-500.

Bolaños, L., El-Hamdaoui, A. and Bonilla, I. 2003. Recovery of development and functionality of nodules and plant growth in saltstressed *Pisum sativum-Rhizobium leguminosarum* symbiosis by boron and calcium. Journal of Plant Physiology, 162, 1491 - 1495.

Bonilla I., El-Hamdaoui, A. and Bolaños, L. 2004. Boron and calcium increase *Pisum sativum* seed germination and seedling development under salt stres. Plant and Soil, 267, 97 - 107.

Bonilla, I., Cadahia, C., Carpena, O. and Hernando, V. 1980. Effects of boron on nitrogen metabolism and sugar levels of sugar beet. Plant and Soil, 57, 3 - 9.

Bose, U.S. and Tripathi, S.K. 1996. Effect of micronutrients on growth, yield and quality of tomato cv. Pusa Ruby. Crop Research, 12, 61- 64.

Boşgelmez, A., Boşgelmez, İ.İ., Savaşçı, S. and Paslı, N. 2001. Ekoloji II Toprak. Başkent Klişe matbaacılık, 675, Ankara.

Brenchley, W.E and Warington, K. 1927. The role of boron in the growth of plants. Annals of Botany, 41, 167 - 187.

Brewbaker, J.L., and Kwack, B.H. 1963. The essential role of calcium ion in pollen germination and pollen tube growth. American Journal of Botany, 50, 859 - 865.

Burstrom, H.G. 1968. Calcium and plant growth. Biological Reviews, 43, 287 - 316.

Camacho-Cristobal, J., Rexach J. and Gonzales-Fontes, A. 2008. Boron in plants: deficiency and toxicity. Journal of Integrative Plant Biology, 50(10), 1247-1255.

Cervilla, L.M., Blasco, B., Rı´os, J.J., Rosales, M.A., Rubio-Wilhelmi, M.M., Sa ´nchez-Rodrı ´guez, E., Romero, L. and Ruiz, J.M. 2009. Response of nitrogen metabolism to boron toxicity in tomato plants. Plant Biology, 11, 671 - 677.

Cervilla, L.M., Blasco, B., Ríos, J.J., Romero, L. and Ruiz, J.M. 2007. Oxidative stress and antioxidants in tomato (*Solanum lycopersicum*) plants subjected to boron toxicity. Annals of Botany, 100, 747 - 756.

Chantachume, Y., Smith, D., Hollamby, G.J., Paull, J.G. and Rathjen, A.J. 1995. Screening for boron tolerance in wheat (*T. aestivum*) by solution culture in fitler paper. Plant and Soil, 177, 249 - 254.

Chatterjee C., Sinha P., Nautiyal, N., Agarwala, S.C. and Sharma, C.P. 1987. Metabolic changes associated with boron - calcium interaction in maize. Soil Science and Plant Nutrition, 33(4), 607-617.

Chauhan, R.P.S. and Power, S.L. 1978. Tolerance of wheat and pea to boron in irrigation water. Plant and Soil, 50, 145-190.

Choi, E.Y., Kolesik, P., Mcneill, A., Collins, H., Zhang, Q., Huynh, B.L., Graham, R. and Stangoulis, J. 2007. The mechanism of boron tolerance for maintenance of root growth in barley (*Hordeum vulgare* L.). Plant Cell and Environment, 30, 984 - 993.

Eaton, F.M. 1944. Deficiency, toxicity and accumulation of boron in plants, Journal of Agricultural Research, 69, 237 - 277.

El-Feky, S.S., El-Shintinawy, F.A., Shaker, E.M. and El-Din, H.A.S. 2012. Effect of elevated boron concentrations on the growth and yield of barley (*Hordeum*

vulgare L.) and alleviation of its toxicity using different plant growth modulators. Australian Journal of Crop Science, 6(12), 1687 - 1695.

El-Gharabbly, G.A. and Bussler, W. 1986. Critical levels of boron in cotton plants. Egyptian Journal of Botany, 26, 81-90.

El-Kholi, A.F. and Hamdy, A.A. 1977. Boron potassilim interrelationship in alfaalfa plants. Egyptian Journal of Soil Science, 17, 87-92.

Emebiri, L., Michael, P. and Moody, D. 2009. Enhanced tolerance to boron toxicity in two-rowed barley by markerassisted introgression of favorable alleles derived from Sahara 3771. Plant and Soil, 314, 77 - 85.

Endho, M., Ohira, K. and Fujiwara, A. 1971. A role of calcium as a component of cell wall of radish. Journal of the Science of Soil and Manure, 42, 390 - 394.

Evans, M.L., Kiss, H.G. and Ishikawa, H. 1990. Interaction of calcium and auxin in the regulation of root elongation. In: Calcium in Plant Growth and Development, American Society of Plant Physiologists Symposium Series. RT Leonard, PK Hepler (eds), (4): 168-175, Rockville, MD.

Fang, K., Zhang, W., Xing, Y., Zhang, Q., Yang, L., Cao, Q. and Qin, L. 2016. Boron toxicity causes multiple effects on *Malus domestica* pollen tube growth. Frontiers in Plant Science, 7, 1 - 13.

Fox, R.H. 1968. The effect of calcium and pH on boron uptake from high concentrations of boron by cotton and alfalfa. Soil Science, 106, 435 - 439.

Furlani, A.M.C., Carvalho, C.P., Freitas, J.G. and Verdial, M.F. 2003. Wheat cultivar tolerance to boron deficiency and toxicity in nutrient solution. Scientia Agricola (Piracicaba, Braz.) , 60 (2), Piracicaba.

Furuichi, T., Mori, I.C., Takahashi, K. and Muto, S. 2001. Sugar-induced increasein cytosolics Ca in *Arbidopsis thaliana* whole plants. Plant Cell Physiology, 42(10), 1149 -1155.

Garate A.1984. Effect of boron on manganese and other nutrients in fluids of vascular tissues. An Edafal Agrobiology, 43, 1467 -1477.

Gezgin, S. ve Hamurcu, M. 2006. Bitki Beslemede besin elementleri arasındaki etkileşimin önemi ve bor ile diğer besin elementleri arasındaki etkileşimler. Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Dergisi, 20(39), 24 - 31.

Ghanati, F., Morita, A. and Yokota, H. 2005. Deposition of suberin in roots of soybean induced by excessboron. Plant Science, 168 (2), 397 - 405.

Gislerød, H.R. 1999. The role of calcium on several aspects of plant and flower quality from a floricultural perspective. Acta Horticulturae, 481, 345 - 351.

Goldbach, H.E. 1997. A critical review on current hypotheses concerning the role of boron in higher plants: Suggestions for further research and methodological requirements. Journal of Trace and Microprobe Techniques, 15, 51 - 91.

Goldberg, S., Shouse, P.J., Lesch, S.M., Grieve, C.M., Poss, J.A., Forster, H.S. and Suarez, D.L. 2003. Effect of high boron application on boron content and growth of melons. Plant Soil, 265(2), 403 - 411.

Gomez, R.M.V. 1981. Boron, copper, iron, manganese and zinc contents in leaves of flowering sunflower plant (*Helianthus annus* L.) grown with different boron supplies. Plant and Soil, 62, 461 - 464.

Gupta, U.C. Boron nutritions of crops. Advances in Agronomy, 31, 273-307.

Gupta, U.C. 1985. Jame, Y.W., Campbell, C.A., Leyshon, A.J. and Nicholaichuk, W. Boron toxicity and deficiency: A review. Canadian Journal of Soil Science, 65, 381 -409.

Gupta, U.C. and Macleod, J.A. 1981. Plant and soil boron as influenced by soil pH and calcium sources on podzol soils. Soil Science, 131, 20 - 25.

Gupta, U.C., Jame, Y.W., Campbell, C.A., Leyshon, A.J. and Micholaichuk, W. 1985. Boron toxicity and deficiency, a review. Canadian Journal of Soil Science, 65, 381 - 409.

Güneş A., Alpaslan, M., Özcan, H., Çıkılır, Y. 2000. The effect of Zinc on Alleviation of Boron Toxicity in Tomato Plants (*Lycopersicon esculentum L.*). Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 24, 277 - 282.

Güneş, A., Ataoğlu, N., Esringü, A., Uzun, O., Ata, S. and Turan, M. 2011. Yield and chemical composition of corn (*Zea Ma*ys L.) as affected by boron management. International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences, 1(1), 42 - 53.

Güneş, A., Soylemezoglu, G., Inal, A., Bagci, E.G., Coban, S. and Sahin, O. 2006. Antioxidant and stomatal responses of grapevine (*Vitis vinifera* L) to boron toxicity. Scientia Horticulturae, 110, 279 - 284.

Haleema, B., Rab, A. and Hussain, S.A. 2018. Effect of calcium, boron and zinc foliar application on growth and fruit production of tomato. Sarhad Journal of Agriculture, 34(1), 19-30.

Halhoul, M.N. and Kleinberg, I. 1972. Differential determination of glucose and fructose yielding substances with anthrone. Analytical Biochemistry, 50, 337 - 343.

Hall, D. 2010. Boron. Department of Agriculture and Food Wester Australia, 1 - 2.

Hamurcu, M., Harmankaya, M., Soylu, S., Gökmen, F. and Gezgin, S. 2005. Makarnalık buğdayın (*Triticum durum* L.) bazı besin elementleri kapsamına farklı dozlarda bor ve demir uygulamalarının etkisi. Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 20(38), 1 - 8.

Han, S., Tang, N., Jiang, H.X., Yang, L.T., Li, Y. and Chen, L.S. 2009. CO_2 assimilation, photosystem II photochemistry, carbohydrate metabolism and

antioxidant system of Citrus leaves in response to boron stress. Plant Science, 176, 143 - 153.

Hasenstein, K.H. and Evans, M.L. 1988. Effects of cations on hormone transport in primary roots of *Zea mays*. Plant Physiology, 86, 890 - 894.

Hepler, P.K. 2005. Calcium: A central regulator of plant growth and development. The Plant Cell, 17(10), 2142 - 2155.

Huang C., Graham R.D. 1990. Resistance of wheat genotypes to boron toxicity is expressed at the cellular level. Plant and Soil, 126(2), 295-300.

Hussain, N., Ali, A., Sarwar, G., Mujeeb F. and Tahir, M. 2003. Mechanism of salt tolerance in rice. Pedosphere, 13, 233-238.

Ilyas, M., Ayub, G., Hussain, Z., Ahmad, M., Bibi, B., Rashid A. and Luqman, A. 2014. Response of tomato to different levels of calcium and magnesium concentration. World Applied Sciences Journal, 31(9), 1560 - 1564.

Ingram, J., Chandler, J.W., Gallagher, L., Salamini, F., Bartels, D. 1997. Analysis of cDNA clones encoding sucrose phosphate synthase in relation to sugar interconversions associated with dehydration in the resurrection plant *Craterostigma plantagineum*Hochst. Plant Physiology, 115, 113-121.

Jansen, L.H. 2003. Boron, elemental. In: Kirk-othmer Encyclopedia of Chemical Technology. John Wiley and Sons, Inc.

Jones, J. B. 2003. Plant mineral nutrition. In: Agronomic handbook: Management of crops, soils and their fertility. CRC Press, Boca Raton, 325, U.S.A

Jones, W.W., Embleton, T.W., Boswell, S.B., Steinacker, M.L., Lee, B.W. and Barnhart, E.L. 1963. Nitrogen control program for oranges and high sulfate and lor high boron. California Citrogr, 48(107), 128-130

Kanwal, S., Rahmatullah, T.A. , Muhammad, A. M. and Najam, A. 2008. Critical Ratio of Calcium and Boron in Maize Shoot for Optimum Growth. Journal of Plant Nutrition, 31, 1535–1542.

Kappes, C., Golo, A.L. and Carvalho, M.A.C. 2008. Doses e épocas de aplicação foliar de boro nas características agronômicas e na qualidade de sementes de soja. Scientia Agraria, Curutiba, 9(3), 291 - 297.

Kastori, R., Petrovic, M., Petrovic, N., Loomis, W.D. and Druts, R.W. 1992. Chemistry and biology of boron. Biofactors, 3, 229 - 239.

Kaya, C., Tuna, A.L., Dikilitas, M., Ashraf, M., Koskeroglu, S. and Guneri, M. 2009. Supplementary phosphorus can alleviate boron toxicity in tomato. Scientia Horticulturae, 121, 284 - 288.

Kobayashi, M., Nakagawa, H., Asaka, T. and Matoh, T. 1999. Borate rhamnogalacturonan II bonding reinforced by Ca^{2+} retains pectic polysaccharides in higher-plant cell walls. Plant Physiology, 119, 199 - 203.

Koohkan, H. and Maftoun, M. 2016. Effect of nitrogen-boron interaction on plant growth and tissue nutrient concentration of canola (*Brassica napus* L.). Journal Plant Nutrition, 39, 922 - 931.

Kot, S.F. 2008. Boron sources, speciation and its potential impact on health. Reviews in Environmental Science and Biotechnology, 8 (1), 3 - 28.

Krauskopf M., Chen C.M., Ofengand J. 1972. Interaction of Fragmented and Cross-Linked *Escherichia coli* Valine Transfer Ribonucleic Acid with Tu Factor-Guanosine Triphosphate Complex. American Society of Biological Chemists, Inc.

Krichevsky, A., Kozlovsky, S.V., Tian, G.W., Chen, M.H., Zaltsman, A. and Citovsky, V. 2007. How pollen tubes grow. Developmental Biology, Pasadena, 303(2), 405 - 420.

Landi, M., Pardossi, A., Remorini, D. and Guidi, L. 2013. Antioxidant and photosynthetic response of a purple-leaved and a green-leaved cultivar of sweet basil (*Ocimum basilicum*) to boron excess. Environmental and Experimental Botany, 85, 64 - 75.

Liu, D., Jiang, W., Zhang, L. and Li, L. 2000. Effects of boron ions on root growth and cell division of broadbean (*Vicia faba* L.). Israel Journal of Plant Science, 48, 47 - 51

Liu, P. and Yang, P.A. 2000. Effects of molybdenum and boron on membrane lipid peroxidation and endogenous protective systems of soybean leaves. Acta Botanica Sinica, 42, 461 - 466.

Loomis, W.D. and Durst, R.W. 1992. Chemistry and biology of boron. BioFactors, 3 229 - 239.

Lyday, P.A. 2000. Boron. Minerals Yearbook, Geological Survey, 14.1-14.8, California.

Mahajan, S. and Tuteja, N. 2005. Cold, salinity and drought stresses: an overview. Archives of Biochemistry and Biophysics, 444, 139 - 158.

Marschner, H. 1995. The soil root interface (rhizosphere) in relation to mineral nutrition. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, 889, Germany.

Marschner, H. 1986. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, 252-254, London.

Martínez-Ballesta, M.C., Cabañero, F., Olmos, E., Periago, P.M., Maurel, C. and Carvajal, M. 2008. Two different effects of calcium on aquaporins in salinity-stressed pepper plants. Planta, 228, 15 - 25.

Mengel, L. and Kirkby, E.A. 2001. Principles of plant nutrition. Bern: International Potash Institute. Springer, 687, Berne.

Metwally, A.M., Radi, A.A., El-Shazoly, R.M. and Hamada, A.M. 2018. The role of calcium, silicon and salicylic acid treatment in protection of canola plants against boron toxicity stres. Journal of Plant Research, 131(6), 1015 - 1028.

Metwally, A.M., El-Shazoly, R.M. and Hamada, M. 2017. Physiological responses to excess boron in wheat cultivars. European Journal of Biological Research, 7(1), 1 - 8.

Moore, G., 2004. Soil Guide: A Handbook for Understanding and Managing Agricultural Soils. Moore, G. (ed.), Department of Agriculture, Western Australia.

Muntean, D.W. 2009. Boron, the Overlooked Essential Element. Soil and Plant Laboratory. Inc., Bellevue.

Nable, R.O. 1988. Resistance to boron toxicity amongst several barley and wheat cultivars: A preliminary examination of the resistance mechanisim. Plant and Soil, 112, 45 - 52.

Nable, R.O. 1991. Distribution of boron within barley genotypes with differing susceptibilities to boron toxicity. Journal of Plant Nutrution, 14(5), 453-461.

Nable, R.O., Banuelos G.S. and Paull J.G. 1997. Boron toxicity. Plant and Soil, 193, 181 -198.

Nozawa, A., Masaharu J.T., Kobayashi ,Wirén N.V., Fujiwara T. 2006. Roles of BOR1, DUR3, and FPS1 in boron transport and tolerance in Saccharomyces cerevisiae. FEMS Microbiology Letters, 262(2), 216 - 222.

Nuttall, C.Y. 2000. Boron tolerance and uptake in higher plants. PhD thesis, University of Cambridge, UK.

Oaks, A., Mitchell, D.J., Barnard, R.A. and Johnson, F.J. 1970. The regulation of proline biosynthesis in maize roots. Canadian Journal of Botany, 48, 2249 - 2258.

Pandey, N.A. 2013. Antioxidant responses and water status in brassica seedlings subjected to boron stress. Acta Physiologia Plantarum, 35, 697 - 706.

Parks, J.L. and Edwards, M. 2005. Boron in the environment. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 35, 81 - 114.

Patel, M.S. and Golakia, B.A.1986. Effect of calcium carbonate and boron application on yield and nutrient uptake by groundnut. Journal of Indian Society Soil Science, 34, 815 - 820.

Patel, N.K. and Mehta, B.V. 1966. Effect of various calcium-boron and potassium-boron ratios on the growth and chemical composition of aromatic strains of Bidi tobacco (*Nicotina tabacum* L.). Journal of Indian Society Soil Science, 14, 241 - 251.

Paull, J.G., Cartwright, B. and Rathjen, A.J. 1988. Responses of wheat and barley genotypes to toxic concentrations of soil boron. Euphytica, 39, 137 - 144.

Pendias, K. and Pendias, H. 1992. Trace elements in soils and plants. CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida.

Pérez-López, U., Robredo, A., Lacuesta, M., MuñozRueda, A. and Mena-Petite, A. 2010. Atmospheric CO_2 concentration influences the contributions of osmolyte accumulation and cell wall elasticity to salt tolerance in barley cultivars. Journal of Plant Physiology, 167(1), 15 - 22.

Phillips, J.R., Oliver, M.J. and Bartels, D. 2002. Molecular genetics of desiccation and tolerant systems, In: Desiccation and Survival in Plants Drying Without Dying. Black, M. and Pritchard H. (eds), CABI Publishing, 319 - 341, London.

Princi, M.P., Lupini, A., Araniti, F., Sunseri, F. and Abenavoli, M.R. 2013. Short-term effects of boron excess on root morphological and functional traits in tomato, In: XVII International Plant Nutrition Colloquium- Boron Satellite Meeting, 17 - 18 August , Proceedings Book, 1150 - 1151, İstanbul, Turkey.

Princi, M.P., Lupini, A., Fabrizio, A., Longo C., Mauceri, A., Sunseri F., Abenavoli, M.R. 2016. Plant Metal Interaction, Emerging Remedation Techniques. Boron Toxicity and Tolerance in Plants: Recent Advances and Future Perspectives,115-147.

Punchana, S., Jamjod, S. and Rerkasem B. 2004. Response to boron toxicity in boron efficient and inefficient wheat genotypes, 4th International Crop Science Congress, 26 September - 1 October, poster papers, Brisbane, Australia.

Ramón, A.M., Carpena-Ruiz, R.O. and Gárate, A. 1990. The effects of short-term deficiency of boron on potassium, calcium and magnesium distribution in leaves and roots of tomato (*Lycopersicon esculentum*) plants, In: Plant Nutrition Physiology and Applications. Van Beusichem, M.L. (eds), Kluwer Academic Publishers, 287 - 290, Dordrecht.

Rashid, M. 2000. Secondary and micronutrients. In: Soil Science. National Book Foundation, 342 -343, Islamabad.

Rehman, S., Park, T.I., Kim, Y.J., Seo, Y.W. and Yung, S.J. 2006. Inverse relationship between boron toxicity tolerance and boron contents of barley seed and root. Journal of Plant Nutrution, 29,1779 - 1789.

Reid, R. 2007. Update on boron toxicity and tolerance in plants, In: Advances in Plant and Animal Boron Nutrition. Xu, F., Goldbach, H.E., Brown, P.H., Bell, R.W., Fujiwara, T., Hunt, C.D., Goldberg, S. and Shi, L. (eds), Springer, Dordrecht, 83-90, Netherlands.

Reid, R. 2010. Can we really increase yields by making crop plants tolerant to boron toxicity?. Plant Science, 178, 9 - 11.

Reid, R.J., Hayes, J.E., Post, A., Stangoulis, J.C. and Graham, R.D. 2004. A critical analysis of the causes of boron toxicity in plants. Plant Cell and Environment, 27, 1405 - 1414.

Sakal, R.1987. Boron and sulphur-nutrition of groundnut in calcareous soil. Annual Progress Report of the All India Co-ordinated Scheme of Micro and Secondary Nutrients and Pollutant Elements in Soils and Plants (ICAR). Rajendra Agricultural University Pusa, 37 - 40, Bihar.

Saleem, M., Khanif, Y.M., Fauziah, I., Samsuri, A.W. and Hafeez, B. 2011. Importance of boron for agriculture productivity. International Research Journal of Agricultural Science and Soil Science, 1(8), 293 - 300.

Salisbury, F.B and Ross, C.W. 1992. Plant physiology, hormones and plant regulators: auxins and gibberellins. 4th Edition, Wadsworth Publishing, Belmont, 357-381.

Sanders, D., Pelloux, J., Brownlee, C. and Harper, J.F. 2002. Calcium at the crossroads of signaling. Plant Cell, 14, 401 - 417.

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

Sheng, O., Zhou, G., Wei, Q., Peng, S. and Deng, X. 2010. Effects of excess boron on growth, gas exchange, and boron status of four orange scion-rootstock combinations. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 173, 469 - 476.

Shorrocks V.M.1997. The occurrence and correction of boron deficiency. Plant and Soil, 193(1-2), 121-148.

Shukla, M.P. 1983. Sulphur, zinc and boron nutrition of Rai (*Brassica juncea*). Journal of Indian Society Soil Science, 31, 517 - 520.

Siddiqui, M.H., Al-Whaibi, M.H., Sakran, A.M., Ali, H.M., Basalah, M.O., Faisal, M., Alatar, A. and Al-Amri, A.A. 2013. Calcium-induced amelioration of boron toxicity in radish. Journal of Plant Growth Regulation, 32, 61 - 71.

Simón, I., Díaz-López, L., Gimeno, V., Nieves, M., Pereira, W.E., Martínez, V., Lidon, V. and García-Sánchez, F. 2013. Effects of boron excess in nutrient solution on growth mineral nutrition, and physiological parameters of Jatropha curcas seedlings. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 176, 165-174.

Singh, B.P. and Singh, B.1990. Response of French bean to phosphorus and boron in acid Alfisols in Meghalaya. Journal of Indian Society Soil Science, 38, 769 - 771.

Singh, D.P.1988. Effect of gypsumon boron tolerance in cowpea. New Botanist, 15, 145 - 148.

Singh, G. 1981. Micronutrient studies of oil palm on peat. In: Seminar on Fertilisers in Malaysian Agriculture, 28 March, The Malaysian Society of Soil Science and University Pertanian Malaysia, Paper 2, Serdang.

Singh, V. and Singh, S.P. 1983. Effect of applied boron on the chemical composition of lentil plants. Journal of Indian Society Soil Science, 31, 169 - 170.

Singh, V. and Singh, R.P. 1992. Effect of Mo and B application on yield and their uptake by wheat. Journal of Indian Society Soil Science, 40, 876 - 877.

Sofo, A., Scopa, A., Hashem, A. and Abd-Allah, E.F. 2016. Lipid metabolism and oxidation in plants subjected to abiotic stresses, In: Plant - Environment İnteraction: Responses and Approaches to Mitigate Stress. Mohamed, M.A., Ahmad, P. (eds), John Wiley & Sons, 205-213, US.

Sotiropoulos, T.E., Therios, I.N., Daimassi, K.N., Bosabalidis, A.M. and Kofidis, G. 2002. Nutritional status, growth, CO_2 assimilation and leaf anatomical responses in two kiwi fruit species under boron toxicity. Journal of Plant Nutrution, 25(6), 1249 - 1261.

Steiner F., Lana M. 2013. Effect of pH on boron adsorption in some soils of Paraná, Brazil. Chilean Journal of Agricultural Research, 73(2), 181-186.

Stewart C.R. 1978. Role of carbohydrates in proline accumulation in wilted barley leaves. Plant Phsiology, 61, 771-778.

Taban, S. ve Erdal, İ. 2000. Bor uygulamasının değişik buğday çesitlerinde gelişme ve toprak üstü aksamda bor dağılımı üzerine etkisi. Turkish Journal of Agriculture Forestry 24, 255 - 262.

Taban, S., Alparslan, M., Kütük, C., İnal A., Erdal, İ. 1995. Relationship between boron and cakitim in wheat (*Triticum aestivum* L), Soil Fertility and Fertilizer Management 9th International Symposium of CIEC, 25-30 September 1995, 8590, Kuşadası, Turkey.

Takahashi, H., Scott, T.K. and Suge, H. 1992. Stimulation of root elongation and curvature by calcium. Plant Physiology, 98, 246 - 252.

Tanaka, H. 1967. Boron adsorption by plant roots. Plant and Soil, 27, 300 - 302.

Tanaka, M. and Fujiwara, T. 2008. Physiological roles and transport mechanisms of boron: perspectives from plants. European Journal of Physiology, 456 (4), 671-677.

Tandon, H.L.S. 1995. Micronutrients in Soils, Crops and Fertilizer: A Source Book-Cum-Directory. Fertilizer Development and Consultation Organ. FDCO, 138, New Delhi.

Tariq, M. and Mote, C.J.B. 2007. Calcium-boron interaction in radish plants grown in sand culture. Pakistan Journal of Agricultural Sciences, 44(1), 123 - 129.

Turan, M.A., Taban, S., Kayin, G.B. and Taban, N. 2009. Effect of boron application on calcium and boron concentrations in cell wall of durum (*Triticum durum*) and bread (*Triticum aestivum*) wheat. Journal of Plant Nutrition 41(11), 1351 - 1357.

Turan, MA., Taban, N. and Taban, S. 2009. Effect of calcium on the alleviation of boron toxicity and localization of boron and calcium in cell wall of wheat. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 37 (2), 99 - 103.

Tuteja, N. and Mahajan, S. 2007. Calcium signaling network in plants. An Overview. Plant Signalling and Behavior, 2(2), 79 - 85.

Usten, N., Altunlu, H., Yokas, I. and Saygılı, H. 2006. Influence of potassium and calcium level on severity of tomato pith necrosis and yield of greenhouse tomatoes. Acta Horticulturae, 808, 347 - 350.

Velez-Ramirez, A.I., Van Ieperen, W., Vreugdenhi, D. and Millenaar, F.F. 2011. Plants under continous light. Trends Plant Science, 16, 310 -318.

Wang, H., Wang, Y., Du, C., Xu, F. and Yang, Y. 2003. Effects of boron and calcium supply on calcium fractionation in plants and suspension cells of rape cultivars with different boron efficiency. Journal of Plant Nutrition, 26, 789 - 80.

Wang, S., Yoshinari, A., Shimada, T., Hara-Nishimura, I., Mitani-Ueno, N. and Ma, J. F. 2017. Polar localization of the NIP5;1 boric acid channel is maintained by endocytosis and facilitates boron transport in *Arabidopsis* roots. Plant Cell, 29, 824-842.

Warington, K. 1923. The effect of boric acid and borax on the broad bean and certain other plants. Annals of Botany, 37, 629 - 672.

White, P.J. and Broadley, M.R. 2003. Calcium in plants. Annals of Botany, 92(4), 487 - 511.

Willett, I.R. 1985. Nitrogen-induced boron deficiency in Lucerne. Plant and Soil, 86, 443 - 446.

Wrobel, S. 2009. Response of spring wheat to foliar fertilization with boron under reduced boron availability. J. Elementol, 14(2), 395 - 404.

Xiong, L., Schumaker, K.S. and Zhu, J.K. 2002. Cell signaling during cold, drought, and salt stress. Plant Cell, 14, S165 - S183.

Xiong T.C., Bourque S., Lecourieux D., Amelot N., Grat S., Brière C., Mazars C., Pugin A., and Ranjeva, R. 2006. Calcium signaling in plant cell organelles delimited by a double membrane. Biochimica et Biophysica Acta (NBA). Molecular Cell Research, 1763 (11), 1209-1215.

Yadav, O.P. and Manchanda, H.R.1979. Boron tolerance studies in gram and wheat grown on a sierozem sandy soil. Journal of Indian Society Soil Science, 27, 174 - 180.

Yamaouchi, M., Hara, T. and Sonoda, Y. 1986. Distribution of calcium and boron in the pectin fraction of tomato leaf cell wall. Plant Cell Physiology, 27, 729 - 732.

EKLER

EK 1 Farklı B (0, 15, 30, 45 ppm) ve Ca (0, 40, 80, 10 ppm) konsantrasyonlarında yetiştirilen makarnalık buğday (*Triticum durum* Desf. cv Kızıltan-91) ve ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L. cv Gün-91) fidelerinin kök boyu ile ilgili varyans analizi sonuçları

EK 2 Farklı B (0, 15, 30, 45 ppm) ve Ca (0, 40, 80, 10 ppm) konsantrasyonlarında yetiştirilen makarnalık buğday (*Triticum durum* Desf. cv Kızıltan-91) ve ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L. cv Gün-91) fidelerinin sürgün boyu ile ilgili varyans analizi sonuçları

EK 3 Farklı B (0, 15, 30, 45 ppm) ve Ca (0, 40, 80, 10 ppm) konsantrasyonlarında yetiştirilen makarnalık buğday (*Triticum durum* Desf. cv Kızıltan-91) ve ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L. cv Gün-91) fidelerinin kök taze ağırlık ile ilgili varyans analizi sonuçları

EK 4 Farklı B (0, 15, 30, 45 ppm) ve Ca (0, 40, 80, 10 ppm) konsantrasyonlarında yetiştirilen makarnalık buğday (*Triticum durum* Desf. cv Kızıltan-91) ve ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L. cv Gün-91) fidelerinin sürgün taze ağırlık ile ilgili varyans analizi sonuçları

EK 5 Farklı B (0, 15, 30, 45 ppm) ve Ca (0, 40, 80, 10 ppm) konsantrasyonlarında yetiştirilen makarnalık buğday (*Triticum durum* Desf. cv Kızıltan-91) ve ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L. cv Gün-91) fidelerinin kök kuru ağırlık ile ilgili varyans analizi sonuçları

EK 6 Farklı B (0, 15, 30, 45 ppm) ve Ca (0, 40, 80, 10 ppm) konsantrasyonlarında yetiştirilen makarnalık buğday (*Triticum durum* Desf. cv Kızıltan-91) ve ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L. cv Gün-91) fidelerinin sürgün kuru ağırlık ile ilgili varyans analizi sonuçları

EK 7 Farklı B (0, 15, 30, 45 ppm) ve Ca (0, 40, 80, 10 ppm) konsantrasyonlarında yetiştirilen makarnalık buğday (*Triticum durum* Desf. cv Kızıltan-91) ve ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L. cv Gün-91) fidelerinin oransal su içeriği ile ilgili varyans analizi sonuçları

EK 8 Farklı B (0, 15, 30, 45 ppm) ve Ca (0, 40, 80, 10 ppm) konsantrasyonlarında yetiştirilen makarnalık buğday (*Triticum durum* Desf. cv Kızıltan-91) ve ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L. cv Gün-91) fidelerinin glukoz miktarı ile ilgili varyans analizi sonuçları

EK 9 Farklı B (0, 15, 30, 45 ppm) ve Ca (0, 40, 80, 10 ppm) konsantrasyonlarında yetiştirilen makarnalık buğday (*Triticum durum* Desf. cv Kızıltan-91) ve ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L. cv Gün-91) fidelerinin fruktoz miktarı ile ilgili varyans analizi sonuçları

EK 1 Farklı B (0, 15, 30, 45 ppm) ve Ca (0, 40, 80, 10 ppm) konsantrasyonlarında yetiştirilen makarnalık buğday (*Triticum durum* Desf. cv Kızıltan-91) ve ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L. cv Gün-91) fidelerinin kök boyu ile ilgili varyans analizi sonuçları

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	56871,11	1	56871,11	6668,382	0,000000
VARYETE	7,81	1	7,81	0,916	0,339317
BOR	20,01	3	6,67	0,782	0,504694
KALSIYUM	130,26	3	43,42	5,091	0,001897
VARYETE*BOR	29,61	3	9,87	1,157	0,326329
VARYETE*KALSIYUM	43,56	3	14,52	1,703	0,166608
BOR*KALSIYUM	154,51	9	17,17	2,013	0,037789
VARYETE*BOR*KALSIYUM	176,91	9	19,66	2,305	0,016306
Error	2456,20	288	8,53		

EK 2 Farklı B (0, 15, 30, 45 ppm) ve Ca (0, 40, 80, 10 ppm) konsantrasyonlarında yetiştirilen makarnalık buğday (*Triticum durum* Desf. cv Kızıltan-91) ve ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L. cv Gün-91) fidelerinin sürgün boyu ile ilgili varyans analizi sonuçları

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	472435,4	1	472435,4	36012,94	0,000000
VARYETE	10108,1	1	10108,1	770,53	0,000000
BOR	183,2	3	61,1	4,66	0,003401
KALSIYUM	46,0	3	15,3	1,17	0,321861
VARYETE*BOR	63,5	3	21,2	1,61	0,186609
VARYETE*KALSIYUM	26,3	3	8,8	0,67	0,572194
BOR*KALSIYUM	76,0	9	8,4	0,64	0,759284
VARYETE*BOR*KALSIYUM	137,6	9	15,3	1,17	0,316893
Error	3778,1	288	13,1		

EK 3 Farklı B (0, 15, 30, 45 ppm) ve Ca (0, 40, 80, 10 ppm) konsantrasyonlarında yetiştirilen makarnalık buğday (*Triticum durum* Desf. cv Kızıltan-91) ve ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L. cv Gün-91) fidelerinin kök taze ağırlık ile ilgili varyans analizi sonuçları

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	0,392700	1	0,392700	613,6941	0,000000
VARYETE	0,010238	1	0,010238	15,9992	0,000081
BOR	0,010676	3	0,003559	5,5613	0,001009
KALSIYUM	0,008243	3	0,002748	4,2942	0,005523
VARYETE*BOR	0,008058	3	0,002686	4,1978	0,006284
VARYETE*KALSIYUM	0,014506	3	0,004835	7,5564	0,000070
BOR*KALSIYUM	0,033255	9	0,003695	5,7744	0,000000
VARYETE*BOR*KALSIYUM	0,028333	9	0,003148	4,9197	0,000004
Error	0,184290	288	0,000640		

EK 4 Farklı B (0, 15, 30, 45 ppm) ve Ca (0, 40, 80, 10 ppm) konsantrasyonlarında yetiştirilen makarnalık buğday (*Triticum durum* Desf. cv Kızıltan-91) ve ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L. cv Gün-91) fidelerinin sürgün taze ağırlık ile ilgili varyans analizi sonuçları

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	24,02980	1	24,02980	4543,599	0,000000
VARYETE	1,02265	1	1,02265	193,365	0,000000
BOR	0,24787	3	0,08262	15,623	0,003401
KALSIYUM	0,12706	3	0,04235	8,008	0,321861
VARYETE*BOR	0,01425	3	0,00475	0,898	0,186609
VARYETE*KALSIYUM	0,28521	3	0,09507	17,976	0,572194
BOR*KALSIYUM	0,11477	9	0,01275	2,411	0,759284
VARYETE*BOR*KALSIYUM	0,07174	9	0,00797	1,507	0,316893
Error	1,52315	288	0,00529		

EK 5 Farklı B (0, 15, 30, 45 ppm) ve Ca (0, 40, 80, 10 ppm) konsantrasyonlarında yetiştirilen makarnalık buğday (*Triticum durum* Desf. cv Kızıltan-91) ve ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L. cv Gün-91) fidelerinin kök kuru ağırlık ile ilgili varyans analizi sonuçları

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	0,089613	1	0,089613	1066,953	0,000000
VARYETE	0,001244	1	0,001244	14,814	0,000146
BOR	0,003500	3	0,001167	13,892	0,000000
KALSIYUM	0,001646	3	0,000549	6,533	0,000274
VARYETE*BOR	0,002944	3	0,000981	11,685	0,000000
VARYETE*KALSIYUM	0,002643	3	0,000881	10,489	0,000001
BOR*KALSIYUM	0,005555	9	0,000617	7,348	0,000000
VARYETE*BOR*KALSIYUM	0,007759	9	0,000862	10,265	0,000000
Error	0,024189	288	0,000084		

EK 6 Farklı B (0, 15, 30, 45 ppm) ve Ca (0, 40, 80, 10 ppm) konsantrasyonlarında yetiştirilen makarnalık buğday (*Triticum durum* Desf. cv Kızıltan-91) ve ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L. cv Gün-91) fidelerinin sürgün kuru ağırlık ile ilgili varyans analizi sonuçları

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	1,527386	1	1,527386	8217,830	0,000000
VARYETE	0,043758	1	0,043758	235,432	0,000000
BOR	0,008148	3	0,002716	14,613	0,000000
KALSIYUM	0,007658	3	0,002553	13,734	0,000000
VARYETE*BOR	0,001088	3	0,000363	1,951	0,121531
VARYETE*KALSIYUM	0,002940	3	0,000980	5,273	0,001487
BOR*KALSIYUM	0,004142	9	0,000460	2,476	0,009794
VARYETE*BOR*KALSIYUM	0,007273	9	0,000808	4,348	0,000025
Error	0,053528	288	0,000186		

EK 7 Farklı B (0, 15, 30, 45 ppm) ve Ca (0, 40, 80, 10 ppm) konsantrasyonlarında yetiştirilen makarnalık buğday (*Triticum durum* Desf. cv Kızıltan-91) ve ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L. cv Gün-91) fidelerinin oransal su içeriği ile ilgili varyans analizi sonuçları

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	420747,3	1	420747,3	3433,238	0,000000
VARYETE	1896,7	1	1896,7	15,477	0,000208
BOR	596,2	3	198,7	1,622	0,193086
KALSIYUM	903,8	3	301,3	2,458	0,070838
VARYETE*BOR	566,0	3	188,7	1,539	0,212866
VARYETE*KALSIYUM	1857,8	3	619,3	5,053	0,003330
BOR*KALSIYUM	2875,6	9	319,5	2,607	0,012471
VARYETE*BOR*KALSIYUM	1790,9	9	199,0	1,624	0,127397
Error	7843,3	64	122,6		

EK 8 Farklı B (0, 15, 30, 45 ppm) ve Ca (0, 40, 80, 10 ppm) konsantrasyonlarında yetiştirilen makarnalık buğday (*Triticum durum* Desf. cv Kızıltan-91) ve ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L. cv Gün-91) fidelerinin glukoz miktarı ile ilgili varyans analizi sonuçları

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	240,1128	1	240,1128	3229,934	0,000000
VARYETE	0,0581	1	0,0581	0,781	0,380117
BOR	0,2557	3	0,0852	1,146	0,337243
KALSIYUM	3,6068	3	1,2023	16,173	0,000000
VARYETE*BOR	0,1902	3	0,0634	0,853	0,470295
VARYETE*KALSIYUM	5,1282	3	1,7094	22,995	0,000000
BOR*KALSIYUM	0,5216	9	0,0580	0,780	0,635747
VARYETE*BOR*KALSIYUM	0,7450	9	0,0828	1,114	0,366392
Error	4,7578	64	0,0743		

EK 9 Farklı B (0, 15, 30, 45 ppm) ve Ca (0, 40, 80, 10 ppm) konsantrasyonlarında yetiştirilen makarnalık buğday (*Triticum durum* Desf. cv Kızıltan-91) ve ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L. cv Gün-91) fidelerinin fruktoz miktarı ile ilgili varyans analizi sonuçları

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	244,4242	1	244,4242	4583,881	0,000000
VARYETE	2,1871	1	2,1871	41,016	0,000000
BOR	0,7141	3	0,2380	4,464	0,006565
KALSIYUM	1,8651	3	0,6217	11,659	0,000003
VARYETE*BOR	0,2769	3	0,0923	1,731	0,169482
VARYETE*KALSIYUM	0,8747	3	0,2916	5,468	0,002078
BOR*KALSIYUM	1,0517	9	0,1169	2,192	0,034034
VARYETE*BOR*KALSIYUM	1,4884	9	0,1654	3,102	0,003742
Error	3,4126	64	0,0533		

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Yeşim Kaptanbaş
Doğum Yeri : Zonguldak-Ereğli
Doğum Tarihi : 24.07.1985
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Kartal Anadolu Lisesi (2003)
Lisans : Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü (2010)
Yüksek Lisans : Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Genel Biyoloji ABD

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

2015-2017 VSY Biotechnology
2014-2015 İlsan İlaç Sanayi ve A.Ş.
2012-2014 Berk İlaç Sanayi ve A.Ş.

Hakemli Dergiler

Koç Esra, Üstün Ayşen Sülün, Öncel Işıl, **Kaptanbaş Yeşim.** 2013. Salisilik asitin domateste (*Lycopersicon esculentum* Mill.) kadmiyum stresini iyileştirici etkinliğinin bazı fizyolojik parametrelerde incelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 17(1), 22-28.