



**T. C.
AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BOR UYGULAMASININ MAKARNALIK BUĞDAY (*TRITICUM
DURUM L.*) BİTKİSİNİN ANATOMİSİ VE FİZYOLOJİK YAPISI
ÜZERİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Filiz LAÇIN

MAYIS

FİLİZ LAÇİN

BİYOLOJİ ANABİLİM DALI

MAYIS 2023

**BOR UYGULAMASININ MAKARNALIK BUĞDAY (*TRITICUM DURUM*
L.) BİTKİSİNİN ANATOMİSİ VE FİZYOLOJİK YAPISI ÜZERİNE
ETKİSİ**

Filiz LAÇİN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
BİYOLOJİ ANABİLİM DALI**

Danışman

Prof. Dr. İlkay ÖZTÜRK

**AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAYIS 2023

Yüksek Lisans Tezi Kabul ve Onay Sayfası

Filiz LAÇİN tarafından hazırlanan “Bor Uygulamasının Makarnalık Buğday (*Triticum durum* L.) Bitkisinin Anatomisi ve Fizyolojik Yapısı Üzerine Etkisi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Amasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. İlkey ÖZTÜRK

Biyoloji Anabilim Dalı, Amasya Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

Başkan: Prof. Dr. Hatice ÖZENOĞLU

Fen Bilgisi Eğitimi Anabilim Dalı, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

Üye: Doç. Dr. Adnan AKÇİN

Biyoloji Anabilim Dalı, Amasya Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

Tez Savunma Tarihi: 12/05/2023

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Doç. Dr. Ümit YILDIRIM

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Amasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu
 - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

(İmza)

Filiz LAÇİN

12/05/2023

BOR UYGULAMASININ MAKARNALIK BUĞDAY (*Triticum durum* L.) BİTKİSİNİN ANATOMİSİ VE FİZYOLOJİK YAPISI ÜZERİNE ETKİSİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Filiz LAÇİN

AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mayıs 2023

ÖZET

Bu çalışmada borun değişik konsantrasyonlarının makarnalık buğday (*Triticum durum* L.) bitkisinin anatomisi ve fizyolojik yapısı üzerine etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma için fideler saksı ortamında yetiştirilmiş olup, toplamda üç grup oluşturulmuştur. Birinci grup fidelere sadece saf su verilmiş olup, ikinci gruba Hoagland bor çözeltisi dozu (0,046 mM) ve üçüncü gruba da Hoagland bor çözeltisinin iki katı dozu (0,092 mM) uygulanmıştır. Uygulamalar toprağı sulama ve fidelere püskürtme şeklinde yapılmıştır. Fidler belli bir büyüklüğe geldiğinde anatomik incelemeler için yaprakтан örnekler alınarak %70'lik etil alkolde fikse edilmiştir. Fikse edilen yaprak materyalinden enine ve yüzeyel kesitler alınarak mikrometrik oküler yardımıyla gerekli hücre ölçümleri yapılmıştır. Bor uygulamasının bitkinin fizyolojik yapısına etkisini belirlemek amacıyla yaprakta klorofil tayini yapılmıştır. Çalışma sonucunda, anatomik ve fizyolojik bulguların birbiri ile benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir. Gerek anatomik ve gerekse de fizyolojik bulgular, uygulama gruplarında borsuz gruba göre azalmış ancak hoagland çözeltisi arttıkça değerlerde artış olmuş ve değerler borsuz gruba doğru yükselmiştir. Bu durum, makarnalık buğday bitkisinin büyüme ve gelişimi için ihtiyaç duyduğu bor miktarının hoagland çözeltisinin iki katı dozundan daha yüksek bir doza ihtiyaç duyduğunu düşündürmektedir. Trake ölçümlerinde borsuz gruba göre uygulama gruplarında artış göstermesi bu görüşü doğrulamaktadır. Çalışmada uygulama gruplarındaki trake ölçümlerinde tespit edilen artışın, bitkinin büyüme ve gelişimi için ihtiyaç duyduğu bor miktarını su ile birlikte alımını arttırmak amaçlı olduğu düşünülmektedir. Uygulama gruplarının stoma ölçümleri sonuçlarının borsuz gruba göre yüksek olması, bor eksikliğinin stoma açıklığını azaltmasından kaynaklanmaktadır. Bu tez çalışmasıyla, hoagland besin çözeltisinde kullanılan bor dozunun makarnalık buğday bitkisinin anatomik ve fizyolojik yapısı için uygun bir doz olmadığı özellikle fotosentetik pigment miktarlarında borsuz gruba göre tespit edilen azalmanın bitkinin fotosentetik verimde azalmaya neden olabileceği ve sonuçta da bitkinin büyüme ve gelişmesini olumsuz yönde etkileyebileceği düşünülmektedir.

Sayfa Adedi : 60
Anahtar Kelimeler : Bor, *Triticum durum* L., Anatomi, Fizyoloji
Danışman : Prof. Dr. İlkey ÖZTÜRK

EFFECT OF BORON APPLICATION ON THE ANATOMY AND PHYSIOLOGICAL
STRUCTURE OF DURUM WHEAT (*Triticum durum* L.)

(M. Sc Thesis)

AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

May 2023

ABSTRACT

In this study, it was aimed to determine the effects of different concentrations of boron on the anatomy and physiological structure of durum wheat (*Triticum durum* L.). For the study, the seedlings were grown in pot medium and three groups were formed in total. The first group of seedlings was given only distilled water, the second group was given a dose of Hoagland boron solution (0,046 mM) and the third group was given a double dose of Hoagland boron solution (0,092 mM). Applications were made in the form of watering the soil and spraying the seedlings. When the seedlings reached a certain size, samples were taken from the leaves for anatomical examinations and fixed in 70% ethanol. Transverse and superficial sections were taken from the fixed leaf material and necessary cell measurements were made with the help of micrometric oculars. In order to determine the effect of boron application on the physiological structure of the plant, chlorophyll determination was made in the leaf. As a result of the study, it was determined that the anatomical and physiological findings were similar to each other. Both anatomical and physiological findings decreased in the treatment groups compared to the no boron group, but as the hoagland solution increased, the values increased and the values increased towards the no boron group. This suggests that the amount of boron needed for the growth and development of the durum wheat plant needs a dose higher than twice the dose of hoangland solution. The increase in the application groups compared to the no boron group in the trachea measurements confirms this view. It is thought that the increase detected in the trachea measurements in the application groups in the study is to increase the amount of boron needed for the growth and development of the plant, together with water. The fact that the results of stoma measurements of the treatment groups were higher than those of the no boron group is due to the fact that boron deficiency reduces the stomatal opening. In this thesis, it is thought that the dose of boron used in the hoagland nutrient solution is not an appropriate dose for the anatomical and physiological structure of the durum wheat plant, especially the decrease in the amount of photosynthetic pigment compared to the no boron group may cause a decrease in the photosynthetic efficiency of the plant and ultimately affect the growth and development of the plant negatively.

Page Number : 60
Keywords : Boron, *Triticum durum* L., Anatomy, Physiology
Adviser : Prof. Dr. İlkey ÖZTÜRK

ÖN SÖZ ve TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın hazırlanma sürecinde akademik bilgi ve deneyimiyle beni yönlendiren, destekleyen değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. İlkey ÖZTÜRK'e teşekkür ederim. Bu günlere gelebilmem için benden maddi ve manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen aileme, tez yazım çalışması sırasında yardımlarından dolayı Burak SEÇER'e en içten ve samimi duygularıyla teşekkürü bir borç olarak görürüm.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖN SÖZ ve TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
RESİMLER DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Kuramsal Temeller.....	2
1.1.1 Bor hakkında genel bilgiler	2
1.1.2. Borun kaynağı.....	2
1.1.3. Borun üretimi ve kullanımı.....	3
1.1.4. Borun çeşitli canlılarla ilişkisi ve etkileşimleri	4
1.2. Bitkilerde Borun Etkileri, Yeri ve Önemi	5
1.2.1. Bitkilerde borun etkileri.....	5
1.2.2. Bitkilerde bor toleransı, eksikliği ve toksik etkileri.....	8
1.2.3. Bitkilerde bor alınımı.....	13
1.2.4. Borun bitki büyümesine etkileri	17
1.3. Makarnalık Buğday (<i>Triticum durum</i> L.)’ın Özellikleri	20
1.3.1. Makarnalık buğdayda borun etkileri üzerine yapılan çalışmalar	22
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	26
2.1. Araştırma Materyali	26
2.2. Araştırma Yöntemi.....	26
2.2.1. Anatomik etkilerin belirlenmesi	27

	Sayfa
2.2.2. Fizyolojik etkilerin belirlenmesi.....	28
2.2.3. İstatistiksel analiz.....	28
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	29
4.1. Anatomik Bulgular.....	29
4.1.1. Yaprak enine kesit parametreleri.....	29
4.1.2. Yaprak yüzeysel kesit parametreleri	32
4.1.3. Gövde enine kesit parametreleri.....	35
4.2. Fizyolojik Bulgular	38
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	45
KAYNAKÇA.....	47
ÖZGEÇMİŞ.....	60

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Gruplara ait yaprak enine kesit parametreleri.....	29
Çizelge 4.2. Gruplara ait yaprak yüzeysel kesitte stoma en ve boy ölçüm değerleri.	32
Çizelge 4.3. Gruplara ait yaprak yüzeysel kesitte stoma indeksi.....	33
Çizelge 4.4. Gruplara ait gövde enine kesit parametreleri.	36
Çizelge 4.5. Gruplara ait klorofil a mg/g TA değerleri. K: Borsuz grup (Kontrol), B: Hoagland çözeltisi (0,046 mM Bor/l), 2B: Hoagland çözeltisi X2 (0,092 mM bor/l).....	399
Çizelge 4.6. Gruplara ait klorofil b mg/g TA değerleri. K: Borsuz grup (Kontrol), B: Hoagland çözeltisi (0,046 mM Bor/l), 2B: Hoagland çözeltisi X2 (0,092 mM bor/l).....	39
Çizelge 4.7. Gruplara ait toplam klorofil mg/g TA değerleri. K: Borsuz grup (Kontrol), B: Hoagland çözeltisi (0,046 mM Bor/l), 2B: Hoagland çözeltisi X2 (0,092 mM bor/l).....	40
Çizelge 4.8. Gruplara ait toplam karotenoid mg/g TA değerleri. K: Borsuz grup (Kontrol), B: Hoagland çözeltisi (0,46 mM bor/l), 2B: Hoagland çözeltisi X2 (0,092 mM mg bor/l).....	40
Çizelge 4.9. Gruplara ait toplam klorofil a/b değerleri. K: Borsuz grup (Kontrol), B: Hoagland çözeltisi (0,046 mM Bor/l), 2B: Hoagland çözeltisi X2 (0,092 mM bor/l).....	41

RESİMLER DİZİNİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Makarnalık buğday (<i>Triticum durum</i> L.) tohumu.....	26
Resim 2.2. %70'lik etil alkolde fikse edilmiş bitkisel materyal.	27
Resim 4.1. <i>Triticum durum</i> L. borsuz grup (kontrol) yaprak enine kesit (a,b). Orta damar (b).	30
Resim 4.2. <i>Triticum durum</i> L. hoagland çözeltisi (0.046 mM Bor/l) grubu yaprak enine kesit (a,b).	31
Resim 4.3. <i>Triticum durum</i> L. hoagland çözeltisi X2 (0.092 mg bor/l) grubu yaprak enine kesit	31
Resim 4.4. <i>Triticum durum</i> L. borsuz grup yaprak alt yüz yüzeysel kesit	34
Resim 4.5. <i>Triticum durum</i> L. grupları yaprak yüzeysel kesit anormal yapılı stomalar as : anormal yapılı stoma.....	34
Resim 4.6. <i>Triticum durum</i> L. borsuz grup gövde enine kesit e : epidermis, p : parankima, id : iletim demeti	36
Resim 4.7. <i>Triticum durum</i> L. hoagland çözeltisi (0.046 mM Bor/l) grubu gövde enine kesit	37
Resim 4.8. <i>Triticum durum</i> L. hoagland çözeltisi X2 (0.092 mg bor/l) grubu gövde enine kesit.....	37

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Kisaltmalar	Açıklama
e	Epidermis
pa	Parankima
üe	Üst epidermis
ae	Alt epidermis
st	Stoma
pp	Palizat parankiması
sp	Sünger parankiması
k	Ksilem
f	Floem
n	Nişasta
t	Trake
mM	Milimolar
µm	Mikrometre
°C	Santigrat derece
B	Bor
mg	Miligram
g	Gram

1. GİRİŞ

Bor, ülkemizde dünya rezervinin yaklaşık % 63'ünü barındıran bir elementtir. Ülkemiz topraklarının birçoğunun içeriğinde bor bileşikleri bulunmakla birlikte maden, endüstri, kentsel atıkların tatlı sulara karışması ve sulama suyu olarak kullanılması gibi antropojenik aktiviteler sonucu da fazlaca toprakta birikmektedir. Bu durum bitkiler için esansiyel olan bor mineralinin topraktaki konsantrasyonun fazla olması nedeniyle bitki üretim verimliliğini, ürün sayısı ve çeşitliliğini olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle bor toleransı yüksek bitkilerin kullanımı ya da üretimin planlanması gerektiği açıktır.

Bor eksikliği ve toksisite aralığı literatürde 0,5-5 gL⁻¹ aralığında olduğu bildirilmiş ve bu aralık dar olduğundan topraktaki seviyelerin sürekli Borsuz grup altında tutulması gerektiği belirtilmiştir (Keyis, 2020). Ülkemizde bol miktarda bulunan bu element, çoğu zaman bitkide toksik etki yaratarak bitki büyüme ve gelişmesini olumsuz yönde etkileyebilmektedir.

Ülkemiz buğday ithalatında hem önemli bir üretici ve hem önemli bir tüketici konumunda yer almaktadır, ancak ithal edilen buğdayın büyük çoğunluğu makarnalık buğday (*Triticum durum* L.)'dır (Polat, 2021). Bunun temel sebebi endüstriyel kullanımdaki arz ve talep dengesindeki artış yanı sıra makarnanın önemli bir ihracat kaynağı olmasındandır (Güleç, Sönmezoğlu ve Yıldırım, 2010). Bu sayılan nedenler makarnalık buğday yetiştirilmesini ülkemiz açısından önemli kılmaktadır.

Bu nedenle araştırmada ülkemizde makarnalık buğday olarak yetiştirilen *Triticum durum* L. bitkisinin anatomik ve fizyolojik yapısı üzerine borun değişik konsantrasyonların etkisinin belirlenmesidir. Bu çalışma ile farklı dozlardaki bor uygulamasının ülkemizdeki makarnalık buğday bitkisine anatomik ve fizyolojik etkileri belirlenerek, makarnalık buğdayın bora karşı olan toleransı belirlenmesi amaçlanmıştır.

1.1. Kuramsal Temeller

1.1.1 Bor hakkında genel bilgiler

Sembol olarak gösterimi “B” harfiyle gösterilen bor elementinin atom numarası 5’tir. Amorf ve kristal forma bulunmakta olup amorf formunda kahverengi bir toz, kristal formunda koyu renkli ve parlak metaloid görünümündedir. Alkali bir metal olan bor; borik asit, sodyum borat, bor karbür ve bor nitrürün sert kristalleri gibi birçok kovalent bağlı bileşik yapısında bulunur ve üç değerlik elektrona sahiptir (Coursey, Schwab, Tsai ve Dragoset, 2016). Periyodik cetvelde 3A grubu üyesi olan bor kimyasal özelliklerinde alüminyumdan belirgin bir şekilde farklı olup, ancak silisyum (Si), arsenik (As) ve germanyuma (Ge) benzer çok karmaşık bir kimyasal özelliğe sahip olduğu belirtilmektedir (Marschner, 1995). Tanaka ve Fujiwara (2008) tarafından V grubuna ait metaloid element grubunun bir üyesi olarak kaydedilmiştir, çünkü özelliklerinde metallerin ve ametallerin özellikleri arasında bir geçiş göstermektedir (Marschner, 1995). Bu nedenle metalik bir iletken çok yarı iletken bir maddedir.

Bor, alışılmadık derecede yüksek bir sertliğe sahip olmakla birlikte, karbondan (elmas) sonra tüm elementlerin içinde en sert olarak bilinmektedir. Bor elementi yüksek erime ve kaynama noktasına sahip olmakla birlikte yoğunluğu karbondan bile düşüktür. Borun elektrik iletkenliği oda sıcaklığında düşüktür, ancak ısıtıldığında keskin bir şekilde artmakta ve 600 °C’de oda sıcaklığından 100 kat daha yüksektir (Baake ve diğerleri, 2009). Borun atom ağırlığı 10,811 olup erime noktası 2077 °C ve kaynama noktası 4000 °C, değerlik sayısı +3; yoğunluğu 2,34 g/cm³; sertliği 9,5 Mohs; elektronegatifliği 2,04 (pauling)’dir. İzotopları ise ¹⁰B ve ¹¹B’dur. Doğada ¹⁰B izotopu %19,9 oranında ve ¹¹B izotopu %80,1 oranında bulunmaktadır (Coursey, Schwab, Tsai ve Dragoset, 2016).

1.1.2. Borun kaynağı

Bor, okyanuslarda, tortul kayalarda, kömürde, şeyilde ve bazı topraklarda boratlar şeklinde bulunan doğal olarak oluşan bir elementtir. Yerkabuğunda yaklaşık 10 mg/kg (bazaltlarda 5 mg/kg ila şeyillerde 100 mg/kg) ve okyanusta yaklaşık 4,5 mg/litre konsantrasyonlarda doğada yaygın olarak bulunmaktadır (World Health Organization [WHO], 1998, s.182). Toprak tipine, organik madde miktarına ve yağışa bağlı olarak 10 ila 300 mg kg⁻¹ (ortalama

30 mg kg⁻¹) arasında değişen konsantrasyonlarda toprakta oluşmaktadır (Woods, 1994). Borat minerallerinin ekonomik rezervleri nadir görülmekte olup genellikle jeolojik geçmişi olan volkanik ve/veya hidrotermal aktiviteye sahip kurak çöl bölgelerinde bulunmaktadır (Mellor, 1980). Borun çoğunluğu okyanusta, yaklaşık olarak ortalama 4,5 mg L⁻¹ konsantrasyonunda meydana gelmektedir (Weast, 1985). Ancak bunun yanı sıra antropojenik (tarımsal, endüstriyel ve evsel insani faaliyetler vb.) kaynaklardan daha az oranlarda salınmaktadır (Butterwick, de Oude ve Raymond, 1989).

Toprak yüzeylerinde kil bakımından zengin tortul kayaçların, kömürün ve şeyl kayaçlarının doğal aşınması, boratlar şeklinde toprak ve su ortamına taşınan borun büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. Bor, toprak çözeltisinde borik asit olarak bulunmakta ve yüksek çözünürlüğü nedeniyle topraktan kolayca süzülmemektedir (Shorrocks, 1997; Yan ve diğerleri, 2006). Borun topraktaki mevcudiyeti, dünyanın birçok bölgesinde yüksek yağış ve mevsimsel su mevcudiyeti ile sınırlıdır. Aksine, kurak ve yarı kurak bölgelerde, yeraltı suyu kılcal hareketle üst toprağa ulaşmakta ve buharlaşarak toprakta çözünen maddeler bırakmaktadır. Yeraltı suyunun bor içeriğinin yüksek olduğu bölgelerde üst topraktaki bor konsantrasyonu bitkiler için toksik düzeye ulaşmakta ve ürün verimini düşürdüğü belirtilmektedir (Yau, Nachit, Ryan ve Hamblin, 1995).

1.1.3. Borun üretimi ve kullanımı

Borat mineralleri, ilk olarak sekizinci yüzyılda, esas olarak altın ve gümüşün tayini ve arıtılmasında, bunun yanı sıra duvar sıvası ve seramik üretiminde bir eritken olarak kullanılmış ve yüzyıllar boyunca geniş bir kullanım yelpazesine sahip olmuştur (Ayvaz, 2002; Bayca, Batar, Sayın, Solak ve Kahraman, 2008; Batar, Köksal ve Yersel, 2009). Değerli özellikleri ve göreceli şekilde nadir olmaları, boratların uluslararası alanda sıklıkla talep edilmesini teşvik etmiştir. Marco Polo seyahatlerinde, Çin'deki borat minerallerini Tibet'ten Avrupa'ya taşıdığını ve Venedik'in borat ithalatının merkezi olduğunu iddia etmiştir (Travis ve Cocks, 1984). Endüstride birçok alanda borat mineralleri kullanılmaktadır. Çok sayıda mineral borik oksit içermekte, ancak bunlardan dünya çapında ticari açıdan en önemlileri boraks pentahidrat, boraks, sodyum perboratlar, kolemanit, üleksit ve borik asittir.

Endüstride kullanılan bu birleşikler kaynaklarının %63'ü Türkiye'de olup yaklaşık 2,5 ton civarı bir miktara sahiptir. Bor rezervlerinin %16,4'ü ABD'de ve %10'u da Rusya'da bulunmaktadır. Bor rezervi bulunan diğer ülkeler Şili, Çin, Peru, Bolivya ve Arjantin'dir. Ancak rezerv bulunduran ülkelerin yanı sıra Irak, Suriye, Mısır, Libya, Ürdün, Fas ve vusturalya gibi ülkelerde de bor toksisitesi sorunları görülmektedir (Yau ve diğerleri, 1995, Güyagüler, 2001). Boratın başlıca son kullanım ürünü olarak yalıtım ve tekstil sınıfı cam elyafında, çamaşır suyu ağartıcısında (sodyum perborat), borosilikat camda, yangın geciktiricilerde, kimyasal gübreler ve herbisitlerde (bir eser element olarak), emaye kaplamada, frit ve seramik sırlarının içeriğinde yer almaktadır (WHO, 1998). Bunun yanı sıra kozmetik ve farmasötikler (pH tamponu olarak), boron nötron yakalama tedavisi (kanser tedavisi için) ve böcek ilaçlarının üretiminde bor bileşikleri kullanılmaktadır. Kanser tedavisinde normal dokuya karşı tümörde biriken kanseri tedavi amacıyla, ^{10}B izotopu ile yapılan bir bor bileşiği kullanıldığı belirtilmektedir (Barth ve Soloway, 1994).

1.1.4. Borun çeşitli canlılarla ilişkisi ve etkileşimleri

Bor esansiyel olan bir iz elementidir. Ancak bu metabolizma için esansiyel olma durumunun belirlenmesi ve faydalı etkilerinin olduğu bildirilmesine rağmen insandaki faydaları net şekilde temellendirilememiştir. Buna rağmen borik asit maruziyeti sonucu insanda en düşük öldürücü doz olarak, oral yolla oluşan maruziyette 640 mg kg^{-1} vücut ağırlığı, dermal olarak oluşan maruziyette 8600 mg kg^{-1} vücut ağırlığı ve intravenöz enjeksiyon yoluyla maruziyette 29 mg kg^{-1} vücut ağırlığı olduğunu bildirilmiştir (Stokinger, 1981). Bildirilen bu maruziyete rağmen borik asit ve boraks tıp alanında 20. Yüzyılın başlarında lokal ve oral yollarda tıp alanında tedavi amaçlı kullanımlarının yaygın olduğu bildirilmiştir (Kliegel, 1980). Linden, Hall, Kulig ve Rumack (1986) tarafından yapılan çalışmada borik aside maruz kalan 364 vakayı incelemiş ve bu vakalardan 276'sında kusma, ishal ve karın ağrısı semptomlarının genel olarak görülen semptomlar olarak belirlemiştir.

Rowe ve Eckhert (1999) tarafından yapılan zebra balığı ve alabalıktaki çalışmada, Fort, Propst, Stover, Murray ve Strong (1999) tarafından yapılan kurbağalardaki çalışmada araştırma konusu hayvanlarda esansiyel bir iz elementi olduğu tespit edilmiştir. Canlılarda bor eksikliğinin büyüme ve gelişimin olumsuz etkilenmesine, anormal olarak kemiklerin gelişmesine, idrarda kalsiyumun artmasına ve hayvan metabolizmalarında makro boyuttaki mineral dengesinin değişimine sebep olduğu bildirilmiştir (Devirian ve Volpe, 2003).

Devirian ve Volpe (2003) tarafından yapılan çalışmada ayrıca karbonhidratların ve minerallerin metabolizmasında, enerji tüketimi ve enzim aktivitelerinin düzenlenmesinde borun etkili olmasına rağmen borun işlevinin yeterince anlaşılmadığını belirtmiştir. Fare, sıçan ve köpeklerde gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda bor maruziyetinin fazlalılığı akut nörolojik etkilerin görülmesine sebep olmuş, anoreksiya, kilo kaybı ve testis atrofisinin görülmesiyle sonuçlanmıştır (Yazbeck ve diğerleri, 2005). Dişi hayvanların gebe kalma sürecinde bor elementi yoksunluğu hayvanlarda vücut ağırlığında azalma, kemik gelişimi ve iskelet formasyonunda bozulma ve kardiyovasküler defektlerde artışa neden olduğu belirtilmektedir (Pawa ve Ali, 2006).

Bakteriler, protozoalar ve alg popülasyonu üzerinde etki durumu yapılan araştırmalarda *Pseudomonas putida* Migula türündeki bakterilerde geniş bir spektrumda bor konsantrasyonunun mevcut olabileceğini belirlemiştir (Guhl, 1996; Schöberl, Bock ve Huber, 1988). Bonilla, Garcia-González ve Mateo (1990) tarafından yapılan çalışmada biyolojik azot fiksasyonunda görevli siyanobakterilerin heterosist yapıdaki hücre duvarlarının fonksiyonlarının etkili olarak yerine getirmek için bor bileşiklerine ihtiyaç duyduğu belirtilmiştir. Bunun yanı sıra *Anabaena* türü bakterilerde azotun fiksasyonu için borun metabolik rolü Mateo, Bonilla, Fernandez-Valiente ve Sanchez-Maeso (1986) tarafından da daha önceden bildirilmiştir.

1.2. Bitkilerde Borun Etkileri, Yeri ve Önemi

1.2.1. Bitkilerde borun etkileri

Bitkilerde sadece damarlı bitkilerde görülmemekte, bunun yanı sıra diatomlar, siyanobakterilerde ve kamçılı deniz alg türlerinde de esansiyel bir iz element olduğu belirlenmiştir (Marschner, 1995). Bu araştırmaların temelinde bor eksikliğinde bitkilerde görülen semptomlarla ilişkilendirilmesi yatmaktadır. Nitekim bor nükleik asit, karbonhidrat ve protein metabolizmasında, hücre duvarı sentezinde ve yapısında, hücre zarı yapı ve fonksiyonunda yer aldığı kabul edilmekte ancak oynadığı rollerin moleküler temeli tam olarak belirlenmemiştir (Goldbach ve diğerleri, 2001). Bitkilerde optimum bir büyüme için bor elementi esansiyel olmakla birlikte esansiyel olma durumu türler arasında farklı seviyelerde bor düzeyi gerektirmektedir. Gerekli olan bor mikro besini ve metabolik yollar; Ca^{+2} alımında, şeker translokasyonunda, polen çimlenmesinde, hormon

aktivitesinde, kök gelişiminde, apikal meristemin büyüme ve fonksiyonlarında, kökten bitki gövdesine ve bitkinin üst kısımlarındaki yapraklara kadar su translokasyonunda, membran yapısı ve fonksiyonlarında, çiçek ve meyve oluşumu benzeri bazı bitkisel fonksiyonlarda önemli işlevleri olduğu belirtilmektedir (Abdulnour, Donnelly ve Barthakur, 2000; Donghua, Jiang, Zhang ve Lufang, 2000).

Nobel (1981) tarafından yapılan çalışmada su bitkisi olan *Myriophyllum alterniflorum* DC., *Ranunculus penicillatus* Dumort. ve *Elodea canadensis* Michx. bitkilerinde borun fotosentez metabolizmasındaki etkilerini incelemiştir. Ayvaz (2002) tarafından yapılan çalışmada borik asit ve boraksın *Vicia faba* L. ve diğer bitkiler üzerindeki etkilerini ve borunun bitki beslenmesinde fonksiyonunu belirlemiştir (Ayvaz 2002). Bu araştırmada borun türler arasında faydalı ve zararlı etkilerine göre bir bitki kategorisi oluşturulmuştur. Buna göre bitkiler bor tolerans düzeylerine göre hassas, yarı toleranslı ve toleranslı olmak üzere sınıflandırılmıştır (Ayvaz, 2002). Bor düzeylerine hassas olan türler $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ miktarında bor konsantrasyonu duyarlılık gösterirken, toleranslı türler 4 mg L^{-1} kadar olan düzeyde bor konsantrasyonlarına duyarlılık göstermektedir (Batar ve diğerleri, 2009). Bu sınıflandırılmaya göre bor toleransı yüksek olan bitkiler ortamdaki bor konsantrasyonlarından çok az etkilenmekte ve çok çeşitli bor konsantrasyon yoğunluğuna dayanmaktadır. Hassas bitkiler ise ortamın bor konsantrasyonlarından fazlaca etkilenmekte ve bor kontrasyon değişimlerine karşı güçlü bir reaksiyon göstermektedirler. Uygan ve Çetin (2004) tarafından yapılan çalışmada bitkilerin genellikle toprakta bulunan bor elementinin ancak %5'inden daha azını kullanabileceğini belirtmiştir.

Fitoremediasyon, toprakta kirletici toksitesi bulunan ağır metallerin bitkiler tarafından absorbe edilerek dokularında yüksek birikim sağlanması sonucu etkisiz hale getirmenin yollarından biridir (Aybar, 2022). Bu olayı gerçekleştirmek içinde fitoremediasyon bitkileri kullanılmakta olup genellikle fitostabilizasyon ve fitoekstraksiyon anlamında kullanılabilmektedir (Sönmez ve Kılıç, 2021). Fitostabilizasyonda, toprakta toleransı yüksek olan bitkiler kullanılmak suretiyle yüksek konsantrasyonlu metallerin kimyasal ve fiziksel durumlarının değişimi için kullanılan bir yöntemdir ve toprak iyileştirmelerinde toleransı yüksek bitkiler kullanılarak toprakta metallerin düzeyleri ve toksisiteleri bertaraf edilmektedir. Fitoekstraksiyonda ise bitkiler topraktaki yüksek konsantrasyonlardaki metalleri alarak topraktan uzaklaştırarak bünyelerinde biriktirmekte ve hasat edilerek bertaraf edilmektedir (Başkaya, 2003).

Bor, yerkabuğunda yüksek seviyelerde var olmasının yanı sıra sulama sularında eser miktarlarda bulunabilmektedir. Borun toprakta fazlaca bulunması tarımsal üretim süreçlerini etkilemekte ve bora duyarlı bitkilerin yetiştirilmesini engellemektedir. Bu nedenle bor için fitoremediasyon yöntemleri uygulanabilmektedir (Sönmez, 2014). Bunun yanı sıra bor kullanılan sanayi artığından ve sanayiden kaynaklı su kaynakları kirlenmesi de bor konsantrasyonunun tarımda kullanılan sulama sularına karışımını ve topraktaki miktarının artışına neden olmaktadır. Buna bağlı olarak da çevresel kirlenme sonucu bitki yetiştirilmesinde çeşitlilik azalmaktadır (Bolca ve diğerleri, 2010). Bor, bitkiler için esansiyel bir element olup birçok araştırma, bitkilerin biyokimyasal, fizyolojik ve morfolojik gelişiminde belirli bor konsantrasyonlarının gerekli olduğunu göstermektedir. Konuk, Liman ve Cigerci (2007) tarafından yapılan çalışmalarda benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Bor toksisitesi nedeniyle bor konsantrasyonunun yüksek miktarda bulunduğu topraklarda elde edilecek tarımsal ürün çeşitliliğinin ve verimin sınırlandığı belirtilmektedir (Demirtaş, 2005). Shorrocks (1997) tarafından yapılan çalışmada kuru mevsim koşullarında topraktan köklere doğru olan kütle akışının azalmasından dolayı köklerde bor miktarında azalma olacağını belirtmiştir. Bunun yanı sıra birçok ülkedeki topraklarda bor eksikliğinin tarımsal üretimi yapılan bitkilerde gelişimi olumsuz etkilediği bildirilmiştir. Kekeç (2008) tarafından yapılan çalışmaya göre bitkinin bor eksikliği nedeniyle kök ve yaprak gelişimlerinde durma; yaprak primodia, birincil kök uçlarında, gövde ve yaprak floeminde nekroz, kabukta yarılmalar, enzimsel aktivitelerin gecikmesi ve buna bağlı olarak reaksiyonların gecikmesi, polen çimlenmesinde azalma ve bunun yanı sıra bitkinin ölümü ile sonuçlanabileceğini belirtmiştir. Bor eksikliğinin olduğu bir durumda ortama bor eklenmesi sonucu normal büyümenin genellikle devam edeceği belirtilmektedir (Ozturk, Sakcali, Gucl ve Tombuloglu, 2010).

Ayvaz (2002) tarla fasulyesi ile yapılan bir çalışmada, bor eksikliği olan bir besin çözeltisi, tarla fasulyesinin kök ucundaki mitozu da engellediğini tespit etmiş; 10 mg L⁻¹ bor çözeltisinin optimum hücre bölünmesini ve kök ucunun uzamasını sağladığı; ancak 50 mg L⁻¹ bor çözeltisinin mitozda azalmaya neden olduğunu ortaya koymuştur. Çakmak ve Römhald (1997) tarafından su kültürü olan *Pinus radiata* D.Don fidelerinde yapılan çalışmada bor eksikliği ve toksisitesinin etkileri üzerinde durulmuş, bitki hücre duvarı morfolojik yapısında ciddi değişimlerin oluştuğunu belirtmiş ve bu durumun bitki hücrelerinde

büyümeye bağlı olarak hücre duvarının genişlemesinde borun kritik bir rol oynadığını göstermiştir.

Loomis ve Durst (1992) tarafından yapılan çalışmada bor elementinin hücre duvarında yapısal ve çapraz bağlanma işlevlerinin apioz ve borat ile kompleksleşmesine uygun olarak hidroksil yapan atom parçalarını içeren pektin fraksiyonu ile ilgili olduğunu öne sürülmüştür. Hu, Penn, Lebrilla ve Brown (1997) tarafından yapılan çalışmada birçok bitki türünde hücre duvarı oluşumu için borun miktarının önemli olduğu, pektinin diğer hücre metabolizmaları için borun kullanılmı azalttığı ve buna bağlı olarak bor ihtiyacını artıran bir bor kompleksi oluşturduğunu bildirmiştir. Kobayashi, Matoh ve Azuma (1996) tarafından yapılan çalışmada enzimle sindirilmiş hücre duvarı pektininden ramnogalakturonan II/borat kompleksini izole etmiş ve karakterize etmiştir. Bu sayede borun yüksek bitkilerdeki birincil işlevlerinden biri moleküler düzeyde rapor edilmiştir. Hücre duvarlarındaki pektinleri çapraz bağlanması ve bu çapraz bağlama sonucu yaprakların normal genişlemesi için gerekli olduğu belirtilmektedir (Kobayashi ve diğerleri, 1996). Bitki hücre duvarının önemli bileşenleri olan pektinler, homogalakturonanlar ve rhamnogalakturonanlar I ve II (RG-I ve RG-II) dâhil olmak üzere kompleks yapıları polisakkaritlerdir. RG-II'nin 1:2 borat-diol diester ile çapraz bağlandığı ve dimerik RG-II'yi oluşturduğu belirlenmiştir (Kobayashi ve diğerleri, 1996). O'Neill, Eberhard, Albersheim ve Darvill (2001) tarafından yapılan çalışmada ise borat cis-diol ester bağları tarafından oluşturulan RG-II'ler arasındaki çapraz bağ, anormal RG-II şeker bileşimine sahip *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. türü bitkilerde mur1 mutantının analizi yoluyla normal yaprak genişlemesi için gerekli olduğu tespit edilmiştir. Bor'un pektinin çapraz bağlanmasındaki bu rolü bitkilerdeki diğer metabolik oynadığı roller kadar önemli olduğu belirtilmektedir (O'Neill, Ishii, Albersheim ve Dararvill, 2004)

1.2.2. Bitkilerde bor toleransı, eksikliği ve toksik etkileri

Bor bitkiler açısından büyük önem taşımasına rağmen, bitkilerin gereksinim duyduğu konsantrasyon düzeyi çok az miktardır. Bitkilerin büyüme ve gelişmesi için gerekli bor konsantrasyon miktarları 0,5 ila 2,0 mg L⁻¹ arasında değişkenlik göstermektedir (Demirtaş, 2006). Genel olarak 0,5 mg L⁻¹'den düşük bor konsantrasyona sahip topraklara bor miktarınca fakir olan topraklar olup bor eksikliği sonucu oluşan etkilerin görülebileceği düşünülmektedir. Bunun yanı sıra 2,0 mg L⁻¹ üzeri bor konsantrasyonu içeren topraklar ise

yüksek bor konsantrasyonları nedeniyle bor toksitesi yaratmakta ve bor kirliliğine neden olduğundan bitki üretiminde verim kaybına, ürünlerde kusurlara, bitki sayısında ve çeşitliliğinde azalmaya neden olmaktadır (Taiz ve Zeiger, 1991). Bitkilerde biyokimyasal, fizyolojik ve morfolojik gelişmeyi inceleyen birçok çalışma ortamda belirli bor konsantrasyonun gerekli olduğunu belirtilmiştir (Barut, Aykanat, Aşıklı ve Eker, 2018). 5.00 mg L⁻¹'den fazla bor konsantrasyonuna sahip ortam birçok tarımsal üretim gerçekleştirilen bitkiler için toksik etkiye neden olacağından dolayı, bor eksikliği ile bor fazlalığının nedeni olduğu toksisite arasında konsantrasyon olarak çok dar bir aralığın olduğunu söylemek mümkündür (Öztürk, Sakcalı, Gücel ve Tombuloğlu, 2010). Ayvaz (2002)'e göre hassas, yarı toleranslı ve toleranslı olmak üzere bor duyarlılığı kategorize edilmiştir. Bor eksikliği genel olarak baklagiller ve bazı bitkisel ürünlerin üretiminin sınırlandırılacağını belirtmektedir (Demirtaş, 2005). Toleranslı bitkiler olarak yonca, pancar, pamuk, tahıl, yulaf, şeker pancarı ve domates; orta derece toleranslı bitkiler olarak arpa, lahana, kereviz, mısır, kabak, şalgam olarak belirtilmiştir. Orta derecede hassas türler, brokoli, havuç, salatalık, bezelye, biber, patates ve turp olarak belirtilmektedir.

Bor miktarınca fakir bir ortamda yetiştirilen tarla fasulyesinde büyüme azalmakta ve gelişimi durmaktadır. Ancak ortama bor ilave edilmesi büyüme ve gelişmeyi yeniden sağlamaktadır. Daha yüksek bor konsantrasyonlu bir ortamda ise tarla fasulyesi için bor toksik etki yaratmaktadır. Bu nedenlerden dolayı topraktaki bor konsantrasyonunun bilinmesi ve belirli aralık seviyesinde olmasının gerekli olduğu bildirilmiştir (Cömert ve Çelik, 2017). Bitkilerde bor eksikliği genel olarak bitki gövdesindeki büyüyen ya da gelişen organ yapılarında meydana gelmektedir. Bunun yanı sıra bor eksikliğine bağlı olarak yapraklarda genişleme ve köklerde uzamada durmaktadır. Apikal baskınlık, çiçek gelişimi, meyve ve tohum oluşumu da bor konsantrasyonunun azlığı sonucu sınırlanarak engellenmektedir.

Stavrianakou, Liakopoulos ve Karabourniotis (2006) tarafından yapılan çalışmada, bor eksikliğinde büyümenin engellenmesinin yanı sıra, *Dittrichia viscosa* L. bitkisinin iç yaprak ve kök fenolik bileşiklerinin nispi konsantrasyonunda dikkate değer bir artışa neden olduğunu ortaya koymuştur. Bunun yanı sıra borun fotosentez ile ilgili olarak stoma yoğunluğu, klorofil konsantrasyonu, fotosentetik kapasite ve PS II'nin içsel fotokimyasal verimliliği gibi etkenler üzerinde olumsuz bir etkisi bulunmadığı da belirtilmiştir (Stavrianakou ve diğerleri, 2006). Michael ve diğerleri (2019) tarafından tütün bitkisinde gerçekleştirdikleri araştırmada bitkinin gövdesinden iletim kanallarıyla yapraklara taşınması

sırasında esasen ksilem iletim kanallarıyla olduğu ve bitkide taşındığı ve tepedeki organlarda biriktiği belirtilmiştir. Borun akümülyasyona müsait bir element olduğundan ve verim olarak yeniden harekete geçirilmemesinden kaynaklı genellikle bor dağıtımı yapılan organlarda biriktiği belirtilmiş bu nedenle bitki yetiştirilmesinde borik asitin sürekli tedarik sağlamada diğer bor bileşiklerinden daha verimli olduğu bildirilmiştir (Shorrocks 1997; Dell ve Huang 1997). Eksikliğin belirtilerinin tam tersine bor toksisitesinde, olgun yapraklarda özellikle kenar bölgelerinde tipik bor zehirlenmesi belirtileri olan nekrozlar meydana gelmektedir. Bunun yanı sıra bor yaşlı yapraklarda özellikle de yaprakların kenar kısımlarında birikme eğilimindedir. Bunun temel nedeni olarak transpirasyon süresince taşınma ve transpirasyon sonunda akümülyasyon olup, fazla bor verimi olumsuz etkilemektedir (Stavrianakou ve diğerleri, 2006; Yau ve diğerleri, 1995).

Bor toksisitesi, dünya genelinde kurak ve yarı kurak ortamlardaki topraklarda bitki gelişimini sınırlayabilen önemli bir faktör olarak nitelendirilmektedir. Genellikle toprak bitkiler için esansiyel iz elementlerin birincil kaynağı durumundadır. Bununla birlikte, bitkilerdeki bor gibi toksik iz element konsantrasyonlarının, doğrudan belirli kuyulardan gelen suya ya da dolaylı olarak drenaj suyunun araziye uygulanmasına ve yüksek bor konsantrasyonu mevcut olan toprağa kadar izlendiği istisnalar mevcuttur (Kubata, 1980). Ancak, toprak yapısında borun adsorbe ve çözelti fazları, sahada gözlemlenen potansiyel bor toksisite etkilerini de etkilemektedir (Shani ve Hanks 1993). Bu durum bazı durumlarda da dünyanın farklı bölgelerinde yetiştirilen bitkisel üretim verimlerinde düşüöşlere neden olmaktadır (Cartwright, Zarcinas ve Spouncer, 1986). Nable, Banuelos ve Paull (1997) tarafından yapılan çalışmada 5.00 mg L^{-1} 'den fazla bor konsantrasyonu içeren toprakta birçok tarımsal ürün için toksik olabileceğini belirtmiş ve bor eksikliği ile toksisite arasında da çok dar bir konsantrasyon aralığı olduğunu ve bu nedenle bor konsantrasyonun tarımsal ürün üretilen toprakta önemini vurgulamıştır.

Bitkilerde bor toksisitesinin öncelikli belirtisi, yaprak uçlarında kloroz (sararma) oluşumudur. Yaprak kenarı boyunca ve yaprağın iç kısmına doğru ilerlemektedir. Daha sonra nekroz klorotik doku oluşmakta ve bunu yaprak dökümü takip etmektedir. Yaprak dokusunun nekrozu, bitki verimliliğini azaltan bir faktör olup fotosentetik kapasite kaybına neden olmaktadır (Lovatt ve Dugger, 1984). Bor toksisitesi sonucu polen çimlenmesi ve polen tüpü büyümesi de engellenmektedir (Tombuloglu, Tombuloglu ve Sakcali, 2015). Birkaç araştırmacı, yapraklardaki bor içeriği ile toksisite belirtilerinin şiddeti arasında

doğrudan bir ilişki olduğunu tespit etmiştir. Gilliam ve Watson (1981) tarafından yapılan çalışmada *Taxus media* Rehder türü bitkide topraktaki dört bor konsantrasyonunda (0,5, 5,0, 25,0 veya 50 mg kg⁻¹) büyümesini incelemiştir. Yaprak bor birikimi 85 ila 100 µg g⁻¹ kuru doku arasında değişen konsantrasyonlara ulaştığında toksisite belirtileri gözlenmiştir. Gözlenen semptomlar arasında yaprak ucunda sararma, ardından nekroz ve erken yaprak dökümü yer almıştır. 50 mg bor kg⁻¹ toprakta sürgün ve kök gelişiminin baskılandığı belirtilmiştir.

Sopova, Petrovska, Musalevski, Najcevska ve Sekovski (1981) yaptıkları çalışmada, haşhaş (*Papaver somniferum* L.) bitkisinin üç bor düzeyinde (16, 24 ve 32 mg kg⁻¹) toprak konsantrasyonlarının bitki gelişimine etkilerini incelemiştir. Araştırmaya göre gelişimde düşüş, yapraklarda sararma, geç çiçeklenme, kök uç hücrelerinde mitotik frekansın azalması ve haşhaşta mayoz bölünme sırasında anormalliklerin olduğu bildirmişlerdir. Kluge ve Podlesak (1985) tarafından yapılan çalışmada saksı bitkisi olan bahar arpası (*Hordeum vulgare* L.) yapraklarında bor fazlalığına bağlı belirtilerin, yaprak dokusundaki bor içeriği 60-80 mg kg⁻¹'a ulaştığı anda meydana geldiğini tespit etmişlerdir.

Gestring ve Soltanpour (1987) tarafından yapılan çalışmada sodyum borat ile değiştirilmiş üç bor konsantrasyonlu (0,10, 20 ve 40 mg kg⁻¹) toprak tipinde yoncanın (*Medicago sativa* L.) büyüme ve gelişimini incelemiştir. Hem kumlu tınlı hem de tınlı topraklarda bor uygulaması yonca verimini önemli ölçüde azaltmıştır. Ancak silt-tınlı toprakta verim düşüşü gözlemlenmemiştir. Topraktaki bor ekstrate edilmemiş, bor toksisitesini yeterince değerlendirmesine rağmen bitki bor seviyeleri, daha güvenilir bir toksisite indeksinde olduğu belirlenmiştir.

Glaubig ve Bingham (1985) tarafından yapılan çalışmada Kaliforniya'da endemik olarak yetişen dört ağaç türünde (kazıcı çam, *Pinus sabiniana* Douglas ex D. Don.; California defnesi, *Umbellularia californica* Nutt.; madrone, *Arbutus menziesii* Pursh; büyük yapraklı akçağaç, *Acer macrophyllum* Pursh) deneysel koşullar altında hem toprak hem de yaprak dokusu bor konsantrasyonları ve yaprak hasarı arasında önemli doğrusal ilişkiler olduğunu bildirmiştir.

Shann ve Adriano (1988) tarafından yapılan çalışmada bora kronik yaprak aerosol maruziyetinin, yapraklarda bor birikimi ile ilişkili olarak fitotoksisite ürettiğini belirlemiştir.

Araştırmada aerosol maruziyetinden kaynaklanan görsel hasarın (yaprak ucu nekrozu), test edilen tüm mahsuller için kök bor toksisitesinden gözlemlenen ile aynı olduğunu bildirmiştir. Karasal bitkilerde bor eksiklikleri birçok ülkede rapor edilmiştir. Bor noksanlığının, hafif dokulu, nemli bölgelerdeki asitli topraklarda, borun süzülmeyle karşı hassas olması nedeniyle ortaya çıkması daha olası görülmektedir. Genel olarak, eksiklik ve toksisite arasında küçük bir aralık bulunduğu ve bununla birlikte bora karşı dayanıklılıklarında türler arasında önemli farklılıklar bulunduğu belirtilmektedir. Bora duyarlı türler arasında turunçgiller, sert çekirdekli meyveler ve fındık ağaçları; yarı toleranslı türler arasında yumrular ve tahıllar; toleranslı türler çoğu sebzeleri kapsamaktadır. Fazla bora bağlı toksisite, çevrede bor eksikliğine göre çok daha az görüldüğü belirtilmektedir (Öztürk ve diğerleri, 2010). Bu durum Dünya'daki bor yataklarının varlığı ile ilişkilendirilmektedir.

Çok çeşitli bitki türleri arasında, bor toksisitesinin tipik belirgin semptomu, genellikle yaşlı yaprakların kenarlarında ve uçlarında, yaprak yanığı klorotik ve/veya nekrotik lekeler olduğudur (Bennett, 1994; Bergmann, 1992). Bu belirtiler, çoğu türde bor dağılımını yansıtmakta ve bor transpirasyon sonunda birikmektedir. Klorotik ya da nekrotik lekeler, çevreleyen yaprak dokularına kıyasla büyük ölçüde yüksek bor konsantrasyonlarına sahip olmakla birlikte bazı türler (arpa gibi), farklı genotipler için karakteristik modeller göstermektedir. Borun floem hareketli olduğu türlerde (*Prunus* sp., *Malus* sp., *Pyrus* sp.), bor transpirasyon sonunda değil de gelişmekte olan bitki kısımlarındadır, yani toksisite belirtileri meyvelerde bozukluk (sakızlı fındık, iç nekroz) şeklinde ya da ağaç kabuğunda, kambiyal dokuların ve gövdenin ölmesine bağlı olarak gelişen gövde nekrozları şeklindedir (Brown ve Hu, 1996). Toprakta bor eksikliği bitkilerde bazı sorunlara yol açsa da bor fazlalığı da çeşitli fiziksel ve biyokimyasal sorunlara neden olmaktadır. Bu etkiler genellikle bitkilerin meyve ve yapraklarında bozulmalara neden olmaktadır (Hartmann, Flocker ve Kofranek, 1981).

Şener ve Özkara (1989) tarafından ayçiçeği ve fasulye tarlalarında borun zararlı etkileri üzerine yapılan araştırmalara göre ayçiçeği verimi $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ (1000 m^2 'de 418 kg) yüksek olmakla birlikte yoğunluğun arttıkça verimin düştüğü bildirilmiştir. 16 mg L^{-1} 'de verim 1000 m^2 'de 306 kg'a düşmüştür. Fasulyede ise $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ 'de 1000 m^2 'de 180 kg olan verim, 16 mg L^{-1} 'de 1000 m^2 'de 73 kg'a kadar düşmektedir (Şener ve Özkara, 1989).

Yüksek bor konsantrasyonlarına yanıt olarak genetik varyasyon hem türler arası hem de türler arası seviyelerde meydana gelmektedir. Paull, Nable ve Rathjen (1992) tarafından ekmeklik buğdayda (*Triticum aestivum* L.); Jamjod (1996) tarafından makarnalık buğdayda (*Triticum durum* L.); Bagheri, Paull ve Rathjen (1996) tarafından tarla bezelyesinde (*Pisum sativum* L.) bor toleransı kısmen baskın nükleer genler tarafından borsuz grup edildiği belirtilmiştir. Her tür veya cinsin tek bir çeşitle temsil edildiği türler arası varyasyon üzerine birçok araştırma bulunmaktadır (Maas, 1987). Bu çalışmaların birçoğu ya bitki büyümesi ya da toksisite belirtilerinin gelişimi ya da her ikisi temelinde bora karşı oluşan tepki olarak geniş bir aralık tanımlamışlardır. Bor toksisitesine tolerans sadece bütün bitkiler düzeyinde değil, aynı zamanda organ ve hücresel düzeyde de gerçekleşmektedir (Huang ve Graham, 1990).

1.2.3. Bitkilerde bor alımı

Bor doğada öncelikle suda çözünen ve az miktarda borat anyonu ($B(OH)^{-4}$) bulunan ayrışmamış borik asit $B(OH)_3$ olarak bulunmaktadır (Bolaños, Lukaszewski, Bonilla, ve Blevins, 2004). Bitki boru topraktan borik asit şeklinde almaktadır (Brown ve Shelp, 1997). Borik asit, yüklü olmayan bir molekül olmasının bir sonucu olarak, lipid çift katmanları için oldukça geçirgen ve dolayısıyla geçiş konsantrasyon gradyanına orantılı olarak gerçekleşmektedir (Brown ve Shelp, 1997, Tanaka ve Fujiwara, 2008). Bitkinin üst kısımlarına ulaşabilmesi için borun ksilemin kapasitesi ve terleme hızı ile orantılı olarak yukarı doğru taşınması gerekmektedir. Uç noktalara taşınan bor varış noktasında, çoğunlukla olgun yaprakların uçlarında ve kenarlarında birikmektedir (Brown ve Shelp, 1997).

Toprak pH'ı 4'ün 9'a yükseldiğinde borun alımı azalmakta ve ışık yoğunluğunun artmasıyla artmaktadır. 10 °C ila 30 °C arasında değişen sıcaklıklarda bor absorpsiyon hızı hızla artmakta ve 35 °C'nin üzerinde keskin bir şekilde azalmaktadır (Ayvaz, 2002). Zarlar, elementlerin, çözünen maddelerin ve suyun taşınması sırasında kilit rol oynamakta ve iyon taşıyıcılarına sahip yapıdadır. Bazı elementlerin ortak özellikleri, düşük membran geçirgenliği eş-verimliliklerinin zar taşınmasını zorlaştırmalarıdır. Ancak borik asit gibi orta derecede geçirgen olan bazı moleküller bir taşıyıcıya ihtiyaç duymaktadırlar. Son zamanlarda yapılan çalışmalar, hücrelerin sadece düşük geçirgenlik katsayılı molekül için taşıyıcılara değil, çözünen ya da yüksüz moleküller ve su için de taşıyıcılara ihtiyaç duyduklarını belirlemiştir. Yani bu moleküller geçirgen olsalar da zardan geçmek için

enerjiye ihtiyaç duyduklarını gösterilmiştir (Alberts ve diğerleri, 2002). Yapay membran ve farklı türlerden izole edilen membranlar ile yapılan çalışmalar, borik asidin membran geçirgenlik katsayısının yaklaşık 10^{-7} olduğu belirlenmiştir. Bu verilere göre borik asidin geçirgenliği triptofan, glikoz ve Cl^- 'den çok daha yüksek, ancak glikoz ve üreden çok daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Ancak bu değer, lipid bileşimi, hücre içi pH gibi membran tipine göre değişkenlik göstermektedir (Öztürk ve diğerleri, 2010). Borik asidin membranlar arası taşınması için üç mekanizma bilinmektedir:

1. Lipid çift tabakası boyunca pasif difüzyon (Dannel, Pfeffer ve Römheld, 2000; Takano ve diğerleri, 2002)
2. Bor taşıyıcısı ile aktif taşıma (Tanaka ve Fujiwara 2008; Takano, Kobayashi, Noda ve Fujiwara, 2007; Pérès, Bureau, Neuville, Arhan ve Bouglé, 2001)
3. Bor taşıyıcısı tarafından kolaylaştırılmış taşıma nodulin benzeri intrinsik protein (NIP) kanalı (Tanaka ve Fujiwara, 2008)

Bunların hepsi bitkilerde bor taşınmasının düzenlenmesinde rol oynamaktadır. Bor alımı için teorik olarak borik asidin sadece pasif taşıma ile kök apoplastına (hücre dışı boşluk) girmesiyle gerçekleşmektedir. Ancak Nuttall (2000), Dordas, Chrispeels ve Brown (2000) ve Dordas ve Brown (2000) bor emiliminin, transmembran kanallar-aquaporinler yoluyla kolaylaştırılmış difüzyon yoluyla da gerçekleşebileceğini göstermiştir (Chrispeels, Crawford ve Schroeder, 1999). Borik asidin aquaporin adı verilen taşıyıcının yardımına ihtiyaç duymadığına belirtilmekteydi (Benga ve diğerleri, 1986; Frommer ve von Wirén 2002; Kuchel, Langridge, Mosionek, Williams ve Jefferies, 2006). Ancak, Agre ve Kozono (2003) tarafından elde edilen bulgular yüksek geçirgenliğe sahip moleküllerin ya da çözünenlerin (su, üre, gliserol, vb.) zarıdan hem pasif difüzyon hem de kanal aracılığıyla taşıma ile geçebileceğini ortaya koymuştur. Çünkü zar hızlı bir geçiş sağlamak için birkaç taşıyıcı içermektedir. Aquaporinler gibi taşıyıcı proteinler tarafından zarın iki tarafındaki moleküllerin ya da çözünenlerin akışı bir bor taşıyıcısı olan BOR1'in (Takano ve diğerleri, 2002) keşfi ile bunun ksileme aktarımı için gerekli olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Takano ve diğerleri (2006), bitki zarlarının düşük geçirgenliğinin, özellikle borun sınırlayıcı rolü altında, bir bitkinin bor talebini karşılamak için zar proteinlerine ihtiyacı olduğunu vurgulamıştır. Borik asidin ksileme ve daha sonra bitkilerin uç kısımlarına aktif taşıma mekanizması Tanaka ve Fujiwara (2008) ve Takano ve diğerleri (2007) tarafından ayrıntılı

olarak incelenmiştir. Bu araştırmalara göre, borun ksilem aktarımı taşıyıcı proteinler tarafından sağlanmaktadır. Apoplast tarafından emilen bor, endodermdeki bir apoplast bariyeri olan Casparian bandı nedeniyle ksileme ulaşmak için önce hücreye (simplast) girmesi gereklidir. Bu çözünenler ksileme girdiklerinde apoplasta geri dönmektedirler, çünkü kanal elemanları ölü hücrelerden oluşmaktadır. Besin maddesinin simplasttan ayrıldığı ve bir iyon akış kanalı yoluyla ksileme girdiği sürece BOR1 borun ksilem aktarımı gerçekleştirmektedir (Pérès ve diğerleri, 2001). Takano ve diğerleri (2002) tarafından keşfedilen BOR1 biyolojik sistemlerde bor taşınmasına bağlanan ilk proteindir ve bor ksilem yüklemesi ile ilgilidir. Takano ve diğerleri (2002) tarafından BOR1 varsayımsal transmembran alanı arasında daha yüksek seviyelerde bor gerektiren *Arabidopsis* mutantları tarafından eksprese edilen proteinin ikinci transmembran alanında iki amino asit farkıyla tespit edilmiştir.

Frommer ve von Wiren (2002), ksileme bor taşınmasını sürdürmek için ksilem özsuynunun borat anyonları gerektirdiğini öne sürmüştür. pH, ksilem için 5.6, sitozol için 7.5 olarak saptanmış, hücre içindeki borik asit yüksek sitozolik pH nedeniyle sitoplazmada borat anyonuna dönüştürülmektedir. Bu nedenle bor, borat anyonunun bir formu olarak zardan kolaylıkla geçebilmektedir. Daha sonra bu borat anyonları ksilemde tekrar borik aside dönüştürülmektedir. Frommer ve von Wiren (2002) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ayrıca BOR1'in boratı ksileme aktarılacağı üç farklı yol olduğunu önermiştir:

1. Borat için konsantrasyon gradyanına (uniport) bağlı olan difüzyondur;
2. X-QUAC anyon kanalları tarafından oluşturulan bir klorür gradyanına bağlı borat/klorür değişimi ile ilgilidir
3. Boratın bir proton ile eşleştirilmiş karşı taşınımıdır (antiport).

Proton, hücre duvarı boşluğuna, içinde negatif bir zar potansiyeli oluşturan H^+ -ATPazlar tarafından aktarımı gerçekleştirilmektedir (Frommer ve von Wiren, 2002). NIP5;1, plazma zarı üzerinde bulunan ve normal büyüme için bor sınırlamaları altında borik asit alımını gerektiren bir borik asit kanalı olarak tanımlanmıştır (Takano ve diğerleri, 2006). Casparian şeridi bor taşınması sırasında aktif bir role sahiptir. Hücre dışı borik asidin endodermisten perisikl geçişini bor eksikliğinde engellemektedir. NIP'ler dönüştürülerek kök üzerindeki epidermal, kortikal ve endodermal hücrelerin plazma membranında bulunarak hücrelere borun girişi sınırlandırılmaktadır. Borik asit bu tedarikçiler vasıtasıyla perisikl ve oradan da

ksileme ulaşmaktadır. Borik asidin hücreler arasında hücre içi geçişi, plazmodesmata tarafından sürdürülmektedir. Bu nedenle borik asit, Casparian şeridine geçebilmekte ve ksilem aktarımında önce hedef nokta-perisikl hücrelerine ulaşmaktadır (Tanaka ve Fujiwara, 2008).

Hücrel borik asidin, ksileme aktarımı için perisil hücrelerinden dışarı akması gerekmektedir. Tanaka ve Fujiwara (2008)'e göre BOR1 proteinleri bir şekilde eksprese edilmekte, transkripsiyon sonrası modifikasyonlarla düzenlenmektedir. BOR1, sitozolik borik asidi bor sınırlı koşullar altında perisiklik bölgeye taşımaktadır. Ancak BOR1 proteinlerinin aşırı bor kaynağı koşulları altında (sırasıyla 30 ve 100 μM) vakuollerde endositoz yoluyla parçalandığını göstermiştir (Takano, Miwa, Yuan, von Wirén ve Fujiwara, 2005).

Bor taşınımı ile ilgili ortaklaşılan temel nokta, transpirasyon sonucu bitkinin üst kısımlarına doğru taşındığı ve varış noktasında özellikle yaprak kenarlarında birikmesidir. Bu nedenle ideal olarak yaşlı yapraklar gençlerden çok daha fazla bor biriktirdiği kabul edilmektedir. Bununla birlikte, araştırmalar bazı türler için, özellikle önemli ölçüde şeker alkolü üreten türler için, genç yapraklardaki bor konsantrasyonunun yaşlı yapraklardan daha yüksek olduğunu tahmin edilmektedir. Bu, borun, özellikle önemli miktarda şeker alkollerini (mannitol ve sorbitol) üreten türler olmak üzere, şeker alkollerinin yardımıyla bitkilerin farklı kısımlarından yeniden hareket edebildiğini vurgulamaktadır. Nitekim, Brown, Bellaloui, Hu ve Dandekar (1999), bu yeniden mobilizasyonun sorbitol sentezi ile yüksek oranda ilişkili olduğunu göstermiştir. Sorbitol sentez üretiminin artması durumunda, taşıma önemli ölçüde arttığı bildirilmiştir. Tanaka ve Fujiwara (2008) tarafından gerçekleştirilen çalışmada borun, bor bağlayıcı şeker alkolü akışı boyunca hareket edebileceğini öne sürmüştür. Bitkilerde bor toksisitesi toleransı için yapılan son metabolit çalışması, düşük bora (5 μM) kıyasla yüksek bor maruziyet seviyelerinde (1000 μM) yaprakta glikoz seviyesinin arttığını göstermiştir (Roessner ve diğerleri, 2006).

Reid, Hayes, Post, Stangoulis ve Graham (2004) tarafından yapılan çalışmada bor intoleransı olmayan bitkilerde, yüksek düzeyde borda fotosentezin %23 oranında baskılandığını göstermiştir. Ünver, Bozkurt ve Akkaya (2008), PS II Protein D2'nin *Gypsophila perfoliata* türündeki bor toksisitesini düzenlemek için Borsuz grup ve yüksek bora maruz kalan (500-1000 μM) yaprakları karşılaştırarak olası bir rolü açıklanmıştır. DDRT-PCR sonuçları, farklı

şekilde eksprese edilen transkriptlerden birinin *Triticum aestivum* Photosystem II protein D2'de yüksek düzeyde benzerliğe (%99 pozitif puan) sahip olduğunu göstermiştir. qRT-PCR analizi, 500 ve 1000 μM konsantrasyonda bor ile muamele edilmiş yaprak numunelerinin Borsuz grup gruplarına (30 μM) göre sırasıyla 10 ve 14 kat değişiklik gösterdiğini göstermiştir. Bu nedenle bor toleranslı bitkiler, floem yoluyla şeker-bor kompleksleri oluşturarak yapraklar arasındaki fazla boru yeniden harekete geçirerek muhtemelen borun toksik etkilerini tolere ettiği düşünülmektedir. Nitekim bor eksikliğine dayanıklı bitkiler, ters reaksiyon ile bor esansiyelliğini şeker alkollerine ile aynı mekanizma ve taşıma ile tolere edebilmektedirler. Bununla birlikte, şeker olmayan alkol üreten bitkiler, *Arabidopsis* (Noguchi ve diğerleri 2000), *Brasica napus* L. (Stangoulis, Reid, Brown ve Graham, 2001) ve *Helianthus annuus* L. (Matoh ve Ochiai, 2005) türlerinde gözlemlendiği gibi sınırlı bor maruziyetlerinden boru tercihen genç dokulara taşıyabilmektedirler (Tanaka ve Fujiwara, 2008). Şekersiz alkol üreten bitkilerin, borun bitkilerin genç kısımlarına yer değiştirmesi için farklı mekanizmaları harekete geçirmesi gerektiği öne sürülmüştür. Bu translokasyonda bor taşıyıcıları ve kanalları yer alabilmektedir (Noguchi ve diğerleri, 2000). Bunun yanı sıra, Tanaka ve Fujiwara (2008) bitkilerin bor seviyelerini algılayabildiklerini ve sınırlı koşullar altında taşınmayı düzenleyebileceklerini varsaymışlardır.

1.2.4. Borun bitki büyümesine etkileri

Bitkilerin mineral beslenmesi, bitkilerin fizyolojik ve biyokimyasal süreçlerinin kontrolünde önemlidir. Eksikliği bu süreçlerde değişikliklere, bitki büyüme ve veriminin bozulmasına neden olabilmektedir. Bor, normal bitki büyümesi için gerekli olan mineral besinlerden biridir. Borun daha yüksek bitkilerin büyümesi ve gelişmesi için esansiyeldir (Marschner, 1995). Borun temel işlevleri, hücre duvarı gücü ve gelişimi, hücre bölünmesi, meyve ve tohum gelişimi, şeker taşınması ve hormon gelişimi ile ilgilidir. Borun bazı işlevleri bitkideki azot, fosfor, potasyum ve kalsiyumun işlevleriyle ilişkili olduğu bildirilmiştir (Ahmad, Zia, Malhi, Niaz ve Niaz, 2012).

Bitkilerde borun en önemli fonksiyonlarının spesifik metabolizma yollarının uyarılması veya inhibisyonu ile sonuçlanan hücre duvarı gelişimindeki yapısal rolü olduğu düşünülmektedir. Bitki hücre duvarı, birincil duvar, ikincil duvar ve orta lamel olmak üzere üç ana katmandan oluşmaktadır. Birincil duvar, aktif büyüme öncesinde ve sırasında hücreler tarafından oluşturulmakta ve pektin (%34), hemiselüloz (%24), selüloz (%23) ve

protein (%19) içermektedir (Darvill, McNeil, Darvill ve Albersheim, 1980). Bazı hücrelerde ikincil duvar ek katmanlarını birincil duvarın içine depolamaktadır. Bu, büyüme durduktan sonra veya hücre farklılaşmaya başladığında meydana gelmektedir. İkinci duvar esas olarak destek için gereklidir ve esas olarak selüloz ve lignin içermektedir. Birbirini bağlayan orta lamel bitişik hücreler pektin polisakkaritlerden oluşmaktadır. Duvar bileşeninin gerçek içeriği türe ve yaşa göre değişmektedir. Bazı araştırmacılar toplam borun bir miktarının hücre duvarlarında lokalize olduğunu tahmin etmektedir (Loomis ve Durst, 1992).

Bor Ca^{+2} ile birlikte kompleksler oluşturabilmekte olup pektinler, polihidroksil polimerler, polioller ve Ca^{+2} gibi çeşitli hücre duvarı bileşenleri ile B'nin cis diol grupları ile esterler oluşturarak hücre duvarının sentezi ve stabilitesinde rol oynamaktadır (Glass, 1973; Tanaka ve Fujiwara, 2008). Bu sayede hücre duvarına katılarak hücreye sertlik, sağlamlık ve şekil kazandırmaktadır (Loomis ve Durst, 1992). Bor, kök uçları, yeni yaprak ve tomurcuk gelişimi gibi bitkilerin aktif olarak büyüyen bölgeleri için gerekli olduğu kabul edilmektedir (Ahmad, Akhtar, Iqbal ve Nasim, 2009). Rerkasem'e (1996) göre bor, özellikle meristematik hücrelerde olgun dokulardan daha fazla gerekli olduğu belirtilmiştir. Bu yüzden; bor eksikliğinin ilk etkisi genellikle meristem dokularda görülmektedir (Warington, 1923). Sürgünlerden bitkinin diğer kısımlarına düşük floem taşınması nedeniyle daha yüksek meristematik bor gereksinimi artabilmekte ve bu da yapraklarda daha yüksek bor birikimine neden olmaktadır (Loomis ve Durst, 1992).

Bor eksikliği olan bitkilerde plazma membranları yüksek oranda sızdırmakta ve fonksiyonel bütünlüğünü kaybetmektedir (Cheng ve Rerkasem, 1993). H^+ , K^+ , Rb^+ , PO_4^{-3} ve Ca^{+2} gibi iyon akışlarındaki değişikliklerin bor eksikliği ile ilişkili olduğu saptanmıştır (Robertson ve Loughman, 1974). Membran bağlı ATPazlar tarafından proton akışı, iyon alımı için ana itici güçtür ve membranlar boyunca elektrik potansiyelindeki bir gradyandan sorumludur (Schon, Novacky ve Blevins, 1990).

Barr ve diğerleri (1993) tarafından yapılan çalışmada bor ile kültürlenmiş havuç hücrelerinde plazma membranı NADH oksidaz ve H^+ sekresyonunun uyarılmış aktivitesi tarafından da rapor edilmiştir. Bu çalışmaya göre oksin bor kaynaklı H^+ ekstrüzyonunu etkilemektedir. Hu ve Brown (1997)'e göre, borun H^+ -ATPaz aktivitesi üzerindeki uyarıcı etkisi, oksin varlığını gerektirmekte veya oksin tarafından proton salınımındaki artış borun varlığını gerektirmektedir. Ayçiçeği kök hücreleri ve yoğun yapraklı *elodea* ile yapılan çalışmalarda

yaprak hücrelerinde, hücrelerin bor içeren bor içermeyen çözeltiye transferinden sonra membranlarda önemli bir depolarizasyon bulunmuştur. Bu nedenle, bor beslenmesi, proton salgılanması ve zarlar boyunca bir elektriksel potansiyel gradyanı yaratılması üzerinde belirgin etkilere sahiptir (Blaser-Grill, Knoppik, Amberger ve Goldbach, 1989). Bor kaynağı, zara bağlı ATPaz'ın aktivitesini arttırmakta ve ardından K^+ iyon alımını uyararak plazma zarının hiperpolarizasyonuna neden olmaktadır. K^+ söz konusu olduğunda stomaların açılıp kapanmasında görev almakta, K^+ akışını etkileyerek, borun ay çiçeğinin (*Commelina communis* L.) epidermal şeritlerinde stoma açıklığının arttırılmasını da içerdği bulunmuştur (Schon ve diğerleri, 1990).

Fosfat alım hızı, bor eksikliği ile azalmakta ve borun eksikliğinin giderilmesi ile bitkiler bir saat süreyle hızla geri yüklenmektedir (Roth-Bejerano ve Itai, 1981). Borun iyon akışı veya akışı üzerindeki daha hızlı etkileri Poole (1978) tarafından mısır bitkisinde gösterilmiştir. Ortamda borun eksikliği bulunan mısıra bir saat süreyle yeniden verilmesi, fosfat alımının önemli bir restorasyonuna neden olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra bor azot fiksasyonunda da rol oynadığı belirtilmektedir. Loomis ve Durst (1992) tarafından yapılan çalışmada borun vasküler bitkilerin, diatomların ve deniz alg kamçılı türlerinin büyümesi ve gelişmesi için gerekli olan temel bir mikro besin maddesi olduğu; bakteri, mantar, yeşil alg ve hayvanların görünüşe göre bora ihtiyaç duyduğunu bildirmiştir. Ancak aynı zamanda siyanobakteriler, N_2 fiksasyonuna bağlı olduklarında bora ihtiyaç duydukları bildirilmiştir. Bor eksikliği olan koşullarda, baklagillerin nodül ağırlığı ve N_2 fiksasyon kapasitesi genellikle azalmaktadır.

Bolanos ve diğerleri (1994) tarafından bezelyede (*Pisum sativum* L.) boronun simbiyotik nitrojen fiksasyonu üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Kültür ortamında bor bulunmaması, daha az sayıda nodül ve nodül gelişiminde değişiklikler ile sonuçlanmıştır. Nodüller sadece sayıca daha az bulunmadığı, aynı zamanda nodül yapısının düzensiz olduğu belirtilmiştir. Bor eksikliği olan nodüllerin incelenmesi, hücre duvarında ve hem peribakteriyod hem de enfeksiyon iplik membranlarında değişiklikler göstermiş ve bu yapıların stabilitesinde borun bir rolü olduğunu düşündürmüştür (Brenchley ve Thornton, 1925). Nodül gelişimindeki bu değişiklik, nitrojenaz aktivitesinin inhibisyonuna yol açmaktadır. Bu sonuçlar, borun normal nodül gelişimi ve işlevselliği için bir gerekli olduğunu göstermiştir. Bor eksikliğinin üreme gelişimini sınırladığı bildirilmiştir. Buğdayda bor eksikliği, zayıf anter ve polen gelişimine,

düşük dane tutumuna ve bodurluğa neden olmaktadır (Dalton, Russell, Hanus, Pascoe ve Evans, 1986; Rashid, Rafique ve Ryan, 2002).

In vitro çimlenme testleri ayrıca buğdayda polen çimlenmesi ve tüp büyümesi için borun gerekli olduğunu göstermiştir (Dalton ve diğerleri, 1986). Tohum ayarı, özellikle tuzdan etkilenen topraklar olmak üzere herhangi bir topraktan verimi artırmak için önemlidir. Aslam, Mahmood, Qureshi, Nawaz ve Akhtar (2002) bor beslemesinin bir etkisi olarak farklı pirinç çeşitlerinde daha iyi tozlaşma, tohum tutumu, düşük başak sterilitesi ve daha fazla tane oluşumu bildirmiştir. Rashid, Rafique ve Bughio (1994) bor uygulamasından sonra azalan salkım sterilitesine bağlı olarak pirinç çeşitlerinin tane veriminde önemli bir artış gözlemlemiştir. Jiang ve Miles (1993), bor eksikliğinin çiçek veriminde önemli ve geri döndürülemeyen bir düşüşe neden olduğu, buğdayın anter gelişiminin kritik aşamalarını tanımlamışlardır.

Çakmak (1994)'e göre bor buğday gibi ürünlerde sınırlı floem hareketliliğine sahiptir. Bu nedenle, sağlıklı üreme büyümesi (anter, polen ve ovül gelişimi) için bor kaynağına ihtiyaç duyulduğunu belirtmiştir. Loomis ve Durst (1991) tarafından yapılan çalışmada bor içermeyen ortamda şeftalide (*Prunus persica* L.) çiçeklenme ve gelişme eksikliğine yol açan apikal meristemlerin düşmesini bildirmiştir. Bazı fizyologlar bor beslemesinin çiçeklenme, stamen, pistil ve genç üreme yaprakları üzerindeki etkisini gözlemlemişlerdir. Bu gözlemlere göre genellikle çiçek, ercik ve pistildeki bor konsantrasyonu, düşük seviyeden yeterli seviyeye bor arzının artmasıyla artmaktadır. Bu, genç reproduktif bitki parça ve yapraklarının bor arzına tepkisinin göstergesi olarak nitelendirilmiştir (Rashid ve Rafique, 2005; Raven, 1980; Zhang, Graziani ve Oradhan, 1994).

1.3. Makarnalık Buğday (*Triticum durum* L.)'ın Özellikleri

Buğday, içerdiği vizkoelastik ve kohezif özelliklere sahip gluten proteinleri nedeniyle çok özel bir tahıl olmakla birlikte, birçok ülkede olduğu gibi Türkiye'de de insanların beslenmesinde vazgeçilemez bir yere sahiptir. Buğday tür ve çeşidine bağlı olarak ekmek çeşitleri başta olmak üzere makarna, bulgur, erişte, kuskus, bisküvi, kraker, gofret, kek, simit, poğaç, kahvaltılık gevrekler, çerez gıdalar, nişasta, vital gluten ve nişasta bazlı şekerler gibi birçok gıdanın üretiminde kullanılmaktadır. Buğday öğütme yan ürünleri ise çoğunlukla yem sanayinde değerlendirilmektedir. Dünyada ve Türkiye'de ticari anlamda üç

tür içinde yer alan buğday çeşitleri yetiştirilmektedir. Bunlar; *Triticum aestivum* L. (ekmeklik), *Triticum durum* L. (makarnalık) ve *Triticum compactum* Host (bisküvilik, topbaş) buğdaylarıdır (Hoseney, 1994).

Çalışmamızda kullanılacak olan makarnalık buğdaylar (*Triticum durum* L.) tetraploid ($2n=4x=28$, AABB) buğdaylar olup, kalite özellikleri ve kullanım alanları bakımından hekzaploid ($2n=6x=42$, AABBDD) ekmeklik ve topbaş buğdaylardan çok farklı ve özel bir konuma sahip durumdadırlar. Makarnalık buğdayların bazı spesifik özellikleri nedeniyle makarna üretimi için diğer buğday türlerinden daha üstün durumdadırlar (Jamjod, 1996). Diğer bir ifadeyle, makarnalık buğdayların makarnalık kaliteleri diğer buğdaylardan daha yüksektir. Makarnalık buğdayların çok sert bir endosperm yapısına sahip olmaları irmik verimlerini yükseltirken, tane camsılık oranlarının yüksek olması hem irmik verimlerini hem de irmik parlaklık değerlerini artırmaktadır (Oğuz, Akarçay, Telaşeli ve Sayaslan, 2006; Morris, 2004).

Makarnalık buğdaylarının sarı renkli pigment içeriklerinin çoğunlukla daha yüksek olması, pigmentlerin tanede diğer buğdaylara göre daha homojen bir dağılım göstermesi ve renk ağarması veya ürün kararmasına neden olan oksidatif enzimlerden özellikle lipoksijenaz enzimlerinin daha düşük oranlarda bulunması makarnalık buğdayların makarna yapım kalitelerini yükselten önemli özelliklerdir (Sissons, 2004). Makarnalık buğdayların protein içeriklerinin genellikle daha yüksek olması ve bazı spesifik gluten proteinlerinin makarna pişme kalitesiyle önemli bir korelasyon göstermesi, makarnalık buğdaylarını üretim için ideal kılmaktadır (Troccoli, Borelli, DeVita, Fares ve DiFonzo, 2000). Makarnalık buğdayların makarna yapımındaki özellikleri ve az üretilmesi piyasada diğer buğdaylardan %10-20 daha yüksek bir fiyatla işlem gördürmektedir (Yüksel, Koyuncu ve Sayaslan, 2011)

Dünyada yıllık yaklaşık 10,5 milyon ton, Türkiye’de ise 0,5 milyon ton civarında makarna üretilmektedir. Dünyada makarna tüketimi ortalama 2,0 kg/kişi/yıl civarında iken, bu rakam Türkiye’de 5,4 kg/kişi/yıl düzeyindedir (Türkiye Makarna Sektörü [TMSD], 2004). Makarnalık buğdayların makarnalık kaliteleri, genetik ve çevresel faktörlerden farklı derecelerde etkilenen tane fiziksel özellikleri ve kimyasal bileşimleri tarafından Borsuz grup edilmektedir (Fares, Novembre, Di Fonzo, Galterio ve Pogna, 1997). Makarnalık buğdayının makarnalık kalitesinde; tane sertlik ve camsılık oranları, öğütme kalitesi (irmik verimi ve granülasyonu), protein miktar ve kalitesi (gluten kuvveti), sarı pigment konsantrasyonu ve

sarı renk kaybı veya ürün kararmasına neden olan lipoksijenaz (LOX), polifenol oksidaz (PPO) ve peroksidaz (POD) gibi oksidatif enzimlerin aktiviteleri oldukça belirleyici olduğu bildirilmiştir (Clarke ve diğerleri, 1998)

1.3.1. Makarnalık buğdayda borun etkileri üzerine yapılan çalışmalar

Buğday çeşitleri ile ilgili yapılan çalışmalarda bor uygulanan çeşitlerde bor konsantrasyonuna karşı farklı tepkiler elde edilmiştir. Paull ve ark. (1992) tarafından yapılan altı çeşit buğday türünde; Moody, Rathjen ve Cartwright (1993) tarafından yapılan dokuz çeşit buğday türünde gerçekleştirdikleri deneysel çalışmada bor konsantrasyonuna bağlı olarak verimlerin çeşitlere göre farklı olduğunu tespit etmişlerdir. Taban, Alpaslan, Kutuk, İnal ve Erdal (1995) tarafından makarna çeşitleri üzerine yapılan çalışmada makarnalık çeşitlerinin ekmeklik buğday çeşitlerine göre daha fazla etkilendikleri ve daha az kuru madde oluşturdıklarını belirlemiştir. Bunun yanı sıra birçok çalışmada makarnalık buğdayın diğer buğday türlerine göre bordan daha fazla etkilendiği gözlenmiştir (Brooks, 1991; Barut, 1997; Yau ve diğerleri, 1995; Jamjod, 1996; Alkan 1998). Bu durumun temel sebebi her iki çeşitte de aynı miktarlarda belirlenen borun çeşitlere göre hücrel ve dokusal düzeyde farklı miktarlarda biriktirilmiş olmasıyla açıklanmıştır.

Buğday çeşitlerinin karşılaştırıldığı Paull, Rathjen ve Cartwright (1988), Barut (1997), Paull ve diğerleri, (1992), Taban ve diğerleri (1995), Alpaslan, Taban, İnal, Kütük ve Erdal (1996) tarafından yapılan deneysel çalışmalarda, uygulanan bor miktarına bağlı olarak buğday çeşitlerinin kuru ağırlıkları bazı çeşitlerde azaldığı, bazı çeşitlerde ise belirgin bir değişimin olmadığı belirlenmiştir. Toprağa bor uygulanmadığında ve uygulandığında buğday çeşitlerinin tümünde en fazla bor yaprak ucunda ve yaşlı yaprağın genelinde belirlenmiştir. Taban ve Erdal (2000) tarafından yapılan çalışmada buğdayların yaprak ucu ve yaşlı yaprak geneli bor konsantrasyonu bitki ve yaprak geneli bor konsantrasyonundan sırasıyla yaklaşık 10 ve 2 kat daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, borun bitkiler tarafından pasif absorpsiyonla alınması ve yukarıya doğru ksilemde taşınması sonucu bor yaprakta birikmesi sonucu oluşmuştur.

Atalay, Gezgin ve Babaoğlu (2003) tarafından yapılan çalışmada ICP-AES ile buğday (*Triticum durum* L.) ve arpa (*Hordeum vulgare* L.) in vitro fidelerinin bor (B) alımı ve biriktirme durumlarını belirlemek amaçlanmıştır. Tohumlar; 200 ml'lik cam kavanozlarda,

% 0.7 agar, % 3 sakaroz ve sırasıyla; 0,0, 6,2, 18,6, 55,8, 111,6 mg/l H_3BO_3 içeren 50 ml MS besin ortamında, her kavanozda 5 adet tohum olacak şekilde kültüre alınmıştır. Yirmi günlük fidelerin kurutulmuş kök ve gövde kısımları (0,1-1 g) ile yetiştirme ortamları (5,0-6,0 g) mikrodalgada (CEM-Mars x 5) 10 ml HNO_3 ile 170 PSI basınçta 200 °C’de 40 dakika yakılmış ve numunelerde ICP-AES ile bor analizi yapılmıştır. Kiziltan-91’de köklerde en az bor birikimi 2,2 µg/g kuru madde olarak kontrol ortamından elde edilirken, en çok kök B içeriği ise 15,1 µg B/g ile 111,6 mg/L H_3BO_3 içeren ortamdan elde edilmiştir. Gövdede bor birikimi en az 4,9 µg B/g ile kontrolde, en çok 67,6 µg B/g ile 111,6 mg/l H_3BO_3 içeren ortamdan olmuştur. Tokak-157/37’de en düşük kök bor konsantrasyonunun 0,53 µg B/g ile yine kontrol ortamından, en yüksek birikimi ise 17,3 µg B/g ile 111,6 mg/l H_3BO_3 de olduğu tespit edilmiştir.

Kaya, Sarioğlu, Akram ve Aşraf (2019) tarafından yapılan çalışmada ekmeklik buğdayda (*Triticum aestivum* L. cv. Pandas) ve makarnalık buğdayda (*Triticum durum* L. cv. Altıntoprak 98) bor toksisitesini (BT) hafifletmede tiyoüre (TU) aracılığıyla nitrik oksidin (NO) rolünü değerlendirmek için iki bağımsız deney gerçekleştirilmiştir. İlk deneyde, iki buğday türünün bitkileri, çimlenmeden sonra 4 hafta boyunca besin çözeltisine verilen kontrol (0,05 mM B) ve BT (0,2 mM B) altında büyütülmüştür. Bu iki müdahale, stres döneminde haftada bir kez 200 veya 400 mg L^{-1} ’de TU spreyi ile birleştirilmiştir. Bor toksisitesi, sürgün ve kök kuru ağırlıklarını, yaprak toplam klorofilini, PS II’nin etkinliğini (Fv/Fm) ve yaprak bağıl su içeriğini azaltırken, endojen nitrik oksit (NO), nitrik oksit sentaz (NOS), elektrolit sızıntısını (EL), hidrojen peroksit (H_2O_2), malondialdehit (MDA) ve yaprak B içeriği artmıştır. Toplam kuru maddedeki azalmalar deney grubunda %33 ve kontrolde %61’idi. TU’nun eksojen uygulaması, bitki büyüme özelliklerini iyileştirdi ve yapraklarda NO’da daha fazla artışa yol açmıştır. TU aracılığıyla NO üretiminin 0,1 mM NO, 2-(4-karboksifenil)-4,4,5,5-tetrametilimidazolin-1 temizleyicisi kullanılarak bor toksisitesinin azaltılmasında önemli bir rol oynayıp oynamadığını daha iyi anlamak için ek bir deney kurulmuş ve -oksil-3-oksit potasyum tuzu (cPTIO), 4 hafta boyunca haftada bir püskürtülerek TU tedavileri ile birleştirilmiştir. TU kaynaklı BT toleransı, endojen NO seviyelerini tersine çevirerek cPTIO tarafından tamamen ortadan kaldırmıştır. BT, süperoksit dismutaz (SOD; EC 1.15.1.1), katalaz (CAT; EC. 1.1.11.1.6), peroksidaz (POD; EC. 1.1.11.1.7) ve lipoksijenazın (LOX; EC. 1.12.1.12) aktivitelerini de arttırmıştır. Çözünür şekerler (SS), çözünür proteinler ve fenollerin içeriği olarak, ancak NR’yi azaltmıştır. TU tedavileri enzim aktivitelerini arttırmış, ancak çözünür şekerler (SS), çözünür protein ve

fenollerin içeriğini azaltmıştır. Mevcut sonuçlar, TU aracılığıyla endojen NO'nun buğday bitkilerinin bor toksisitesi toleransını önemli ölçüde geliştirdiğini açıkça göstermiştir.

Yau ve diğerleri (1995) tarafından yapılan çalışmada buğday türlerinin bor (B) toksisitesinin belirtileri, Batı Asya ve Kuzey Afrika'nın birçok kurak arazi bölgesinde tanımlandığı, bazı ICARDA arpa (*Hordeum vulgare* L. ssp. *vulgare*) ve CIMMYT/ICARDA durum buğdayı (*Triticum vulgare* L. ssp.) ve ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L. ssp. *aestivum*) uluslararası fidanlıklardaki varyasyonunu araştırmıştır. Fideler, 50 mg B/kg toprakla muamele edilmiş topraklarda büyütülmüş ve ekimden yaklaşık dört hafta sonra yaprak semptom skorları alınmıştır. En az semptom gelişimi olan girişler için sürgün bor konsantrasyonları da ölçülmüştür. Her ekin içindeki girdiler arasında semptom puanlarında önemli farklılıklar meydana gelmiştir. En büyük varyasyon arpada bulunurken, en az durum makarnalık buğdayda bulunmuştur. Sürgün bor konsantrasyonları, tüm mahsul türlerinde en düşük semptom skorlarına sahip girdiler için geniş ölçüde farklılık göstermiştir. Arpa ile ilgili veriler, bor toksisitesinin Batı Asya'da yaygın olabileceğini ve bu bölgedeki yetiştiricilerin yeni çeşitler geliştirirken bu özelliği ihmal etmemesi gerektiğini göstermiştir.

Kayihan, Aksoy ve Kayihan (2021) tarafından buğday çeşitlerinde bor (B) toksisitesinin neden olduğu transkripsiyon sonrası gen regülasyonu bugüne kadar bildirilmediği belirtilerek iki buğday çeşidi Bolal-2973 (B-toleranslı) ve Atay-85 (B-duyarlı) miR319, miR172 ve miR398 ve bunların olası hedef genlerinin transkripsiyonel regülasyonu açısından karşılaştırılması amaçlanmıştır. Yüksek bor seviyeleri altında performanslar. MiR398'in stabil ekspresyon seviyesi ile doğrulandığı gibi, toksik bora maruz kalan Atay'da Cu/ZnSOD geninin ekspresyon seviyeleri Bolal'a kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Buğday çeşitlerinde, her iki toksik bor konsantrasyonu, stabil JA seviyesi ve etilenle ilişkili miRNA'lar, miR172 ve miR319 nedeniyle yaprak yaşlanma mekanizmasının indüklenmesine neden olabilmektedir. TOE1 transkripsiyon faktörünü hedefleyen miR172, hassas Atay çeşidinde sadece B toksisitesi altında indüklenmiştir. Bununla birlikte, miR319'un hedefi olarak MYB3, her iki çeşitte de toksik bor altında önemli ölçüde yukarı regüle edilmiştir. Ayrıca buğdaydaki bu miRNA hedeflerinin hesaplamalı tahmini yapılmış ve *Arabidopsis thaliana* L.'daki ortologları belirlenmiştir. MiRNA hedefleri tarafından kodlanan proteinlerin fonksiyonel protein ilişki ağları ve bu genlerin gen ontoloji zenginleştirme analizleri belirlenmiştir. *T. Aestivum* L.'de miR172, miR319 ve miR398'in hedefi olan yeni gen grupları belirlemiştir. Ek olarak, miR172, miR319 ve miR398, Fe, P,

B, S ve Cu gibi farklı besin eksikliklerine veya toksisitelerine yanıt vermekte, bu da bitkilerde miRNA'ları içeren transkripsiyon sonrası düzenleyici mekanizmalar arasında toksite sonucu defektlerin olduğunu düşündürmektedir.



2. MATERİYAL VE YÖNTEM

2.1. Araştırma Materyali

Araştırma materyali olarak makarnalık buğday (*Triticum durum L.*) bitkisi kullanılmıştır. Makarnalık buğday tohumları Konya ili Taşpınar tarım bayisinden tarihinde temin edilmiştir. Tohumlar ıslah edilmiş olup, sert makarnalık buğday olarak tanımlanmaktadır.



Resim 2.1. Makarnalık buğday (*Triticum durum L.*) tohumu.

2.2. Araştırma Yöntemi

Makarnalık buğday tohumları, fide elde edilmek amacıyla içinde bor bulunmayan torf içeren saksılara 14.07.2021 tarihinde dikilmiştir. Araştırma materyalinin yetiştirilmesi ve incelenmesi Amasya Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü Botanik Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Yetiştirilme koşulları tüm gruplar için eşit olacak şekilde ayarlanmıştır. Bu kapsamda toplamda üç grup oluşturulmuştur: Her bir grup için 10 adet saksı kullanılmış ve her bir saksıya da 20 adet tohum dikilmiştir. Birinci grup borsuz grup olarak adlandırılmış olup, bu grup tohumlara ve tohumlar çimlendikten sonra da fidelere sadece saf su toprağa sulama ve tüm fidelere püskürtme şeklinde uygulanmıştır. İkinci gruba Hoagland bor çözeltisi dozu (0,046 mM Bor/l) ve üçüncü gruba da Hoagland bor çözeltisinin iki katı dozu (0,046 mM Bor/l) toprağı sulama ile ve tohumlar çimlendikten sonra tüm fidelere püskürtme şeklinde uygulanmıştır. Bor çözeltileri saf su ile hazırlanmış

olup uygulamalar haftada iki gün, sabah saatlerinde yapılmıştır. Deneme boyunca, haftada 2 defa uygulama yapılmış ve deneme 8 hafta sürmüştür.

2.2.1. Anatomik etkilerin belirlenmesi

Haftada 2 defa uygulamadan sonra fideler belirli büyüklüğe gelince, araştırma materyalinden yaprak ve gövde örnekleri alınarak %70'lik etil alkolde konulmuş ve fikse edilmiştir. Fikse edilen yaprak ve gövde materyalinden enine ve yüzeysel kesitler alınarak Olympus marka ışık mikroskobuna takılı mikrometrik oküler yardımıyla gerekli hücre ölçümleri yapılmıştır. Bu kapsamda yaprak için üst ve alt epidermis en-boy, mezofil en-boy ile trake en-boy ve üst ile alt yüz stoma en-boy ölçümleri yapılmıştır. Gövde için epidermis en-boy, parankima en-boy ve trake en-boy ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada ayrıca yaprak üst ve alt yüzeylerden yüzeysel kesit alınarak stoma indeksi hazırlanmış (Meidner ve Mansfield, 1968) ve anormal yapılı stoma sayıları belirlenmiştir.

$$SI \text{ (Stoma İndeksi)} = \frac{\text{Birim alanda stoma sayısı (S)} \times 100}{\text{Birim alanda stoma sayısı} + \text{Birim alanda epidermis hücresi sayısı}} \quad (1)$$



Resim 2.2. %70'lik etil alkolde fikse edilmiş bitkisel materyal.

Çalışmada yaprak enine ve yüzeysel kesitler ile gövde enine kesitleri sartur reaktifi (Çelebioğlu ve Baytop, 1949) ile boyanarak preparatlar hazırlanmış, hazırlanan bu preparatların Leica ICC50 HD marka ışık mikroskobu ile fotoğrafları çekilmiştir.

2.2.2. Fizyolojik etkilerin belirlenmesi

Bor uygulamasının bitkinin fizyolojik yapısına etkisini belirlemek amacıyla yaprakta klorofil tayini yapılmıştır. Klorofil tayini Lichtenthaler ve Wellburn (1983)'ün yöntemine göre yapılmıştır. Bunun için her bir gruba ait taze yaprak örnekleri hassas terazi ile tartılmış ve 200 mg. cam tüplere konularak üzerine 2 ml. %96 aseton ilave edilmiştir. Homojenizatör aracılığıyla parçalanmış yaprakların üzerine 8 ml aseton ilave edilerek çözelti 10 ml.'ye tamamlanmıştır. Mavi bant filtre kâğıdı ile süzülerek ölçüme hazır hale getirilen çözeltilerin absorbans değerleri spektrofotometrede okunmuştur. Absorbans değerleri olarak 645, 652, 662 ve 470 nm olarak belirlenmiş ve sırasıyla aşağıdaki denklemler kullanılmıştır.

$$\text{Klorofil a} : (11.75 \times A_{662} - 2.35 \times A_{645}) \times 20 / \text{mg} \quad (2)$$

yaprak ağırlığı;

$$\text{Klorofil b} : (18.61 \times A_{645} - 3.96 \times A_{662}) \times 20 / \text{mg} \quad (3)$$

yaprak ağırlığı;

$$\text{Total Klorofil: } A_{652} \times 27.8 \times 20 / \text{mg yaprak} \quad (4)$$

ağırlığı;

$$\text{Total Karotenoid: } [(1000 \times A_{470} - 2.27 \times \text{Klorofil a} - 81.4 \times \text{Klorofil b}) / 227] \times 20 / \text{mg yaprak ağırlığı} \quad (5)$$

Çalışma sonucunda; klorofil a, klorofil b, total klorofil ile total karotenoid miktarları tespit edilmiştir.

2.2.3. İstatistiksel analiz

Çalışmada istatistiksel analiz olarak SPSS 22.0 for Windows istatistiksel programı, varyans analizler olarak Chi-Square ile Multiple Range Testlerinden Tukey testi kullanılmıştır (Tukey, 1954).

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Anatomik Bulgular

Anatomik bulgular bölümü Yaprak enine kesit parametreleri, Yaprak yüzeysel kesit parametreleri ve Gövde enine kesit parametreleri bölümlerinden oluşmaktadır.

4.1.1. Yaprak enine kesit parametreleri

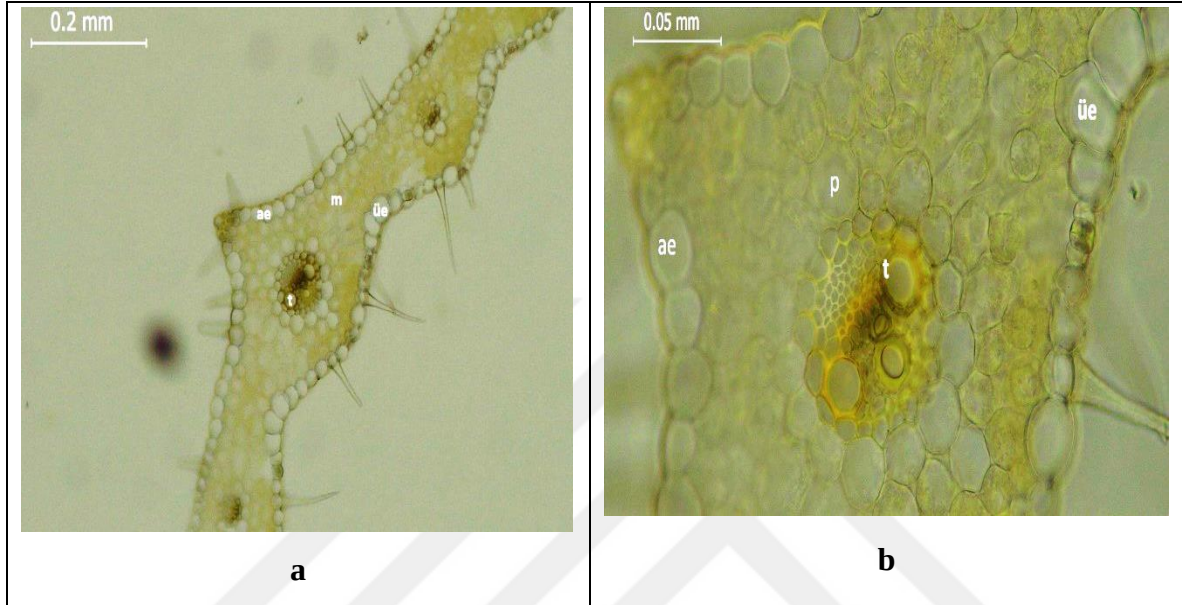
Araştırmada gruplarına ait yaprak enine kesit ölçüm sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiştir. Çizelge 4.1’e göre, genelde tüm uygulama gruplarında borsuz gruba göre trake en ve boy ölçümü dışındaki tüm yaprak enine kesit parametrelerinde azalma görülmüş ve bu azalma borsuz gruba göre tüm uygulama gruplarında üst epidermis boy ölçümü değeri dışındaki diğer tüm değerler için istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.1. Gruplara ait yaprak enine kesit parametreleri.

Gruplar	Yaprak Enine Kesit Parametreleri							
	Üst Epidermis En (µm)	Üst Epidermis Boy (µm)	Alt Epidermis En (µm)	Alt Epidermis Boy (µm)	Mezofil En (µm)	Mezofil Boy (µm)	Trake En (µm)	Trake Boy (µm)
Borsuz grup (Kontrol)	26,950 ± 0,370 ^{b,c}	27,392 ± 0,363 ^b	27,483 ± 0,381 ^{b,c}	27,908 ± 0,396 ^{b,c}	34,858 ± 0,541 ^{b,c}	35,700 ± 0,522 ^{b,c}	18,042 ± 0,284	18,658 ± 0,266
Hoagland çözeltisi (0,046 mM Bor)	24,317 ± 0,288 ^{a,c}	25,042 ± 0,790 ^a	24,433 ± 0,281 ^a	24,483 ± 0,269 ^a	31,167 ± 0,396 ^a	27,592 ± 0,610 ^{a,c}	17,983 ± 0,331	18,758 ± 0,285
Hoagland çözeltisi X2 (0,092 mM Bor)	25,517 ± 0,287 ^{a,b}	26,425 ± 0,303	24,392 ± 0,309 ^a	25,325 ± 0,289 ^a	32,133 ± 0,404 ^a	30,917 ± 0,369 ^{a,b}	18,058 ± 0,267	18,775 ± 0,270

Tablodaki “a” ve Borsuz grup (Kontrol), “b” ve Hoagland çözeltisi (0,046 mM Bor /l) grubu ve “c” Hoagland çözeltisi X2 grubu (0,092 mM Bor /l) istatistiksel açıdan ($p < 0,05$) düzeyinde anlamlı olduğunu ifade etmektedir.

Uygulama grupları kendi aralarında değerlendirilecek olursa, yaprak enine kesit parametreleri açısından üst epidermis en ile mezofil boy ölçüm değerleri açısından hoagland çözeltisinin iki katı grubunda hoagland çözeltisi grubuna göre artış tespit edilmiş ve bu artış istatistiksel açıdan anlamlı bulunmuştur.

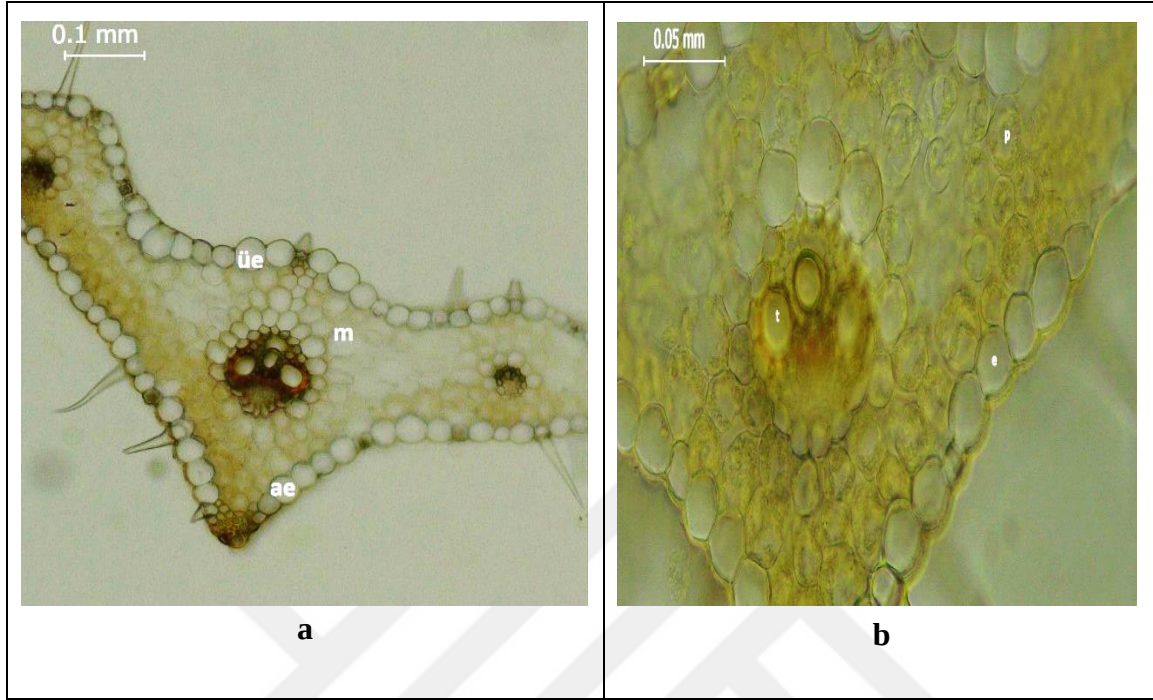


Resim 4.1. *Triticum durum* L. borsuz grup (kontrol) yaprak enine kesit (a,b). Orta damar (b). e: epidermis, ae: epidermis, m: mezofil, t: trake, p: parankima

Resim 4.1’de borsuz grup (kontrol) yaprak enine kesit görülmektedir. Yaprak enine kesitte, tek sıralı oval hücre şekilli üst epidermisin altında dört ya da beş sıralı mezofil tabakası gelmektedir. Mezofil tabakası, palizat ve sünger parankiması şeklinde farklılaşmamış olup, oval ya da yuvarlak şekilli mezofil benzeri parankima hücreleri şeklindedir. Yaprığın orta kısmında açık kollateral iletim demeti bulunmaktadır. Alt epidermis hücreleri de üst epidermis hücreleri gibi oval şekilli tek hücre sırasından oluşmuştur. Hoagland çözeltisi (0,046 mM Bor/l) grubu yaprak enine kesitleri Resim 4.2’de, hoagland çözeltisi iki katı grubu (0,092 mM Bor/l) Resim 4.3’de verilmiştir. Buna göre gerek hoagland çözeltisi gerekse de hogland çözeltisi iki katı gruplarının yaprak enine kesitleri borsuz grup ile aynı olup uygulamadan kaynaklı anatomik yapıda herhangi bir değişiklik görülmemiştir.

Bor yaprak dokularındaki konsantrasyonu değerlendirildiğinde floem hareketli türlerin yaprakları boyunca üniform şeklinde olduğu ve bu duruma tutarlı bir şekilde, yaşlı yapraklarda nispeten daha yüksek bor konsantrasyonu, sınırlı floem hareketliliği bulunduğu

belirtilmiştir (Ahmed ve diğerleri, 2009; Huang ve diğerleri, 2016; Nawaz ve diğerleri, 2016; 2017).



Resim 4.2. *Triticum durum* L. hoagland çözeltisi (0.046 mM Bor/l) grubu yaprak enine kesit (a,b). **ue**: epidermis, **ae**: epidermis, **e**: epidermis **m**: mezofil, **t**: trake, **p**: parankima



Resim 4.3. *Triticum durum* L. hoagland çözeltisi X2 (0.092 mM Bor/l) grubu yaprak enine kesit **ue**: epidermis, **ae**: epidermis, **e**: epidermis **m**: mezofil, **t**: trake, **p**: parankima

Araştırma kapsamında kontrol grubuna göre gerek hoagland gerekse hoagland iki katı grubundaki bor düzeylerindeki azalmanın nedeni olarak floem hareketliliği olduğu; hoagland iki katı grubunun hoagland çözeltisi grubundan anlamlı artışının ise yaprakta hoagland iki katı grubunun daha fazla bor içeriğinden dolayı üst epidermis en ve mezofil boy kısımlarında kısmi birikimin etkili olabileceği düşünülmektedir. Ancak anatomik görüntülerde farklılaşmanın olmaması bor kontrasyonunun daha yüksek düzeylerinde elde edilecek görüntülerle durumun tespit edilebileceğini düşündürmektedir.

4.1.2. Yaprak yüzeysel kesit parametreleri

Çizelge 4.2’de tüm gruplar incelendiğinde, hoagland çözeltisi iki katı grubu yaprak üst yüz stoma en grubu ile her iki uygulama grubu yaprak üst yüz stoma boy dışında diğer tüm parametreler için hoagland çözeltisi ile hoagland çözeltisinin iki katı gruplarında borsuz gruba göre gerek stoma en gerekse de stoma boy değerlerinin artış gösterdiği, bu artışın yaprak alt yüz stoma en değeri için uygulama gruplarında borsuz gruba göre istatistiksel olarak anlam ifade ettiği görülmektedir.

Çizelge 4.2. Gruplara ait yaprak yüzeysel kesitte stoma en ve boy ölçüm değerleri.

Gruplar	Yaprak Yüzeysel Kesit Stoma En ve Boy Parametreleri			
	Yaprak Üst Yüz Stoma En (µm)	Yaprak Üst Yüz Stoma Boy (µm)	Yaprak Alt Yüz Stoma En (µm)	Yaprak Alt Yüz Stoma Boy (µm)
Borsuz grup (Kontrol)	27,650 ± 0,317	67,800 ± 0,389	24,692 ± 0,157 ^{b, c}	68,608 ± 0,341
Hoagland çözeltisi (0,046 mM Bor/l)	28,395 ± 0,227 ^c	67,375 ± 0,441	26,267 ± 0,185 ^{a, c}	69,058 ± 0,333
Hoagland çözeltisi X2 (0,092 mg bor/l)	26,958 ± 0,238 ^b	67,325 ± 0,355	25,342 ± 0,172 ^{a, b}	69,842 ± 0,448

Tablodaki “a” ve Borsuz grup (Kontrol), “b” ve Hoagland çözeltisi (0,046 mM Bor /l) grubu ve “c” Hoagland çözeltisi X2 grubu (0,092 mM bor/l) istatistiksel açıdan ($p < 0,05$) düzeyinde anlamlı olduğunu ifade etmektedir.

Hoagland çözeltisi ve hoagland çözeltisinin iki katı grupları kendi aralarında değerlendirilecek olursa, yaprak alt yüz stoma boy değerleri dışındaki diğer tüm değerlerde hoagland çözeltisinin iki katı grubunda hoagland çözeltisine göre azalma gerçekleşmiştir. Çizelgeden hoagland çözeltisine göre hoagland çözeltisi X2 grubundaki yaprak üst ile alt

yüz stoma en değerlerinde tespit edilen bu azalmanın, istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir.

Gruplara ait yaprak yüzelsel kesitte stoma indeksi Çizelge 4.3’de verilmiştir. Çizelge 4.3’den de anlaşılacağı üzere, yaprak üst yüz stoma indeksi değeri borsuz gruba göre her iki uygulama grubunda azalmış, bu azalma borsuz gruba göre hoagland çözeltisinin iki katının uygulandığı grupta istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Yaprak üst yüz stoma indeksi değeri uygulama gruplarından hoagland çözeltisi iki katı grubunda 21,564 ile en düşük değere inmiştir. Yaprak üst yüz stoma indeksi değeri için uygulama grupları kendi aralarında değerlendirilecek olursa, hoagland çözeltisi iki katı grubunda hoagland çözeltisine göre azalmakta, bu azalma da istatistiksel olarak anlamlıdır. Diğer taraftan, yaprak alt yüz stoma indeksi değeri her iki uygulama grubunda artış göstermiş ancak bu artış sadece hoagland çözeltisi grubunda borsuz gruba göre istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Ayrıca, yaprak alt yüz stoma indeksi değeri hoagland çözeltisinin iki katı grubunda hoagland çözeltisi grubuna göre azalmış, bu azalma da istatistiki açıdan anlamlı bulunmuştur.

Çizelge 4.3. Gruplara ait yaprak yüzeysel kesitte stoma indeksi.

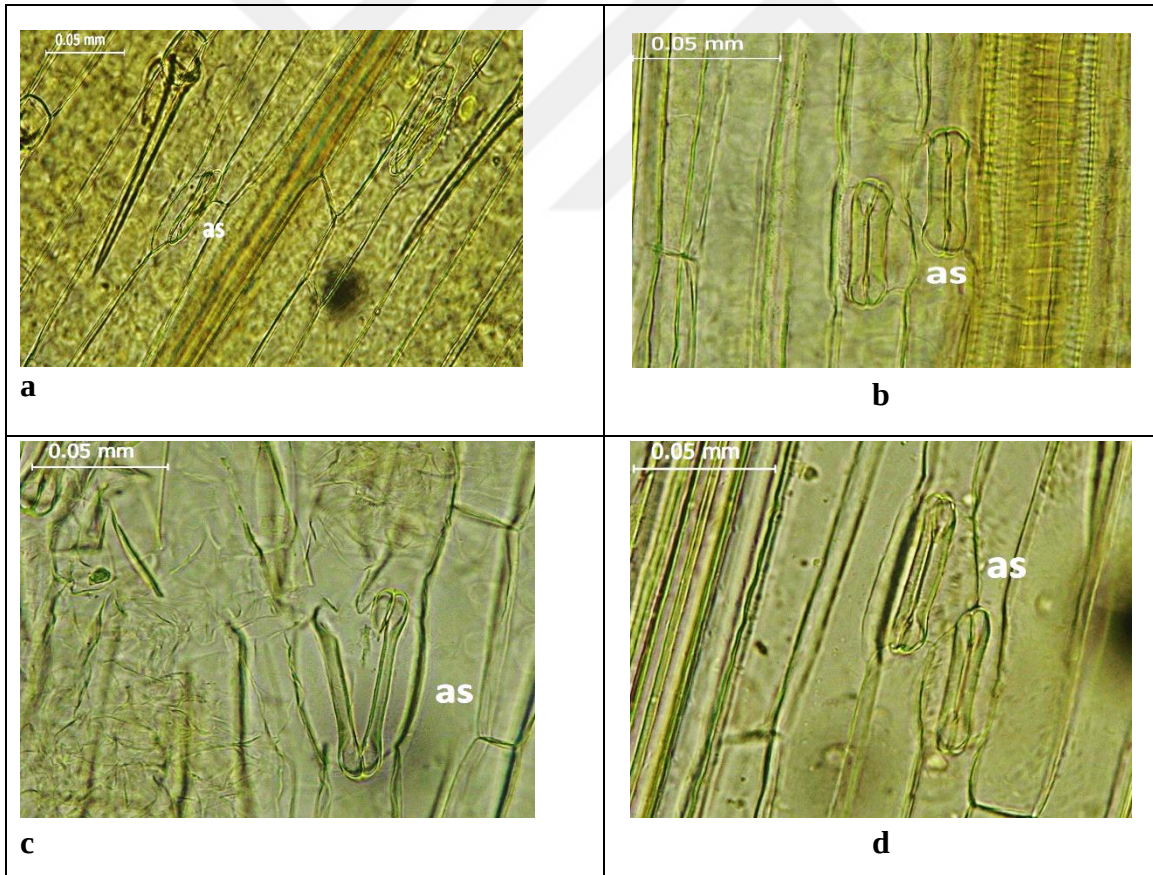
Gruplar	Stoma İndeksi (SI)	
	Yaprak Üst Yüz Stoma İndeksi (SI)	Yaprak Alt Yüz Stoma İndeksi (SI)
Borsuz grup (Kontrol)	23,501 ± 0,316 ^c	18,491 ± 0,215 ^b
Hoagland çözeltisi (0,046 mM Bor/l)	23,435 ± 0,302 ^c	20,081 ± 0,273 ^{a,c}
Hoagland çözeltisi X2 (0,092 mM Bor/l)	21,564 ± 0,283 ^{a,b}	18,580 ± 0,276 ^b

Tablodaki “a” ve Borsuz grup (Kontrol), “b” ve Hoagland çözeltisi (0,046 mM Bor/l) grubu ve “c” Hoagland çözeltisi X2 grubu (0,092 mM Bor/l istatistiksel açıdan ($p < 0,05$) düzeyinde anlamlı olduğunu ifade etmektedir.

Yaprak yüzeysel kesitte stoma ile epidermis hücrelerinin genel görünümü Resim 4.4’te görülmektedir. *Triticum durum*’da stoma tipi Poaceae familyasında olduğu gibi Graminea tip stomadır.



Resim 4.4. *Triticum durum* L. borsuz grup yaprak alt yüz yüzeysel kesit **e**: epidermis, **s**:stoma



Resim 4.5. *Triticum durum* L. grupları yaprak yüzeysel kesit anormal yapılı stomalar **as**: anormal yapılı stoma.

Çalışmada ayrıca tüm gruplarda anormal yapılı stomalara rastlanmıştır. Bazı anormal yapılı stomalar Resim 4.5’de görülmektedir. Yapışık stomalar, deforme olmuş kol kemikli

stomalar, tek böbrek hücreli stomalar bu çalışmada tespit edilen bazı anormal yapılı stomalardandır.

Bor stresi altında stomaların kapanması, toksik metallerin koruyucu hücrelerle doğrudan etkileşimi toksisitesinin ilk etkilerinin bir sonucu olarak ortaya çıktığı belirtilmiştir. Bor stresli bitkilerde, kök kaynaklı ABA veya ABA kaynaklı sinyaller, stoma hareketinde rol oynayabilmektedir. Bitkilerin B, Cd, Co, Ni, Pb ve Zn gibi toksik konsantrasyonlarına maruz kalması sonucu araştırmalarda stoma yoğunluğu, stoma iletkenliğinin azaldığı ya da buna neden olan stoma direncinin arttığı bildirilmiştir (Papadakis ve diğerleri, 2004; Rucińska-Sobkowiak, 2016). Bitki stoma davranışı üzerinde bor düzeyinin 20 ve 30 mg/kg toksite düzeyinde bitkilerin yapraklarında stoma direncinin arttığı saptanmıştır (Güneş ve diğerleri, 2006). *Jatropha curcas* bitkisinde artan bor konsantrasyonları ile stoma iletkenliğinin azaldığı bildirilmiştir (Simon ve diğerleri, 2013). Elde edilen diğer stoma çalışmalarındaki bulgular kapsamında araştıma değerlendirildiğinde stoma üst yüz en, stoma alt yüz en ve stoma indeksinin hoagland çözeltisi grubunda borun kontrol grubuna göre aktiviteye olumlu katkı yaptığı ancak hoagland iki katı çözeltisinde toksik etki yaparak stoma sayılarında ve stoma indekslerinde azalmaya neden olduğu tespit edilmiştir.

4.1.3. Gövde enine kesit parametreleri

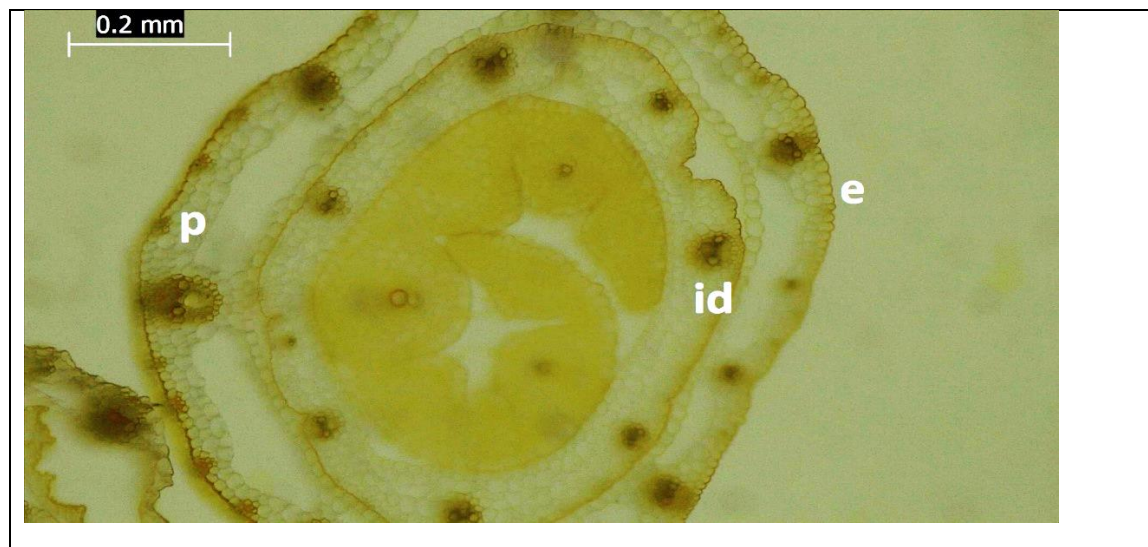
Araştırmada gruplara ait gövde enine kesit parametreleri ölçüm sonuçları Çizelge 4.4’de verilmiştir. Tüm gruplar incelendiğinde, uyguma gruplarındaki değerlerin borsuz gruba göre artış gösterdiği, bu artışın genelde tüm uygulama gruplarında borsuz gruba göre istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir. Uygulama grupları kendi aralarında değerlendirilecek olursa, trake en ile parankima en değerleri hoagland çözeltisinin iki katı grubunda hoagland çözeltisi grubuna göre azalmış, epidermis boy değeri ise artmıştır. Bu artış ve azalışlar, hoagland çözeltisinin iki katı grubunda hoagland çözeltisine göre istatistiksel olarak anlam ifade etmektedir.

Çizelge 4.4. Gruplara ait gövde enine kesit parametreleri.

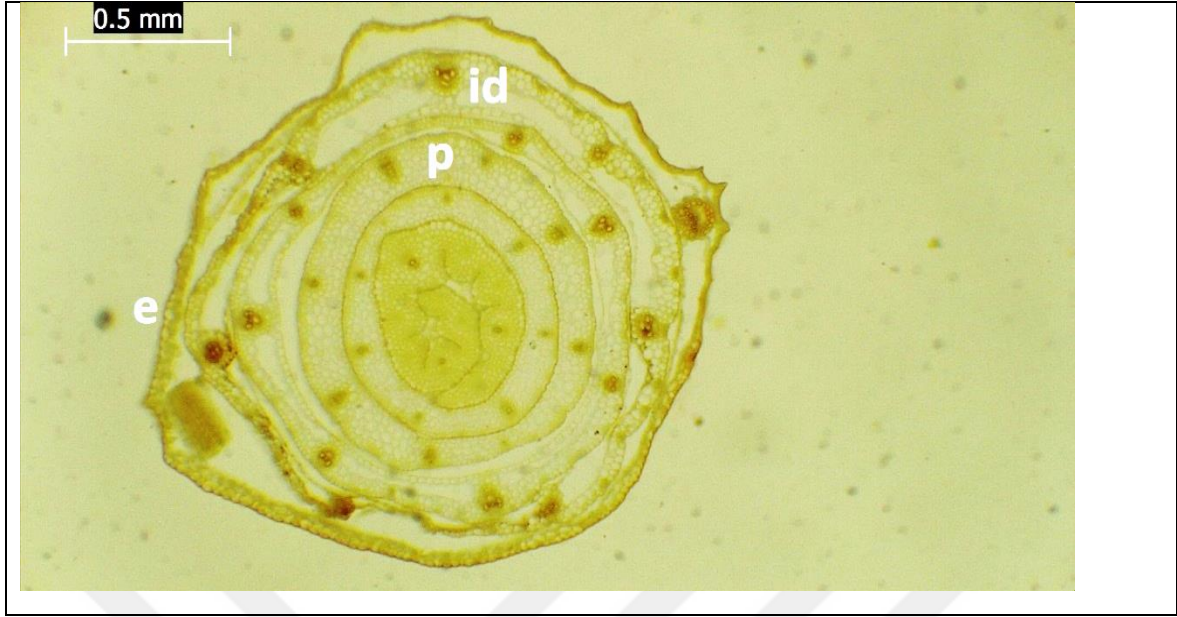
Gruplar	Gövde Enine Kesit Parametreleri					
	Epidermis En (μm)	Epidermis Boy (μm)	Trake En (μm)	Trake Boy (μm)	Parankima En (μm)	Parankima Boy (μm)
Borsuz grup (Kontrol)	24,908 $\pm$ 0,275 ^{b,c}	24,641 $\pm$ 0,302 ^c	16,816 $\pm$ 0,209 ^{b,c}	18,350 $\pm$ 0,220 ^{b,c}	18,491 $\pm$ 0,215 ^b	32,658 $\pm$ 0,359 ^{b,c}
Hoagland çözeltisi (0,046 mM Bor/l)	26,975 $\pm$ 0,291 ^a	25,308 $\pm$ 0,273 ^c	18,900 $\pm$ 0,236 ^{a,c}	20,033 $\pm$ 0,242 ^a	20,081 $\pm$ 0,273 ^{a,c}	34,375 $\pm$ 0,354 ^a
Hoagland çözeltisi X2 (0,092 mM bor/l)	26,458 $\pm$ 0,295 ^a	26,441 $\pm$ 0,269 ^{a,b}	18,025 $\pm$ 0,203 ^{a,b}	19,591 $\pm$ 0,226 ^a	18,580 $\pm$ 0,276 ^b	35,533 $\pm$ 0,410 ^a

Tablodaki “a” ve Borsuz grup (Kontrol), “b” ve Hoagland çözeltisi (0,046 mM Bor/l) grubu ve “c” Hoagland çözeltisi X2 grubu (0,092 mM Bor/l) istatistiksel açıdan ($p < 0,05$) düzeyinde anlamlı olduğunu ifade etmektedir.

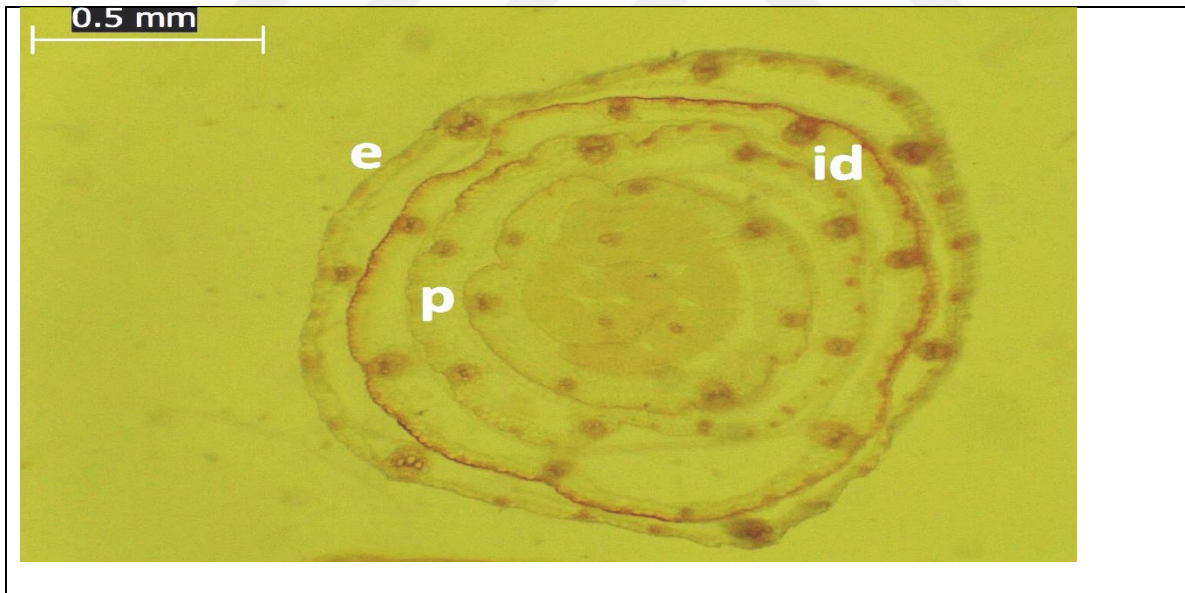
Gruplara ait gövde enine kesitleri Resim 4.6, Resim 4.7 ve Resim 4.8’de verilmiştir. Buna göre, iletim demeti tipi açık kollateral olup iletim demetleri gövdede dağınık olarak yer almaktadır. Gövde enine kesitlerinde en dışta epidermis, iç kısımda parankima hücreleri ve dağınık diziliimli iletim demetleri bulunmaktadır. Bu kapsamda, *T. durum*’un gövde anatomisi karakteristik olarak Poaceae familyası üyelerine benzemektedir. İletim demetleri büyüklüğü çevrede büyük olmasına karşın gövde merkezine doğru küçülmektedir. Gruplar birbirleri ile kıyaslandığında, gövdenin anatomik yapısında belirgin bir farklılık gözlenememiştir.



Resim 4.6. *Triticum durum* L. borsuz grup gövde enine kesit **e**: epidermis, **p**: parankima, **id**: iletim demeti



Resim 4.7. *Triticum durum* L. hoagland çözeltisi (0.046 mM Bor/l) grubu gövde enine kesit **e**: epidermis, **p**: parankima, **id**: iletim demeti



Resim 4.8. *Triticum durum* L. hoagland çözeltisi X2 (0.092 mM Bor/l) grubu gövde enine kesit **e**: epidermis, **p**: parankima, **id**: iletim demeti.

Bor bitki gövdesinde yapraklardaki üretilen metabolik ürünlerin taşınması sonucu ve hücre duvarına dayanıklılık katkısı nedeniyle bitkinin büyüme ve gelişiminde etkilidir. Kekeç (2008) tarafından yapılan çalışmaya göre bitkinin bor eksikliği nedeniyle gövde floeminde nekroz ve kabukta yarılmalar meydana gelebileceğini belirtmiştir. Bor eksikliğinin olduğu

bir durumda ortama bor eklenmesi sonucu normal büyümenin genellikle devam edeceği belirtilmiştir (Öztürk ve diğerleri, 2010). Bitkilerde bor eksikliği genel olarak bitki gövdesindeki büyüyen ya da gelişen organ yapılarında meydana gelmektedir. Atalay ve diğerleri, (2003) tarafından yapılan çalışmada bitki tohumlar; 200 ml'lik cam kavanozlarda, % 0.7 agar, % 3 sakaroz ve sırasıyla çeşitli bor düzeylerinde (0,0, 6,2, 18,6, 55,8, 111,6 mg/l H_3BO_3) içeren besin ortamında kültüre alınmış, gövdede bor birikimi en az 4.9 μg B/g ile kontrolde, en çok 67,6 μg B/g ile 111,6 mg/l H_3BO_3 içeren ortamda tespit edilmiştir.

Literatür bulguları kapsamında araştırma değerlendirildiğinde uygulama gruplarındaki değerlerin borsuz gruba göre artış göstermesi ve anlamlı olması borun metabolik ve fizyolojik aktivitesine paralel şekilde gövdeki büyüme ve gelişmeye katkısından kaynaklandığını göstermektedir. Uygulama grupları kendi aralarında değerlendirildiğinde, trake en ile parankima en değerlerinin hoagland çözeltisinin iki katı grubunda hoagland çözeltisi grubuna göre azalmış, epidermis boy değeri ise arttığı gözlenmiştir. Bu artış ve azalışlar, hoagland çözeltisinin iki katı grubunda hoagland çözeltisine göre anlamlı olduğu bulunmuştur. Bu durum bor düzeyinin artırıldığında gövde epidermis hücrelerinde borun birikime uğradığını ve bitki toksitesi sonucu gövdenin dış kısmındaki yarılmaların sebebi olabileceğini düşündürmektedir.

4.2. Fizyolojik Bulgular

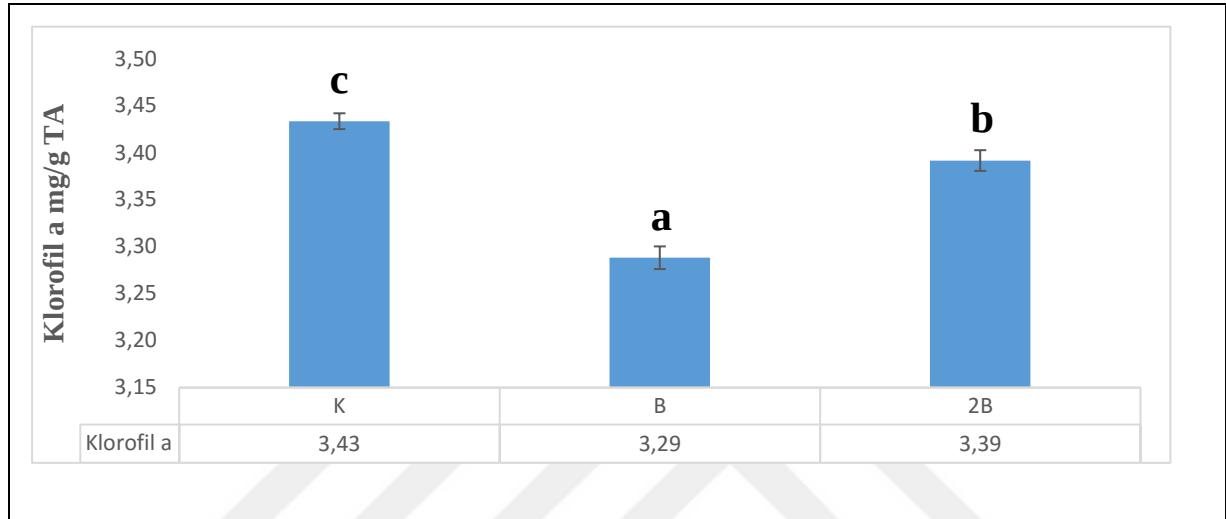
Çizelge 4.5'te gruplara ait yapraktaki klorofil a ölçüm değerleri verilmiştir. Grafikten de anlaşılacağı üzere, borsuz grupta 3,43 mg/g olan klorofil a değeri, hoagland çözeltisi grubunda 3,29 mg/g ve hoagland çözeltisinin iki katı grubunda ise 3,39 mg/g olarak ölçülmüştür.

Çizelgede her iki uygulama grubunda da borsuz gruba göre azalma görülmekte ve bu azalmanın istatistiki olarak anlamlı olduğu anlaşılmaktadır. Uygulama grupları kendi aralarında değerlendirildiğinde, hoagland çözeltisine göre hoagland çözeltisinin iki katı grubunda artış olmakta ve bu artış istatistiki olarak anlamlı olmaktadır.

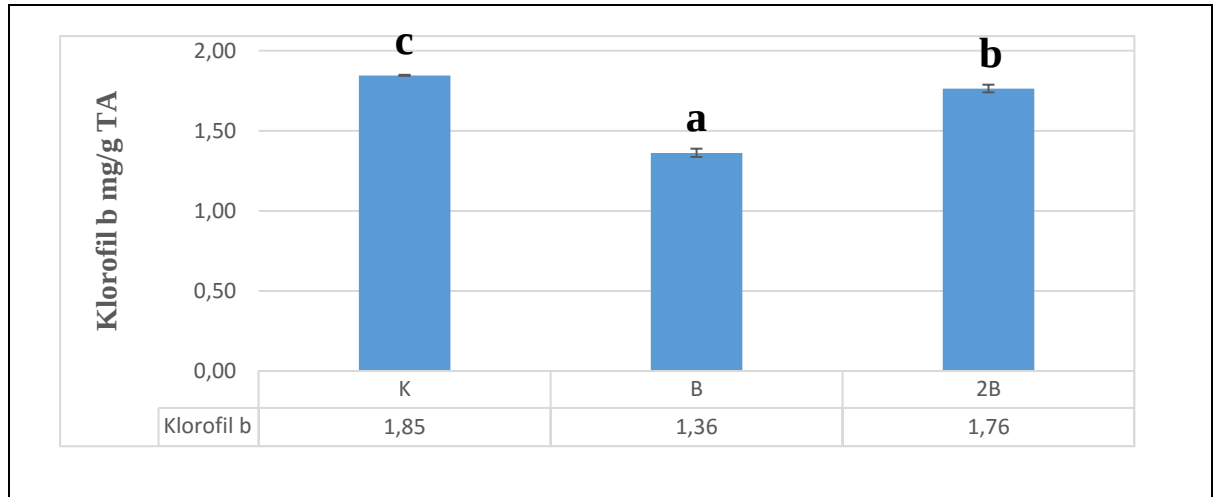
Gruplara ait yapraktaki klorofil b ölçüm değerleri Çizelge 4.6'da verilmiştir. Çizelge 4.6'ya göre, klorofil b değerlerinde olduğu gibi klorofil a değerlerinde de borsuz gruba göre uygulama gruplarında azalma tespit edilmiş, bu azalma borsuz gruba göre uygulama

gruplarında istatistiksel olarak anlamlıdır. Hoagland çözeltisi grubunda 1.85 mg/g olan klorofil b değeri, hoaglandın iki katı grubunda ise 1,76 mg/g'dır. Hoagland çözeltisinin iki katı grubunda hoagland çözeltisine göre klorofil b grubunda artış olmuş, bu artış istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur.

Çizelge 4.5. Gruplara ait klorofil a mg/g TA değerleri. **K**: Borsuz grup (Kontrol), **B**: Hoagland çözeltisi (0,046 mM Bor/l), **2B**: Hoagland çözeltisi X2 (0,092 mM bor/l).



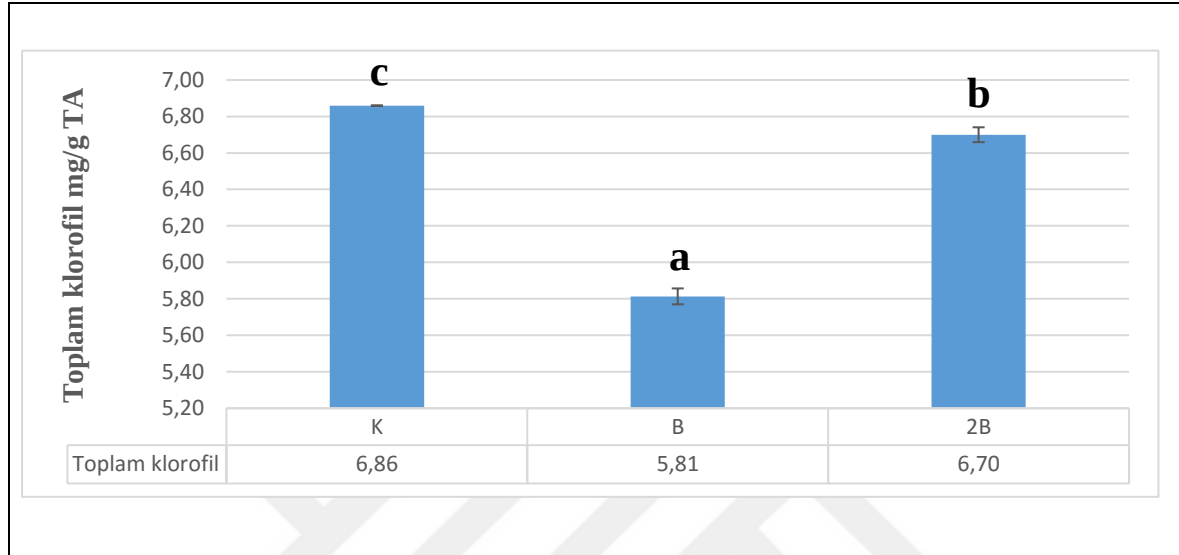
Çizelge 4.6. Gruplara ait klorofil b mg/g TA değerleri. **K**: Borsuz grup (Kontrol), **B**: Hoagland çözeltisi (0.046 mM Bor /l), **2B**: Hoagland çözeltisi X2 (0.092 mM Bor /l).



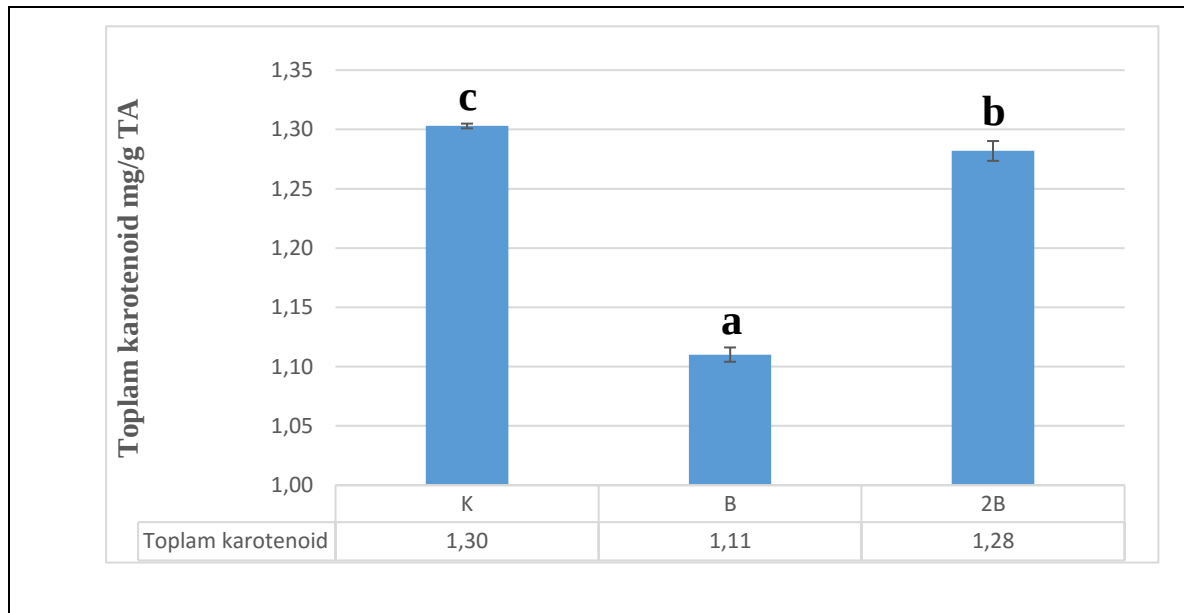
Çizelge 4.7’de gruplara ait toplam klorofil değerleri görülmektedir. Çizelgeye göre toplam klorofil değerleri borsuz gruba göre uygulama gruplarında azalmış, bu azalma istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Uygulama grupları kendi aralarında değerlendirildiğinde ise, 5,81 mg/g olan toplam klorofil değeri hoagland çözeltisinin iki katı grubunda 6,70 mg/g’a

yükselmiş bu yükselmiştir. Gruplara ait toplam karotenoid değerleri çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Gruplara ait toplam klorofil mg/g TA değerleri. **K**: Borsuz grup (Kontrol), **B**: Hoagland çözeltisi (0.046 mM Bor/l), **2B**: Hoagland çözeltisi X2 (0.092 mM Bor/l).



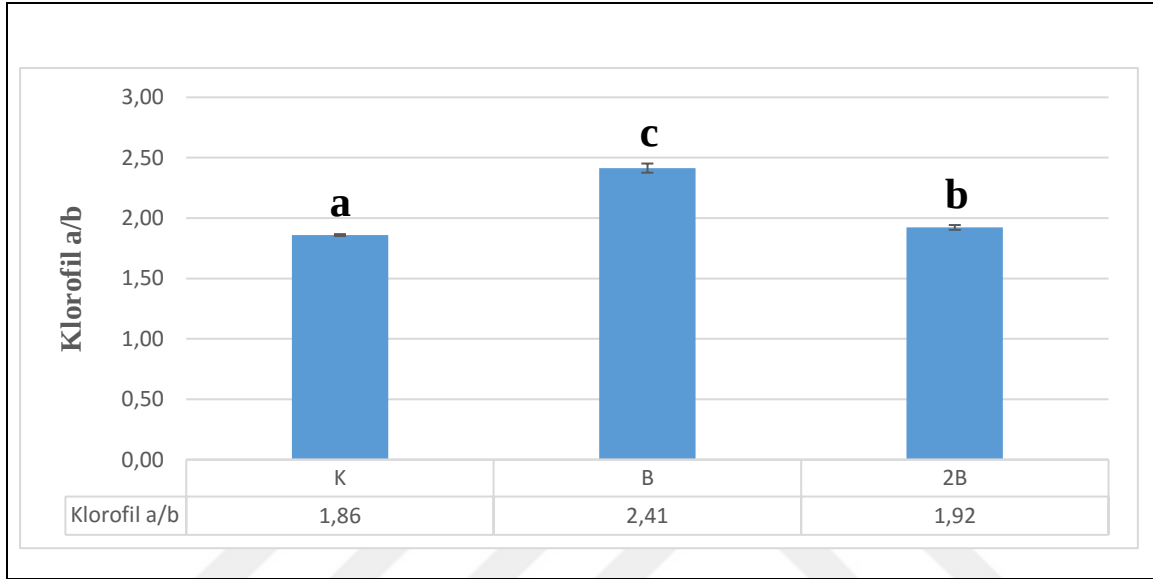
Çizelge 4.8. Gruplara ait toplam karotenoid mg/g TA değerleri. **K**: Borsuz grup (Kontrol), **B**: Hoagland çözeltisi (0.046 mM Bor /l), **2B**: Hoagland çözeltisi X2 (0.092 mM Bor /l).



Çizelge 4.8’e göre Klorofil a, klorofil b ile toplam klorofil değerlerindeki benzer sonuç, toplam karotenoid değerlerinde de görülmektedir. Tüm uygulama gruplarındaki toplam karotenoid miktarları, borsuz gruba göre azalmış, bu azalma ise istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. En düşük toplam karotenoid değeri 1,11 mg/g ile hoagland çözeltisi grubunda

tespit edilmiş, bunu 1,28 mg/g ile hoagland çözeltisinin iki katı grubu izlemiştir. Hoagland çözeltisinin iki katı grubunda toplam karotenoid miktarında tespit edilen artış, hoagland çözeltisine göre istatistiksel olarak anlamlıdır.

Çizelge 4.9. Gruplara ait toplam klorofil a/b değerleri. K: Borsuz grup (Kontrol), B: Hoagland çözeltisi (0,046 mM Bor/l), 2B: Hoagland çözeltisi X2 (0,092 mM Bor /l).



Gruplara ait toplam klorofil a/b değerleri Çizelge 4.9'ta görülmektedir. Gruplar arasındaki en yüksek klorofil a/b değeri 2.41 ile hoagland çözeltisinde tespit edilmiştir. Hoagland çözeltisinde diğer gruplara göre tespit edilen bu artış, istatistiksel olarak da anlamlıdır.

Bu çalışmada, yaprak anatomik ve fizyolojik bulguları birlikte değerlendirilecek olursa bulguların genelde birbiri ile benzerlik gösterdiği görülmektedir. Yaprak enine kesit parametreleri genel olarak borsuz gruba göre tüm uygulama grubunda azalmıştır. Dolayısı ile gruplar arasında en iyi yaprak enine kesit değerleri borsuz grupta tespit edilmiş olup, bunu sırasıyla hoagland çözeltisinin iki katı grubu ve hoagland çözeltisi takip etmektedir. Uygulama grupları arasında bor konsantrasyonu arttıkça, değerlerde borsuz gruba doğru bir yaklaşmanın olduğu dikkat çekmektedir. Aynı durum yaprak fizyolojik bulguları için de geçerlidir. Yaprak fizyolojik bulguları açısından, klorofil a/b değeri dışındaki diğer tüm yaprak fizyolojik değerlerinin yaprak anatomik bulguları gibi borsuz grupta en yüksek değerde olduğu, bunu sırasıyla hoagland çözeltisinin iki katı grubu ile hoagland çözeltisi grubu izlemektedir. Hoagland çözeltisi dozu arttıkça buna paralel olarak yaprak anatomik ve fizyolojik bulguların da artması ve değerlerin borsuz gruba doğru yaklaşmasından yola

çıkarak, bu çalışmanın bitkisel materyalini oluşturan makarnalık buğdayın büyüme ve gelişmesi için ihtiyaç duyduğu bor miktarının hoagland çözeltisinin iki katı dozundan daha fazla olduğu söylenebilir. Nitekim gövde enine kesit parametreleri arasında yer alan trake en ve boy ölçüm değerlerinin uygulama gruplarında borsuz gruba göre artış göstermesi bu görüşü doğrulamaktadır. Uygulama gruplarındaki gövde trake en ve boy ölçüm değerlerinin borsuz gruba nazaran artış göstermesi, bitkinin büyüme ve gelişimi için ihtiyaç duyduğu borun su ile alınımını arttırmak olabilir. Kısaca bu uyumun bor alınımını arttırmaya yönelik olduğu söylenebilir. Bu kapsamda, bu çalışmanın gövde anatomik bulguları ile yaprak anatomik ve fizyolojik bulguları ile örtüştüğü söylenebilir. Yapılan bir çalışmada, bitkilerin bor toksisitesine karşı uyum sağlamak amacıyla, kök metaksilem ve gövde trake ile korteks çaplarını azaltarak su ile bor alınımını da azaltma yoluna gittikleri bildirilmiştir (Hamurcu ve diğerleri, 2016). Aynı çalışmada, gövdenin korteks çaplarını azaltarak su ile bor alınımını da azaltmaya gittiklerini, bu azalmanın bor toksisitesine hassas olan TTM.81.19 hibrit mısırdaki, bor toksisitesine toleranslı RX 770 hibrit mısıra nazaran daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bitkilere büyüme ve gelişimleri için ihtiyaç duydukları bor miktarının fazlası uygulandığında bor toksisitesi meydana gelmekte ve bu toksisitenin zararlı etkilerini en az seviyeye indirmek için bitkiler dokularının anatomik yapılarında birtakım değişikliklere gitmektedirler. Bu değişikliklerin en başında trake çaplarını azaltarak ya da ksilem doku miktarını seviyesini düşürerek bitki bünyesine toksik seviyedeki borun girişini engellemek gelmektedir. Bor toksisitesine dayanıklı türler, kökün ksilem dokusunda azaltmaktadırlar (Saks, Feigenbaum ve Aloni, 1984; Karaömerlioğlu, 2011). Bu tez çalışmasında ise tam tersi bir durum söz konusudur. Artan hoagland çözeltisi miktarına paralel olarak yaprak anatomik ile fizyolojik değerlerin de artması ve borsuz gruba yaklaşması, özellikle gövdede su taşınımından sorumlu trakenin çaplarında borsuz gruba nazaran artışın gerçekleşmesi akla makarnalık buğday bitkisinin daha fazla bor miktarına ihtiyaç duyduğunu getirmektedir. Aksi taktirde, söz konusu değerlerde uygulanan hoagland çözeltisine paralel olarak bir azalışın meydana gelmesi beklenirdi. Bu durumda da bor toksisitesi söz konusu olacaktı. Bu tez çalışmasında ayrıca, Hamurcu ve diğerleri, (2016)'dan farklı olarak bor uygulanan grupların gövde korteks tabakasını oluşturan parankima hücrelerinin ölçüm değerleri borsuz gruba nazaran artmıştır. Diğer taraftan, makarnalık buğday bitkisinin yaprak mezofil tabakası ölçüm değerlerinin uygulama gruplarında borsuz gruba göre düşük olması ancak hoagland çözeltisi dozuna paralel olarak genel olarak değerlerde bir artışla birlikte borsuz gruba doğru yaklaşmanın gerçekleşmesi artan bor dozuna karşı makarnalık buğdayın olumlu cevap verdiğini göstermektedir. Nitekim, bu görüşü yaprak fizyolojik bulguları da

desteklemektedir. Çalışmada her iki bor konsantrasyonunda yapraktaki klorofil ve karatenoid miktarları azalmış ancak doz arttıkça buna paralel olarak söz konusu değerlerde artış gerçekleşmiştir. Bu durum, makarnalık buğday için artan bor konsantrasyonunun yaprak anatomik ve fizyolojik değerlerini de yükselteceğini düşündürmektedir. Gerek yaprak mezofil dokusunda gerekse de yaprak klorofil ile karatenoid seviyelerindeki artış bitkinin fotosentezini olumlu yönde etkileyerek bitki gelişimin destekleyecektir. Nitekim, Rosolem ve Costa (2000) yaprak mezofil tabakasında tespit edilen bir olumsuzluğun bitkinin gelişimini de olumsuz yönde etkileyeceğini belirtmiştir. Domates bitkisine yapraktan sprey şeklinde ve topraktan artan dozlarda (0, 1,9, 3,8 and 5,7 mg·L⁻¹ H₃BO₃) bor uygulamalarının bitkinin net fotosentez seviyesi ile klorofil miktarını yükselttiği rapor edilmiştir (Xu, Wang, Yuan, Chen ve Hu, 2021). Bor eksikliği altında, fotosentezde etkin rol oynayan tilakoidlerin yapısının zarar gördüğü ve fotosentezin azaldığı bildirilmiştir (Han ve diğerleri, 2008). Khaleghi, Arzani, Moallemi ve Barzegar (2012), aşırı bor uygulamalarının yapraklarda reaktif oksijen türlerinin üretimine yol açarak organik moleküllerde ve kloroplast yapısında fotooksidatif hasara ve sonuç olarak klorofil içeriğinde azalmaya neden olduğunu tespit etmişlerdir. Xu ve diğerleri (2021)'e göre, domates bitkisinde uygun bor dozu, fotosentetik kapasiteyi doğrudan etkileyen fotosentetik pigmentlerin sentezini etkili bir şekilde teşvik ederek kararlı yaprak yapısını oluşturmaktadır. Benzer bir biçimde, Loomis ve Durst (1992) de bitki için uygun bor seviyesinin fotosentezi teşvik edebileceğini bildirmiştir. Bu çalışmada da, makarnalık buğday yaprağındaki fotosentetik pigment içeriğinin borsuz gruba göre düşük olması ancak özellikle hoagland çözeltisine paralel olarak artış göstermesi ve değerlerin hoagland çözeltisinin iki katı grubunda borsuz gruba yaklaşmasının, doz artışının kararlı yaprak yapısını teşvik ettiğini düşündürmektedir. Yaprak mezofil tabakası değerleri de bu görüşü desteklemektedir. Sonuçta Xu ve diğerleri (2021)'nin da belirttiği gibi, bu tez çalışmasında da hoagland çözeltisinin iki katı dozunun üzerinde tespit edilecek uygun bir bor dozu ile makarnalık buğdayda borsuz grubun üzerinde yaprak mezofil ve fotosentetik pigment değerlerine ulaşılabilirliği varsayılmaktadır. Dolayısıyla, makarnalık buğdayda da hoagland çözeltisinin iki katı dozunun üzerinde tespit edilecek uygun bor dozunda en iyi yaprak mezofil ve fotosentetik pigment içeriğine dolayısıyla da fotosentez hızına ulaşılarak bitkinin büyüme, gelişme ve verim özelliklerini destekleyebileceği düşünülmektedir.

Gruplara ait yaprak yüzeysel kesitlerde stoma en ve boy ölçüm ile stoma indeksi değerleri değerlendirilecek olursa, en ve boy ölçüm değerlerinin genelde uygulama gruplarında borsuz

gruba göre arttığı, uygulama grupları kendi aralarında değerlendirilecek olursa hoagland çözeltisinin iki katı grubunda hoagland çözeltisine göre bir azalmanın olduğu görülmüştür. Gruplara ait stoma indeksi değerlerinde ise genelde hoagland çözeltisi grubunda borsuz gruba göre artış olmasına rağmen hoagland çözeltisinin iki katı grubunda ise borsuz gruba nazaran düşüş tespit edilmiştir. Stoma indeksi değerleri açısından uygulama grupları kendi aralarında değerlendirilecek olursa, hoagland çözeltisinin iki katı grubunda hoagland çözeltisine göre bir azalma görülmektedir. Literatürde bor noksanlığının stoma yoğunluğu ile iletkenliğini düşürme yolu ile fotosentetik etkinliği azalttığı bildirilmiştir (Han ve diğerleri, 2008). Çetin (2010), *Medicago sativa* L.'nin anatomik yapısı üzerine bor stresinin etkilerini incelediği bir çalışmada borun üç dozunu (0 ppm, 5 ppm ve 25 ppm) uygulamış, mm² başına gerek stoma gerekse de epidermis hücre sayısının doz artışına paralel olarak arttığını ve en yüksek bor dozu olan 25 ppm dozunda bitkinin kseromorfik yapı gösterdiğini bildirmiştir. Aynı çalışmada bor dozu arttıkça borsuz gruba göre bitkinin kseromorfik derecesi de artmakta ancak stoma en ve boy ölçümü ise azalmaktadır. Cong ve diğerleri (2015), bor eksikliğinin stoma sıklığını azalttığını, stoma açıklığını engellediğini ve bekçi hücrelerinin hücre duvarlarını kalınlaştırdığını rapor etmişlerdir. Aynı çalışmada bor eksikliğinin stoma farklılaşmasını engellediği, dolayısıyla yapraklardaki stoma sayısının bor eksikliği ile azaldığı vurgulanmıştır. Bu çalışmada da borsuz makarnalık buğday yapraklarının gerek üst gerekse de alt stomalarının ölçümlerinde borlu gruplara nazaran görülen azalışın, bor eksikliğinin stoma açıklığını azaltmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Stoma sıklığını ifade eden stoma indeksi açısından durum ele alınırsa, hoagland çözeltisi dozunun uygulandığı grupta borsuz gruba göre yaprak alt yüz için stoma indeksinin artış gösterdiği ancak hoagland çözeltisinin iki katı grubunda ise yaprak üst yüz için hem borsuz gruba hem de hoagland çözeltisine göre azalma olmuştur. Yine yaprak alt yüz için hoagland çözeltisinin iki katı grubunda hoagland çözeltisine göre azalma görülmüştür. Bu durumda, hoagland çözeltisi dozunun borsuz gruba ve hoagland çözeltisinin iki katı grubuna göre stoma sıklığını arttırdığını söyleyebiliriz. Bu durumda çalışma sonucunun Çetin (2010) ile benzer olduğu söylenebilir. Ancak hoagland çözeltisinin iki katı grubunda değerlerin gerek borsuz gruba gerekse de hoagland çözeltisine göre azalış göstermesi, doz artışına paralel olarak stoma sıklığının azaldığını bildirmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bitki besin elementlerinin ortamda yeterli miktarda bulunmamaları ya da aşırı miktrada bulunmaları bitkide stres yaratan unsurlardan biridir. Bitkilerin büyüme ve gelişimleri için az miktarda ihtiyaç duyduğu ancak belli bir miktarın üzerine çıkıldığında bitkide toksik etki yaratan element bordur. Bor elementi diğer elementler içinde eksikliği ile toksisite miktarı birbirine en yakın element olması açısından ayrı bir öneme sahiptir. Bor bitkilerin anatomik yapısında çok önemli görevler üstlenmiştir. En önemli görevini hücre duvarının yapısının oluşumunda gösterir. Bor, hücre duvarını oluşturan kimyasallarla bir araya gelerek hücre duvarının ince yapıda ve güçlü olmasını sağlar. Ortamda yeteri miktarda bor bulunmazsa, bitki duvarlarında kalınlaşma ve deformasyonlar görülür. Bor ayrıca hücre zarının yapısında rol alır, polen tüplerinin sağlıklı bir şekilde uzamasını sağlar. Bunlardan başka, bitkilerde lignifikasyon olayında, karbonhidrat, RNA, fenol ile IAA (Indol Asetik Asit) metabolizmalarında ve solunumda önemli görevler üstlenmiştir. Borun bitkilerde üstlendiği görevlere yönelik pek çok çalışma yapılsa da, bitki anatomisine yönelik olarak yapılan çalışmaların oldukça kısıtlı olduğu görülmektedir. Bundan yola çıkılarak, bu tez çalışmasında makarnalık buğday bitkisine değişen konsantrasyonlarda bor uygulanmış ve bitkinin anatomik ile fizyolojik yapısı üzerine etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışma sonucunda, yaprak anatomik ve fizyolojik bulgularının paralellik gösterdiği tespit edilmiştir. Gerek anatomik ve gerekse de fizyolojik bulgular, uygulama gruplarında borsuz gruba göre azalmış ancak hoagland çözeltisi arttıkça değerlerde artış olmuş ve değerlerin borsuz gruba doğru yükseldiği tespit edilmiştir. Hoagland çözeltisi dozu arttıkça yaprak anatomik ve fizyolojik değerlerin de doz artışına paralel olarak artması ve değerlerin borsuz gruba yaklaşması, makarnalık buğday bitkisinin büyüme ve gelişimi için ihtiyaç duyduğu bor miktarının hoagland çözeltisinin iki katı dozundan daha yüksek bir doza ihtiyaç duyduğunu düşündürmektedir. Gövde enine kesit parametreleri arasında yer alan bitkide su ve suda erimiş mineral maddeleri taşımakla görevli trake en ve boylarında borsuz gruba göre uygulama gruplarında artış göstermesi bu görüşü doğrulamaktadır. Bitkinin borsuz gruba göre hoagland çözeltisi gruplarında doz artışına paralel olarak gövde enine kesitlerindeki trake en ve boy ölçümlerindeki artışın, bitkinin büyüme ve gelişimi için ihtiyaç duyduğu bor miktarını su ile birlikte alınımlarını arttırmak amaçlı olduğu düşünülmektedir. Uygulama gruplarının yaprak üst ve alt yüz stoma ölçümleri sonuçlarının borsuz gruba göre yüksek olması, bor eksikliğinin stoma açıklığını azaltmasından kaynaklandığı daha önce yapılan

Çalışma sonuçlarından da anlaşılmaktadır. Çalışmada diğ er gruplara g ore en y uksek stoma indeksi değ eri hoagland  ozeltisi grubunda tespit edilmiş olup doz arttı ca stoma indeksi değ erinde azalma gerçekleşmiştir.

Sonuç olarak; yaprak anatomik ve fizyolojik bulgulardan yola çıkarak hoagland  ozeltisi dozu arttı ca uygulama grubu değ erlerinde artışın g ozlenmesi ve hem anatomik hem fizyolojik değ erlerin borsuz grubun değ erlerine yaklaşması makarnalık buğday bitkisinin hoagland  ozeltisinin iki katı dozundan daha y uksek doz bor uygulamalarına ihtiyaç duyduğunu d üş nd rmektedir. Her iki uygulama grubunun g ovde enine kesit trake  l m değ erlerinde borsuz gruba g ore tespit edilen artışın nedeninin, su ile birlikte aslında bitkinin ihtiyaç duyduğu bor minerali miktarını arttırmaya y onelik olduğunu akla getirmektedir. Bu tez çalışmasıyla, hoagland besin  ozeltisinde kullanılan bor dozunun makarnalık buğday bitkisinin anatomik ve fizyolojik yapısı için uygun bir doz olmadığı  zellikle fotosentetik pigment miktarlarında borsuz gruba g ore tespit edilen azalmanın bitkinin fotosentetik verimde azalmaya neden olabileceği ve sonuçta da bitkinin b y me ve gelişmesini olumsuz y onde etkileyebileceği d üş n lmektedir. Bu noktada, her bir bitkinin b y me ve gelişmesi için en uygun bor konsantrasyonlarının belirlenmesi çalışmaları yapılarak bu doz saptanmalıdır. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda, hoagland  ozeltisinin iki katı bor dozundan daha y uksek bor konsantrasyonlarının makarnalık buğday bitkisine uygulanmasıyla bitkinin vereceği anatomik ve fizyolojik cevaplara g ore s z konusu bitki için en uygun bor miktarı tespit edilmesiyle konu daha iyi aydınlatılacaktır.

KAYNAKLAR

- Abdulnour, J. E., Donnelly, D. J. and Barthakur, N. N. (2000). The effect of boron on calcium uptake and growth in micropropagated potato plantlets. *Potato Research*, 43(3), 287-295.
- Agre, P. and Kozono, D. (2003). Aquaporin water channels: molecular mechanisms for human diseases. *FEBS Letters*, 555(1), 72-78.
- Ahmad, S., Akhtar, L. H., Iqbal, N. and Nasim, M. (2009). Short communication cotton (*Gossypium hirsutum* L.) varieties responded differently to foliar applied boron in terms of quality and yield. *Soil Environment*, 28(1), 88-92.
- Ahmad, W., Zia, M. H., Malhi, S. S., Niaz, A. and Ullah, S. (2012). Boron deficiency in soils and crops: A review. A. Goyal (Ed.), *Crop plant içinde* (s.77-114). Rijeka: Intech. DOI: 10.5772/36702
- Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K. and Walter, P. (2002). *Molecular Biology of the Cell* (4. bs.). New York: Garland Science.
- Alkan, A. (1998). *Farklı tahıl türleri ile buğday ve arpa çeşitlerinin bor toksisitesine dayanıklılığının araştırılması ve dayanıklılıkta rol alan faktörlerin belirlenmesi* (Yayınlanmamış yüksek lisans tezi). Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Adana.
- Alpaslan, M., Taban, S., İnal, A., Kütük, C. ve Erdal, İ. (1996). Besinç çözeltesinde yetiştirilen buğday (*Triticum aestivum* L.) bitkisinde bor-azot ilişkisi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2(3), 215-219.
- Aslam, M., Mahmood., I. H., Qureshi, R. H., Nawaz, S. and Akhtar, J. (2002). Salinity tolerance of rice as affected by boron nutrition. *Pakistan Journal of Soil Science*, 21(1-2), 110-118.
- Atalay, E., Gezgin, S. ve Babaoğlu, M. (2003). Buğday (*Triticum durum* L.) ve arpa (*Hordeum vulgare* L.) in vitro fidelerinin bor alımının ICP-AES ile tespiti. *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 17(32), 47-52.
- Aybar, M. (2022). *Ağır metal iyonlarıyla kirlenmiş maden yatağı ve yakın çevresindeki toprakların fitoremediasyon yöntemiyle giderilmesinin araştırılması* (Yayınlanmamış doktora tezi). Artvin Çoruh Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Artvin.
- Ayvaz, M. (2002). *Bazı arpa çeşitlerinde borun büyüme ve gelişme üzerine etkileri* (Yayınlanmamış yüksek lisans tezi). Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Baake, O., Hoffmann, P. S., Klein, A., Pollakowski, B., Beckhoff, B., Ensinger, W. et al. (2009). *Analytical characterization of BCxNy films grown with Trimethylamine Borane, Triethylamine Borane or Trimethylborazine Precursor* [Özet]. Paper presented at 216th ECS Meeting, Vienna, Austria. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1149/MA2009-02/34/2488> (Son Erişim Tarihi: 17.03.2023)

- Bagheri, A., Paull, J. G. and Rathjen, A. J. (1996). Genetics of tolerance to high concentrations of soil boron in peas (*Pisum sativum* L.). *Euphytica*, 87, 69–75.
- Barth, R.F. and Soloway, A.H. (1994). Boron neutron capture therapy of primary and metastatic brain tumors. *Molecular and Chemical Neuropathology*, 21(2), 139-154.
- Barr, R. D., Clarke, W.B., Clarke, R. M., Venturelli, J., Norman, G. R. and Downing, R. G. (1993). Regulation of lithium and boron levels in normal human blood: environmental and genetic considerations. *The Journal of Laboratory and Clinical Medicine*, 121(4), 614-619.
- Barut, H. (1997). *Çinko eksikliği ve bor toksisitesi gösteren topraklarda gytja uygulamasının buğdayın büyümesi ve çinko ve bor konsantrasyonları üzerine etkisi.* (Yayınlanmamış yüksek lisans tezi). Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Barut, H., Aykanat, S., Aşıklı, S. ve Eker, S. (2018). Bitkisel üretimde bor. *International Journal of Eastern Mediterranean Agricultural Research*, 1(1), 33-46.
- Batar, T., Köksal, N. and Yersel, S. (2009). Production and characterization of wall plaster with borax and paper wastes and perlite additives. *Ekoloji*, 19(72), 45-53.
- Başkaya, H. S. (2003). Metallerle kirlenmiş toprakların temizlenmesinde uygulanan teknolojiler. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 8(1), 121-131.
- Bayca, S. U., Batar, T., Sayin, E., Solak, O. and Kahraman, B. (2008). The influence of coal bottom ash and tincal (boron mineral) additions on the physical and microstructures of ceramic bodies. *Journal of Ceramic Processing Research*, 9(2), 118-122.
- Benga, G. H., Popescu, O., Borza, V., Pop, V. I., Muresan, A., Mocsy, I., Brain, A. and Wigglesworth, J. (1986). Water permeability of human erythrocytes: Identification of membrane proteins involved in water transport. *European Journal of Cell Biology*, 41(2), 252–62.
- Bennett, W. F. (1994). *Nutrient Deficiencies and Toxicities in Crop Plants*. St. Paul, MN (USA): APS Press.
- Bergmann, W. (Ed.). (1992). *Colour atlas nutritional disorders of plants: visual and analytical diagnosis*. Auburn Hills, MI, USA: Fischer.
- Blaser-Grill, J., Knoppik, D., Amberger, A. and Goldbach, H. (1989). Influence of boron on the membrane potential in *Elodea densa* and *Helianthus annuus* roots and H⁺ extrusion of suspension cultured *Daucus carota* cells. *Plant Physiology*, 90(1), 280-284.
- Bolanos, L., Esteban, E., de Lorenzo, C., Fernandez-Pascual, M., de Felipe, M. R., Garate, A. and Bonilla, I. (1994). Essentiality of boron for symbiotic dinitrogen fixation in pea (*Pisum sativum*) rhizobium nodules. *Plant Physiology*, 104(1), 85-90.
- Bolaños, L., Lukaszewski, K., Bonilla, I. and Blevins, D. (2004). Why boron? *Plant Physiology and Biochemistry*, 42(11), 907-912.

- Bolca, M., Kılınç, R., Altınbaş, Ü., Saç, M. M., Kumru, M. N., Esetlili, B. Ç. et al. (2010). *Alangüllu (Aydın) bölgesindeki jeotermal kaynakların kimyasal özelliklerinin ve içerdikleri radyoaktif maddelerin su kaynakları, tarım toprakları ve kültür bitkilerine etkilerinin multidisipliner yaklaşımla saptanması üzerine araştırmalar*. (TUBITAK Projesi No.107O085).
- Bonilla, I., Garcia-González, M. and Mateo, P. (1990). Boron requirement in cyanobacteria: its possible role in the early evolution of photosynthetic organisms. *Plant Physiology*, 94(4), 1554-1560.
- Brenchley, W. E. and Thornton, H. G. (1925). The relation between the development, structure and functioning of the nodules on *Vicia faba*, as influenced by the presence or absence of boron in the nutrient medium. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Containing Papers of a Biological Character*, 98(691), 373-399.
- Brooks, B. J. (1991). The adaptation of *Triticum turgidum* L. var. *durum* (durum wheat) to South Australia (Yayınlanmamış doktora tezi). *The University of Adelaide*, Avustralya, Adelaide.
- Brown, P. H. and Hu, H. (1996). Phloem mobility of boron is species dependent: Evidence for phloem mobility in sorbitol-rich species. *Annals of Botany*, 77(5), 497-506.
- Brown, P. H. and Shelp, B. J. (1997). Boron mobility in plants. *Plant and Soil*, 193(1), 85-101.
- Brown, P. H., Bellaloui, N., Hu, H. and Dandekar, A. (1999). Transgenically enhanced sorbitol synthesis facilitates phloem boron transport and increases tolerance of tobacco to boron deficiency. *Plant Physiology*, 119(1), 17-20.
- Butterwick, L., de Oude, N. and Raymond, K. (1989). Safety assessment of boron in aquatic and terrestrial environments. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 17(3), 339-371.
- Cartwright, B., Zarcinas, B. A. and Spouncer, L. R. (1986). Boron toxicity in South Australian barley crops. *Australian Journal of Agricultural Research*, 37(4), 351-359.
- Cheng, C. and Rerkasem, B. (1993). Effects of boron on pollen viability in wheat. *Plant and Soil*, 155(1), 313-315.
- Chrispeels, M. J., Crawford, N. M. and Schroeder, J. I. (1999). Proteins for transport of water and mineral nutrients across the membranes of plant cells. *The Plant Cell*, 11(4), 661-675.
- Clarke, J. M., Marchylo, B. A., Kovacs, M. I. P., Noll, J. S., McCaig, T. N. and Howes, N. K. (1998). Breeding durum wheat for pasta quality in Canada. *Euphytica*, 100, 163-170.
- Cong, X., Jing, H., Lin, N., Xia, Z., Huang, M. and Jiang, X. (2015). Boron deficiency affects cell morphology and structure of young leaves of radish. *Acta Physiologiae Plantarum*, 37, 1-10.

- Coursey, J. S., Schwab, D. J., Tsai, J. J. and Dragoset, R. A. (2016). *Atomic weights and isotopic compositions* (National Institute of Standards and Technology). Erişim adresi: <https://www.nist.gov/publications/atomic-weights-and-isotopic-compositions> (Son Erişim Tarihi: 13.03.2023)
- Çakmak, I. (1994). Activity of ascorbate-dependent H₂O₂-scavenging enzymes and leaf chlorosis are enhanced in magnesium-and potassium-deficient leaves, but not in phosphorus-deficient leaves. *Journal of Experimental Botany*, 45(9), 1259-1266.
- Çakmak, I. and Römheld, V. (1997). Boron deficiency-induced impairments of cellular functions in plants. *Plant and Soil*, 193(1), 71-83.
- Çelebioğlu S. and Baytop T. (1949). A new reagent for microscopical investigation of plant, Publication of the Institute of Pharmacognosy, No. 10, 19: 3001, İstanbul.
- Cömert, A. ve Çelik, S. K. (2017). Farklı Toprak bünyelerinde sulama suyu bor düzeylerinin fasulye bitkisi verimi üzerine etkilerinin belirlenmesi. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 21(3), 323-331.
- Çetin, E. (2010). Effects of Boron Stress on the Anatomical Structure of *Medicago sativa* L. *European Journal of Biology*, 68(1), 27-35.
- Dalton, D. A., Russell, S. A., Hanus, F. J., Pascoe, G. A. and Evans, H. J. (1986). Enzymatic reactions of ascorbate and glutathione that prevent peroxide damage in soybean root nodules. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 83(11), 3811-3815.
- Dannel, F., Pfeffer, H. and Römheld, V. (2000). Characterization of root boron pools, boron uptake and boron translocation in sunflower using the stable isotopes ¹⁰B and ¹¹B. *Functional Plant Biology*, 27(5), 397-405.
- Darvill, J. E., McNeil, M., Darvill, A. G. and Albersheim, P. (1980). Structure of plant cell walls: XI. Glucuronoarabinoxylan, a second hemicellulose in the primary cell walls of suspension-cultured sycamore cells. *Plant Physiology*, 66(6), 1135-1139.
- Dell, B. and Huang, L. (1997). Physiological response of plants to low boron. *Plant and Soil*, 193(1), 103-120.
- Demirtaş, A. (2005). Bitkide bor ve etkileri. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 36(2), 217-225.
- Demirtaş, A. (2006). Bor bileşikleri ve tarımda kullanımı. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 37(1), 111-115.
- Devirian, T. A. and Volpe, S. L. (2003). The physiological effects of dietary boron. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 43(2), 219-231.
- Donghua, L., Jiang, W., Zhang, L. and Lufang, L. I. (2000). Effects of boron ions on root growth and cell division of broadbean (*Vicia faba* L.). *Israel Journal of Plant Sciences*, 48(1), 47-51.
- Dordas C. and Brown P. H. (2000) Permeability of boric acid across lipid bilayers and factors affecting it. *The Journal of Membrane Biology*, 175, 95-105.

- Dordas, C., Chrispeels, M. J. and Brown, P. H. (2000). Permeability and channel-mediated transport of boric acid across membrane vesicles isolated from squash roots. *Plant Physiology*, 124(3), 1349-1362.
- Fares, C., Novembre, G., Di Fonzo, N., Galterio, G. and Pogna, N. E. (1997). Relationship between storage protein composition and gluten quality in breeding lines of durum wheat (*Triticum turgidum* spp. *durum*). *Agricoltura Mediterranea*, 127(4), 363-368.
- Fort, D. J., Propst, T. L., Stover, E. L., Murray, F. J. and Strong, P. L. (1999). Adverse effects from low dietary and environmental boron exposure on reproduction, development, and maturation in *Xenopus laevis*. *The Journal of Trace Elements in Experimental Medicine*, 12(3), 175-185.
- Frommer, W. B. and von Wirén, N. (2002). Ping-pong with boron. *Nature*, 420(6913), 282-283.
- Gestring, W. D. and Soltanpour, P. N. (1987). Comparison of soil tests for assessing boron toxicity to alfalfa. *Soil Science Society of America Journal*, 51(5), 1214-1219.
- Gilliam, C. H. and Watson, M. E. (1981). Boron Accumulation in *Taxus media*. *HortScience*, 16(3), 340-341.
- Glass, A. D. (1973). Influence of phenolic acids on ion uptake: I. Inhibition of phosphate uptake. *Plant Physiology*, 51(6), 1037-1041.
- Glaubig, B. A. and Bingham, F. T. (1985). Boron toxicity characteristics of four northern California endemic tree species. *Journal of Environmental Quality*, 14(1), 72-77.
- Goldbach, H. E., Yu, Q., Wingender, R., Schulz, M., Wimmer, M., Findeklee, P. and Baluška, F. (2001). Rapid response reactions of roots to boron deprivation. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 164(2), 173-181.
- Guhl, W. (1996). Ecological aspects of boron. *SÖFW-Journal*, 118(18/92), 1159-1168.
- Güleç, T. E., Sönmezoğlu, Ö. A. ve Yıldırım, A. (2010). Makarnalık buğdaylarda kalite ve kaliteyi etkileyen faktörler. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2010(1), 113-120.
- Gunes, 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(3), 279-284.
- Güyağüler, T. (2001). *Türkiye bor potansiyeli*. 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumunda sunulan bildiri. İzmir, Türkiye. Erişim adresi: https://www.maden.org.tr/resimler/ekler/d34d468ac887633_ek.pdf (Son Erişim Tarihi: 11.03.2023)
- Hamurcu, M., Özdemir, C., Kocabaş, O., Hakkı, E. H., Demiral, T. ve Gezgin, S. (2016). Toksisite düzeyinde bor uygulamalarının besin çözeltileri koşullarında hibrit mısır çeşitlerinin anatomik özellikleri üzerine etkisi. *Journal of Boron*, 1(2), 53-59.

- Han, S., Chen, L. S., Jiang, H. X., Smith, B. R., Yang, L. T. and Xie, C. Y. (2008). Boron deficiency decreases growth and photosynthesis and increases starch and hexoses in leaves of citrus seedlings. *Journal of Plant Physiology*, 165(13), 1331-1341.
- Hartmann, H. D., Flocker, W. J. and Kofranek, A. M. (1981). *Plant science. Growth, development and utilization of cultivated plants*. New Jersey, USA: Prentice-Hall.
- Hoseney, R. C. (1994). *Principles of Cereal Science and Technology*. St. Paul, Minnesota, USA: American Association of Cereal Chemists.
- Hu, H., Penn, S. G., Lebrilla, C. B. and Brown, P. H. (1997). Isolation and characterization of soluble boron complexes in higher plants (the mechanism of phloem mobility of boron). *Plant Physiology*, 113(2), 649-655.
- Hu, H. and Brown, P. H. (1997). Absorption of Boron by Plants Roots. *Plant and Soil*, 193, 49-58.
- Huang, C. and Graham, R. D. (1990). Resistance of wheat genotypes to boron toxicity is expressed at the cellular level. *Plant and Soil*, 126(2), 295-300.
- Huang, Y., Jiao, Y., Nawaz, M. A., Chen, C., Liu, L., Lu, Z., ... Bie, Z. (2016). Improving magnesium uptake, photosynthesis and antioxidant enzyme activities of watermelon by grafting onto pumpkin rootstock under low magnesium. *Plant and Soil*, 409(1), 229-246.
- Jamjod, S. (1996). *Genetics of boron tolerance in durum wheat* (Unpublished doctoral dissertation). The University of Adelaide Waite Agricultural Research Institute, Adelaide, South Australia.
- Jiang, Y. and Miles, P. W. (1993). Generation of H₂O₂ during enzymic oxidation of catechin. *Phytochemistry*, 33(1), 29-34.
- Karaömerlioğlu B. (2011). *Medicago sativa* L., *Vicia sativa* L., *Bitkileri Kullanılarak Toprakta bor gideriminin araştırılması* (Yayınlanmamış yüksek lisans tezi). Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Kaya, C., Sarioğlu, A., Akram, N. A. and Ashraf, M. (2019). Thiourea-mediated nitric oxide production enhances tolerance to boron toxicity by reducing oxidative stress in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) and durum wheat (*Triticum durum* L.) plants. *Journal of Plant Growth Regulation*, 38(3), 1094-1109.
- Kayıhan, D. S., Aksoy, E. and Kayihan, C. (2021). Identification and expression profiling of toxic boron-responsive microRNAs and their targets in sensitive and tolerant wheat cultivars. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 45(4), 411-433.
- Kekeç, G. (2008). *Effect of Boron pollution on some crops germination, dertermination of modifications in genetic structure by using RAPD method and reducing this effect by using growth hormones* (Unpublished master's thesis). Fatih University Graduate School of Natural and Applied Sciences, Istanbul.

- Keyis, D. (2020). *3, 4-dihidroksi benzaldehit ile modifiye edilmiş kitosanın hazırlanması ve sulu ortamlardan bor adsorpsiyon özelliklerinin araştırılması* (Yayınlanmamış yüksek lisans tezi). Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray.
- Khaleghi, E., Arzani, K., Moallemi, N. and Barzegar, M. (2012). Evaluation of chlorophyll content and chlorophyll fluorescence parameters and relationships between chlorophyll a, b and chlorophyll content index under water stress in *Olea europaea* cv. Dezfil. *International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering*, 6(8), 1154-1157.
- Kliegel, W. (1980). *Boron in biology, medicine and pharmacy: physiological effects and use of boron compounds*. Berlin: Springer-Verlag.
- Kluge, R. and Podlesak, W. (1985). Plant critical levels for the evaluation of boron toxicity in spring barley (*Hordeum vulgare* L.). *Plant and Soil*, 83(3), 381-388.
- Kobayashi, M., Matoh, T. and Azuma, J. I. (1996). Two chains of rhamnogalacturonan II are cross-linked by borate-diol ester bonds in higher plant cell walls. *Plant Physiology*, 110(3), 1017-1020.
- Konuk, M., Liman, R. and Cigerci, I. H. (2007). Determination of genotoxic effect of boron on *Allium cepa* root meristematic cells. *Pakistan Journal of Botany*, 39(1), 73-79.
- Kubata J. (1980). Regional distribution of trace element problems in North America. In B. Davies (ed), *Applied soil trace elements* (pp. 443-466) London: Wiley.
- Kuchel, H., Langridge, P., Mosionek, L., Williams, K. and Jefferies, S. P. (2006). The genetic control of milling yield, dough rheology and baking quality of wheat. *Theoretical and Applied Genetics*, 112, 1487-1495.
- Lichtenthaler, H. and Wellburn, A. R. (1983) Determination of total carotenoids and chlorophyll a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions*, 11(5), 591-593.
- Linden, C. H., Hall, A. H., Kulig, K. W. and Rumack, B. H. (1986). Acute ingestions of boric acid. *Journal of Toxicology: Clinical Toxicology*, 24(4), 269-279.
- Loomis, W. D. and Durst, R. W. (1992). Chemistry and biology of boron. *BioFactors*, 3(4), 229-239.
- Lovatt, C. J. and Dugger, W. M. (1984). Boron. In E. Frieden (Ed.), *Biochemistry of the essential ultratrace elements* (pp. 389-421). Boston: Springer.
- Maas, E. V. (1987). Salt tolerance of plants. In B. R. Christie (Ed.), *Handbook of plant science in agriculture* (pp. 57-76). Boca Raton: CRC Press.
- Matoh, T. and Ochiai, K. (2005). Distribution and partitioning of newly taken-up boron in sunflower. *Plant and Soil*, 278, 351-360.
- Meidner, H. and Mansfield, T. A. (1968). *Physiology of stomata*. London: McGraw-Hill
- Marschner, P. (1995). *Mineral nutrition of higher plants* (2nd ed.). London: Academic press.

- Mateo, P., Bonilla, I., Fernandez-Valiente, E. and Sanchez-Maeso, E. (1986). Essentiality of boron for dinitrogen fixation in *Anabaena* sp. PCC 7119. *Plant Physiology*, 81(2), 430-433.
- Mellor, J. W. (1980). *Mellor's Comprehensive Treatise on Inorganic and Theoretical Chemistry: Supplement 1. Nitrogen (Part 1)*. London: Longmans.
- Michael, S. H., Villarreal, P. M., Ferguson, M. F., Wiler, J. L., Zane, R. D. and Flarity, K. (2019). Virtual reality–based resilience programs: feasibility and implementation for inpatient oncology nurses. *Clinical Journal of Oncology Nursing*, 23(6), 664-667.
- Moody, D. B., Rathjen, A. J. and Cartwright, B. (1993). Yield Evaluation of a Gene for Boron Tolerance Using Backcross-Derived Lines. In P. J. Randall, E. Delhaize, R. A. Richards, and R. Munns (Eds.), *Genetic aspects of plant mineral nutrition* (pp. 363-366). Kluwer Academic Publishers.
- Morris, C. F. (2004). Cereals/ grain - quality attributes. In C. Wrigley, H. Corke and C. E. Walker (eds.), *Encyclopedia of grain Science* (pp. 238-254). London: Elsevier Science.
- Nable R. O., Banuelos G. S. and Paull J. G. (1997). Boron toxicity. *Plant Soil*, 193, 181-198.
- Nawaz, M. A., Imtiaz, M., Kong, Q., Cheng, F., Ahmed, W., Huang, Y. and Bie, Z. (2016). Grafting: a technique to modify ion accumulation in horticultural crops. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1-15.
- Nawaz, M. A., Shireen, F., Huang, Y., Zhilong, B., Ahmed, W. and Saleem, B. A. (2017). Perspectives of vegetable grafting in Pakistan, current status, challenges and opportunities. *International Journal of Agriculture & Biology*, 19(5), 1165-1174.
- Nobel, W. (1981) The effect of boron on submerged soft–water macrophytes. *Angew Bot*, 55, 501– 514.
- Noguchi, K., Dannel, F., Pfeffer, H., Römhelt, V., Hayashi, H. and Fujiwara, T. (2000). Defect in root-shoot translocation of boron in *Arabidopsis thaliana* mutant bor 1-1. *Journal of Plant Physiology*, 156(5-6), 751-755.
- Nuttall, C. Y. (2000). *Boron tolerance and uptake in higher plants* (Unpublished PhD Dissertation). University of Cambridge, Cambridge, UK.
- Oğuz, A., Akarçay, E., Telaşeli, Ö. ve Sayaslan, A., (2006). *Düşük amilozlu, amilozsuz ve yüksek amilozlu buğdayların gelişimleri, özellikleri ve kullanım alanları*. Hububat Ürünleri Teknolojisi Kongre ve Sergisi'nde sunulan bildiri, Gaziantep.
- O'Neill, M. A., Eberhard, S., Albersheim, P. and Darvill, A. G. (2001). Requirement of borate cross-linking of cell wall rhamnogalacturonan II for *Arabidopsis* growth. *Science*, 294(5543), 846-849.
- O'Neill, M. A., Ishii, T., Albersheim, P. and Darvill, A. G. (2004). Rhamnogalacturonan II: structure and function of a borate cross-linked cell wall pectic polysaccharide. *Annual Review of Plant Biology*, 55, 109-139.

- Ozturk, M., Sakcali, S., Gucel, S. and Tombuloglu, H. (2010). Boron and plants. In Ashraf, M., Ozturk, M., and Ahmad, M. (Eds), *Plant Adaptation and Phytoremediation* (pp. 275-311) Dordrecht: Springer.
- Papadakis I., Dimassi K., Bosabalidis A., Therios I., Patakas A. and Giannakoula A. (2004). Boron toxicity in ‘Clementine’ mandarin plants grafted on two rootstocks. *Plant Science*, 166, 539–547.
- Pawa, S. and Ali, S. (2006). Boron ameliorates fulminant hepatic failure by counteracting the changes associated with the oxidative stress. *Chemico-Biological Interactions*, 160(2), 89-98.
- Paull, J. G., Nable, R. O. and Rathjen, A. J. (1992). Physiological and genetic control of the tolerance of wheat to high concentrations of boron and implications for plant breeding. *Plant and Soil*, 146(1), 251-260.
- Paull, J. G., Rathjen, A. J. and Cartwright, B. (1988). *Genetic control of tolerance to high concentrations of soil boron in wheat*. Paper presented at 7th International Wheat Genetics Symposium, Cambridge, UK.
- Pérès, J. M., Bureau, F., Neuville, D., Arhan, P. and Bouglé, D. (2001). Inhibition of zinc absorption by iron depends on their ratio. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 15(4), 237-241.
- Polat, K. (2021). *Durum ve tahmin: Buğday*. Ankara: Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları. Erişim adresi: <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/tepge/Belgeler/Yay%C4%B1n%20Ar%C5%9Fivi/2017-2022%20Yay%C4%B1n%20Ar%C5%9Fivi/Yay%C4%B1nno343.pdf> (Son Erişim Tarihi: 07.03.2023)
- Poole, R. J. (1978). Energy coupling for membrane transport. *Annual Review of Plant Physiology*, 29(1), 437-460.
- Rashid, A., Rafique, E. and Bughio, N. (1994). Diagnosing boron deficiency in rapeseed and mustard by plant analysis and soil testing. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 25(17-18), 2883-2897.
- Rashid, A., Rafique, E. and Ryan, J. (2002). Establishment and management of boron deficiency in field crops in Pakistan. In H. Golbach, B. Rerkasem, M. A. Wimmer, P. H. Brown, M. Theller, and R. W. Bell (Eds.), *Boron in plant and animal nutrition* (pp. 339-348). Boston, MA: Springer.
- Rashid, A. and Rafique, E. (2005). Internal boron requirement of young sunflower plants: Proposed diagnostic criteria. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 36(15-16), 2113-2119.
- Raven, J. A. (1980). Short-and long-distance transport of boric acid in plants. *New Phytologist*, 84(2), 231-249.
- Reid, R. J., Hayes, J. E., Post, A., Stangoulis, J. C. R. and Graham, R. D. (2004). A critical analysis of the causes of boron toxicity in plants. *Plant, Cell & Environment*, 27(11), 1405-1414.

- Rerkasem, B. (1996). Boron and plant reproductive development. In H. M. Rawson and K. D. Subedi (Eds.) *Sterility in Wheat in subtropical Asia: Extent, causes and solutions* (pp. 32-34). Proceedings of a workshop held from 18 to 21 September 1995 at Lumle Agricultural Research Centre, Pokhara, Nepal: Australian Centre for International Agricultural Research.
- Robertson, G. A. and Loughman, B. C. (1974). Reversible effects of boron on the absorption and incorporation of phosphate in vicia faba. *New Phytologist*, 73(2), 291-298.
- Roessner, U., Patterson, J. H., Forbes, M. G., Fincher, G. B., Langridge P. and Bacic A. (2006). An investigation of boron toxicity in barley using metabolomics. *Plant Physiology*, 142(3), 1087–1101.
- Rosolem C. A. and Costa, A. (2000). Cotton growth and boron distribution in the plants as affected by a temporary deficiency of boron. *Journal of Plant Nutrition*, 23(6), 815-825.
- Roth-Bejerano, N. and Itai, C. (1981). Effect of boron on stomatal opening in epidermal strips of *Commelina communis*. *Physiologia Plantarum*, 52(2), 302-304.
- Rowe, R. I. and Eckhert, C. D. (1999). Boron is required for zebrafish embryogenesis. *Journal of Experimental Biology*, 202(12), 1649-1654.
- Rucińska-Sobkowiak, R. (2016). Water relations in plants subjected to heavy metal stresses. *Acta Physiologiae Plantarum*, 38, 1-13.
- Saks Y., Feigenbaum P. and Aloni R. (1984). Regulatory effect of cytokinin on secondary xylem fiber formation in an in vivo system. *Plant Physiology*, 76(3), 638-642.
- Schon, M. K., Novacky, A. and Blevins, D. G. (1990). Boron induces hyperpolarization of sunflower root cell membranes and increases membrane permeability to K⁺. *Plant Physiology*, 93(2), 566-571.
- Schöberl, P., Bock, K. J. and Huber, L. (1988). Ecologically relevant data of tensides in washing agents and detergents. *Tenside Surfactant Detergents*, 25(1), 86-98.
- Shani, U. and Hanks, R. J. (1993). Model of integrated effects of boron, inert salt, and water flow on crop yield. *Agronomy Journal*, 85(3), 713-717.
- Shann, J. R. and Adriano, D. C. (1988). The chronic exposure of selected crop species to boron aerosols. *Environmental and Experimental Botany*, 28(4), 289-299.
- Shorrocks, V. M. (1997). The occurrence and correction of boron deficiency. *Plant and Soil*, 193(1), 121-148.
- Simón, I., Díaz-López, L., Gimeno, V., Nieves, M., Pereira, W. E., Martínez, V., ... 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(2), 165-174.

- Sissons, M., (2004). *Pasta. Encyclopedia of Grain Science*, In C. W. Wrigley, H. Corke, and C. E. Walker (Eds.), *Encyclopaedia of grain science* (pp. 410-418). Amsterdam, Netherland: Elsevier.
- Sopova, M., Petrovska, D., Musalevski, A., Najcevska, C. and Sekovski, Z. (1981). Cytogenetical and morphological effect of general toxicity caused with different concentrations of boron. *Mutation Research/Environmental Mutagenesis and Related Subjects*, 85(229).
- Sönmez, O. ve Kılıç, F. N. (2021). Toprakta ağır metal kirliliği ve giderim yöntemleri. *Turkish Journal of Agricultural Engineering Research*, 2(2), 493-507.
- Sönmez, N. A. (2014). *Sulardan adsorbsiyon yöntemi ile bor giderimi* (Yayınlanmamış yüksek lisans tezi). Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Stangoulis J. C. R, Reid R. J., Brown P. H. and Graham R. D. (2001). Kinetic analysis of boron transport in Chara. *Planta*, 213, 142–146.
- Stavrianakou, S., Liakopoulos, G. and Karabourniotis, G. (2006). Boron deficiency effects on growth, photosynthesis and relative concentrations of phenolics of *Dittrichia viscosa* (Asteraceae). *Environmental and Experimental Botany*, 56(3), 293-300.
- Stokinger, H. E. (1981). The halogens and the nonmetals boron and silicon: 1. halogens: 1.2. fluorine, F2. *Patty's Industrial Hygiene and Toxicology*, 28, 2937-2954.
- Şener, S. and Özkara, M. (1989). The boron pollution of Simav creek waters and its effects on the soils and agricultural crops of Balıkesir region. In M. Öztürk (Ed.), *Plants and Pollutants in Developing Countries*. İzmir: Ege University Press.
- Taban, S. ve Erdal, İ. (2000). Bor uygulamasının değişik buğday çeşitlerinde gelişme ve toprak üstü aksamda bor dağılımı üzerine etkisi. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 24(2), 255-262.
- Taban, S., Alpaslan, M., Kutuk, C., Inal, A. and Erdal, I. (1995). Relationship between boron and calcium on wheat (*Triticum aestivum* L.). Paper presented at 9th International Symposium of CIEC, "Soil fertility and fertilization management-bridge between science, industry and practice" (pp. 85-90). Aydın, Turkey.
- Taiz L. and Zeiger E. (1991). *Plant physiology*. Redwood City, USA: The Benjamin/Cummings Publishing Company Inc.,
- Takano, J., Noguchi, K., Yasumori, M., Kobayashi, M., Gajdos, Z., Miwa, K., ... Fujiwara, T. (2002). Arabidopsis boron transporter for xylem loading. *Nature*, 420(6913), 337-340.
- Takano, J., Miwa, K., Yuan, L., von Wirén, N. and Fujiwara, T. (2005). Endocytosis and degradation of BOR1, a boron transporter of Arabidopsis thaliana, regulated by boron availability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(34), 12276-12281.
- Takano J., Wada M., Ludewig U., Schaaf G., von Wirén N. and Fujiwara T. (2006). The Arabidopsis major intrinsic protein NIP5;1 is essential for efficient boron uptake and plant development under boron limitation. *Plant Cell*, 18(6):1498–1509.

- Takano, J., Kobayashi, M., Noda, Y. and Fujiwara, T. (2007). *Saccharomyces cerevisiae* Bor1p is a boron exporter and a key determinant of boron tolerance. *FEMS Microbiology Letters*, 267(2), 230-235.
- Tanaka, M. and Fujiwara, T. (2008). Physiological roles and transport mechanisms of boron: Perspectives from plants. *Pflügers Archiv-European Journal of Physiology*, 456(4), 671-677.
- TMSD (2004). *Türkiye makarna sektörü*. Ankara: Türkiye Makarna Sanayicileri Derneği.
- Travis, N. J. and Cocks, E. J. (1984). *The tincal trail: A history of borax*. London: R.T.Z. Borax.
- Troccoli, A., Borrelli, G. M., DeVita, P., Fares, C. and DiFonzo, N. (2000). Durum wheat quality: A multidisciplinary concept. *Journal of Cereal Science*, 32, 99-113.
- Tombuloglu, G., Tombuloglu, H. and Sakcali, M. S. (2015). Genotoxic effects of boron on chickpea (*Cicer arietinum* L.) and tomato (*Solanum lycopersicum* L.). In M. Öztürk, M. Ashraf, A. Aksoy, M. S. A. Ahmad, and K. R. Hakeem (Eds.), *Plants, pollutants and remediation* (pp. 179-189). Dordrecht: Springer.
- Tukey, J. W. (1954). Section of mathematics and engineering: Some selected quick and easy methods of statistical analysis. *Transactions of the New York Academy of Sciences*, 16(2 Series II), 88-97.
- Uygan, D. ve Çetin, Ö. (2004). Bor'un tarımsal ve çevresel etkileri: Seydisuyu su toplama havzası. *Uluslararası Bor Sempozyumu'nda sunulan bildiri* (pp. 527-540). Erişim adresi: http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/3d7dc096493e1f7_ek.pdf (Son Erişim Tarihi: 17.02.2023)
- Ünver T., Bozkurt O. and Akkaya M. H. (2008). Identification of differentially expressed transcripts from leaves of the boron tolerant plant *Gypsophila perfoliata* L. *Plant Cell Reports*, 27, 1411–1422.
- Warington, K. (1923). The Effect of Boric Acid and Borax on the Broad Bean and Certain Other Plants. *Annals of Botany*, 37, 629-672.
- Weast, R. C. (1985). *CRC Handbook of chemistry and physics*. Boca Raton: CRC Press Inc.
- WHO (1998). *Environmental Health Criteria Monograph 204: Boron*. Geneva: World Health Organization.
- Woods, W. G. (1994). An introduction to boron: History, sources, uses, and chemistry. *Environmental Health Perspectives*, 102(suppl 7), 5-11.
- Yan, X., Wu, P., Ling, H., Xu, G., Xu, F. and Zhang, Q. (2006). Plant nutriomics in China: An overview. *Annals of Botany*, 98(3), 473-482.
- Yau, S. K., Nachit, M. M., Ryan, J. and Hamblin, J. (1995). Phenotypic variation in boron-toxicity tolerance at seedling stage in durum wheat (*Triticum durum* L.). *Euphytica*, 83(3), 185-191.

- Xu, W., Wang, P., Yuan, L., Chen, X. and Hu, X. (2021). Effects of application methods of boron on tomato growth, fruit quality and flavor. *Horticulturae*, 7(8), 1-12.
- Yazbeck, C., Kloppmann, W., Cottier, R., Sahuquillo, J., Debotte, G. and Huel, G. (2005). Health impact evaluation of boron in drinking water: A geographical risk assessment in Northern France. *Environmental Geochemistry and Health*, 27(5), 419-427.
- Yüksel, F., Koyuncu, M. ve Sayaslan, A. (2011). Makarnalık buğday (*Triticum durum*) kalitesi. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 2, 5-31.
- Zhang, H. L., Graziani, M. and Pradhan, A. K. (1994). Atomic data from the IRON project. 3: Rate coefficients for electron impact excitation of boron-like ions: Ne VI, Mg VIII, Al IX, Si X, S XII, Ar XIV, Ca XVI and Fe XXII. *Astronomy and Astrophysics*, 283, 319-330.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı-Soyadı : Filiz LAÇİN

Eğitim Derecesi

Okul/Program

Mezuniyet Yılı

Lisans

Amasya Üniversitesi

2017

Yüksek Lisans

Amasya Üniversitesi

Devam ediyor

Yabancı Dili

İngilice

Bilimsel Faaliyetler (Yayınlar, Bildiriler, Katıldığı Projeler)

1. Laçin, F., Öztürk, İ. (2022). Bor Uygulamasının Makarnalık Buğday (*Triticum durum* L.) Bitkisinin Yaprak Anatomik Yapısı Üzerine Etkileri. 9th International Conference on Applied Sciences, June 11-12, Oral Presentation, Abstract Book, Page: 29, Diyarbakır, Türkiye.