T.C.
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

CUCURBİTACEAE FAMİLYASI TÜRLERİNDE BOR TOKSİSİTESİNE SİLİSYUMUN ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÖMER ERSOY

Tez Danışmanı
DR. ÖĞR. ÜYESİ YAKUP ÇIKILI

ÇANAKKALE – 2023

T.C.
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

CUCURBİTACEAE FAMİLYASI TÜRLERİNDE BOR TOKSİSİTESİNE SİLİSYUMUN ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÖMER ERSOY

Tez Danışmanı
DR. ÖĞR. ÜYESİ YAKUP ÇIKILI

ÇANAKKALE – 2023

ETİK BEYAN

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kuralları'na uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; 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 çalışmasında 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 taahhüt ve beyan ederim.

Ömer ERSOY
24 / 08 / 2023

TEŞEKKÜR

Bu tezin konusunun belirlenmesinden, gerçekleşmesi ve sonuçlanmasına kadar çalışmamın her aşamasında kararlılık ile yardımlarını benden bir an olsun esirgemeyen, sabırla bilgi ve deneyimlerini aktaran saygı değer danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Yakup ÇIKILI'ya teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca yardımları ve desteklerini bir an olsun eksik etmeyen Yılmaz UZUN'a ve bana bu süreçte yardımları dokunan Muhammet İkbal GÜMÜŞ, Melek ÇETİN, Neslihan BİRCAN, Rabia Gülşen KARAHAN ve Ömer Tolga EMER'e teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak maddi ve manevi desteklerini bir an olsun esirgemeyen değerli annem Zehra ERSOY, babam Burhanettin ERSOY ve kardeşim Semih ERSOY'a sonsuz teşekkürü bir borç bilirim.

Ömer ERSOY

Çanakkale, Ağustos 2023

ÖZET

CUCURBİTACEAE FAMİLYASI TÜRLERİNDE BOR TOKSİSİTESİNE SİLİSYUMUN ETKİSİ

Ömer ERSOY

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Yakup ÇIKILI

24/08/2023, 77

Bor (B) toksisitesi, dünya çapında ürün verimini ve kalitesini ciddi şekilde düşüren ve tarımsal olarak yönetilmesi çok zor bir sorundur. Silisyum (Si), mutlak gerekli bir element olarak sınıflandırılmasa da, çeşitli türlerde ve çevresel koşullarda yararlı etkileri gösterilmiştir. Bu çalışmada, *Cucurbitaceae* (kabakgiller) familyası türlerinde B toksisitesinin giderilmesinde yetiştirme ortamına uygulanan silisyumun etkisi türlerin bazı agronomik ve fizyolojik parametreleri ile değerlendirilmiştir. Bu amaçla; her türe ait tohumlar perlit ortamına üç tekerrürlü olarak ekilmiş ve (i) kontrol, (ii) B toksisitesi (0.1 mM H_3BO_3) ve (iii) B+Si (0.1 mM H_3BO_3 + 2 mM K_2SiO_3) uygulama çözeltileri eklenmiş besin çözeltileriyle sulanarak 28 gün boyunca yetiştirilmiştir. B-toksik koşullarda Cucurbitaceae türlerinin gövde B konsantrasyonu ve alımı ile gövde/kök oranı artarken, gövde ve kök yaş ve kuru ağırlıkları, bitki boyu, kök uzunluğu, kök hacmi ve fotosentetik pigment (klorofil *a, b, a+b* ve karotenoid) içerikleri azalmıştır. Ayrıca, B toksisitesi acur, kavun ve karpuz türlerinde membran geçirgenliğini artırırken hıyar ve sakız kabakta ise azalmıştır. Gövde kuru ağırlıkları dikkate alınarak bitki gelişimindeki azalmalara göre B toksisitesine dayanıklılık sıralaması; kavun< karpuz< hıyar< balkabağı< acur< sakız kabak olarak saptanmıştır. B-toksik koşullarda B akümülasyonu en yüksek tür olarak sakız kabak bulunurken, bunu acur, hıyar, balkabağı, kavun izlemiş ve B akümülasyonu en düşük tür ise karpuz olarak bulunmuştur. B-toksik koşullara göre B+Si uygulaması ile türlerin ortalama gövde ve kök gelişim parametreleri, karotenoid içeriği, membran geçirgenliği ve B akümülasyonu artmıştır. Bunula birlikte, B+Si uygulaması ile B toksisitesinin bitki gelişimdeki olumsuz etkisinin giderilmesine tür-

lerin tepkileri farklı olmuş ve sırasıyla kavun, karpuz, balkabağında önemli bir iyileşme etkisi belirlenirken acur, hıyar ve sakız kabakta görülen etki önemli düzeyde bulunmamıştır. B-toksik koşullarda kabakgil türlerinde meydana gelen gelişim gerilemesinin Si uygulamalarıyla giderilebileceği ancak türlerin hem B toksisitesine hem de Si uygulamalarına tepkilerinin farklılaştığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Kabakgiller, Bor Toksisitesi, Silisyum, Akümülasyon, Fotosentetik Pigmentler

ABSTRACT

The Effect of Silicon on Boron Toxicity in *Cucurbitaceae* Family Species

Ömer ERSOY

Çanakkale Onsekiz Mart University

School of Graduate Studies

Master of Science Thesis in Soil Science and Plant Nutrition

Advisor: Assist. Prof. Dr. Yakup ÇIKILI

24/08/2023, 77

Boron (B)-toxicity is a difficult problem to manage in agricultural production, severely reducing crop yield and quality worldwide. Although silicon (Si) is not classified as essential nutrient, its beneficial effects have demonstrated in a variety of species and environmental conditions. In this study, the effect of applied Si in growing medium on alleviating of B-toxicity evaluated by some agronomic and physiological parameters in Cucurbitaceae family species. For this purpose; by sowing in perlite medium every species seeds were grown 28-days as three replications by irrigating with nutrient solutions added to treatment solutions: (i) control, (ii) B-toxicity (0.1 mM H_3BO_3) and (iii) B+Si (0.1 mM H_3BO_3 + 2mM K_2SiO_3). Under B-toxic conditions, while shoot B-concentration and B-uptake and shoot/root ratio of species increased, shoot-root fresh and dry weights, plant height, root length, root volume, photosynthetic pigment contents of species decreased. Furthermore, membrane permeability in gherkin, melon and watermelon increased by B-toxicity, while it decreased in cucumber and squash. Ranking of tolerance of B-toxicity considering shoot-dry weights based on reductions in plant growth determined to be melon< watermelon< cucumber< pumpkin< gherkin< squash. In B-toxic conditions, squash was found to be have the highest B accumulation, followed by gherkin, cucumber, pumpkin and melon, and the lowest B accumulation found in watermelon. The average shoot-root growth parameters, carotenoid content, membrane permeability and B-accumulation of species increased under B-toxic conditions with B+Si application. Moreover, responses of species to the attenuation of deleterious effect of B-toxicity on plant development with B+Si application were different, and a significant improvement effect found in melon, watermelon, pumpkin, respectively, while observed effect in gherkin, cucumber and squash wasn't found to be significant.

It was found that growth retardation in Cucurbit species in Btoxic conditions can be alleviated by Si-applications. It was also noticed that responses of species to both B-toxicity and Si-applications have differed.

Keywords: Cucurbits, Boron Toxicity, Silicon, Accumulation, Photosynthetic Pigments

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

JÜRİ ONAY SAYFASI i
ETİK BEYAN ii
TEŞEKKÜR iii
ÖZET iv
ABSTRACT vi
İÇİNDEKİLER viii
SİMGELER VE KISALTMALAR x
TABLOLAR DİZİNİ xii
ŞEKİLLER DİZİNİ xiii

BİRİNCİ BÖLÜM
GİRİŞ 1

İKİNCİ BÖLÜM
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 5

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM
MATERYAL VE YÖNTEM 22

3.1. Materyal 22
3.2. Yöntem 22
3.2.1. Morfolojik Ölçümler 24
3.2.2. Bitki Analizleri 24
3.2.3. İstatistik Analizler 26

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA 27

4.1. Toprak Üstü Aksam Gelişimine Bor Toksisistesi ve Silisyumun Etkisi 27

4.1.1. Gövde Yaş ve Kuru Ağırlığı 27
4.1.2. Bitki Boyu 29
4.2. Kök Parametrelerine Bor Toksisistesi ve Silisyumun Etkisi 31
4.2.1. Kök Yaş ve Kuru Ağırlığı 31
4.2.2. Gövde/Kök Oranı ve Kök Uzunluğu 34
4.2.3. Kök Hacmi ve Kök Membran Geçirgenliği 36
4.3. Fotosentetik Pigment İçeriklerine Bor Toksisitesi ve Silisyumun Etkisi 40
4.3.1. Klorofil *a* ve Klorofil *b* İçeriği 40
4.3.2. Toplam Klorofil İçeriği 42
4.3.3. Karotenoid İçeriği 44
4.4. Bor Konsantrasyonu ve Alımına Bor Toksisitesi ve Silisyumun Etkisi 45
4.4.1. Bor Konsantrasyonu 45
4.4.2. Bor Alımı 47
4.5. Alkali Metal Makro Element (K, Ca, Mg, Na) Konsantrasyonlarına Bor Toksisitesi ve Silisyumun Etkisi 48
4.5.1. Potasyum Konsantrasyonu 48
4.5.2. Kalsiyum Konsantrasyonu 50
4.5.3. Magnezyum Konsantrasyonu 51
4.5.4. Sodyum Konsantrasyonu 53
4.6. Ağır Metal Mikro Element (Fe, Mn, Zn, Cu) Konsantrasyonlarına Bor Toksisitesi ve Silisyumun Etkisi 55
4.6.1. Demir Konsantrasyonu 55
4.6.2. Mangan Konsantrasyonu 56
4.6.3. Çinko Konsantrasyonu 57
4.6.4. Bakır Konsantrasyonu 59

BEŞİNCİ BÖLÜM
SONUÇ VE ÖNERİLER 62

KAYNAKÇA 68
ÖZGEÇMİŞ I

SİMGELER VE KISALTMALAR

B	Bor
Ca	Kalsiyum
Cd	Kadmiyum
Cl	Klor
Cu	Bakır
Fe	Demir
K	Potasyum
Mg	Mangnezyum
N	Azot
Na	Sodyum
O	Oksijen
P	Fosfor
S	Kükürt
Si	Silisyum
Zn	Çinko
$Ca(NO_3).4H_2O$	Kalsiyum nitrat tetra hidrat
$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	Bakır sülfat penta hidrat
$FeSO_4.7H_2O$	Demir sülfat hepta hidrat
H_3BO_3	Borik asit
HCl	Hidroklorik asit
HNO_3	Nitrik asit
H_4SiO_4	Monosilisik asit
KH_2PO_4	Mono potasyum fosfat
KNO_3	Potasyum nitrat
KOH	Potasyum hidroksit
K_2SiO_3	Potasyum silikat
$MgSO_4.7H_2O$	Magnezyum sülfat hepta hidrat
$MnSO_4.H_2O$	Mangan sülfat mono hidrat

$Na_2EDTA \cdot 2H_2O$	Etilen diamin tetra asetik asit di hidrat di sodyum tuzu
Na_2SO_4	Sodyum sülfat
NaCl	Sodyum klorür
$(NH_4)_2Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$	Amonyum molibdat tetra hidrat
$NiCl_2 \cdot 6H_2O$	Nikel klorür hekza hidrat
SiO_2	Silisyum oksit
$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	Çinko sülfat hepta hidrat
EC	Elektriksel iletkenlik
FAO	Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
KA	Kuru ağırlık
MP	Membran geçirgenliği
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
YA	Yaş ağırlık
%	Yüzde oranı
°C	Santigrat derece
cm	Santimetre
cm^3	Santimetre küp
g	Gram
kg	Kilogram
L	Litre
mm	Milimetre
mM	Milimolar
mL	Mililitre
ppm	Milyonda bir birim
µg	Mikrogram
µM	Mikromolar

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo No	Tablo Adı	Sayfa No
Tablo 1	Türkiye'de kabakgiller familyası türlerinin ekim alanları ve üretim miktarları (TÜİK, 2022)	1
Tablo 2	Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin gövde yaş ve kuru ağırlıkları ve bitki boylarına silisyumun etkisine ait varyans analiz sonuçları	27
Tablo 3	Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin kök yaş ve kuru ağırlıklarına silisyumun etkisine ait varyans analiz sonuçları	32
Tablo 4	Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin kök/gövde oranı ve kök uzunluklarına silisyumun etkisine ait varyans analiz sonuçları	34
Tablo 5	Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin kök hacmi ve gövde/kök oranına silisyumun etkisine ait varyans analiz sonuçları	37
Tablo 6	Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin klorfil *a* ve klorofil *b* içeriklerine silisyumun etkisine ait varyans analiz sonuçları	40
Tablo 7	Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin klorofil *a+b* ve karotenoid içeriklerine silisyumun etkisine ait varyans analiz sonuçları	43
Tablo 8	Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin toprak üstü aksam B konsantrasyonları ve B alımlarına silisyumun etkisine ait varyans analiz sonuçları	46
Tablo 9	Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin toprak üstü aksam K ve Ca konsantrasyonlarına silisyumun etkisine ait varyans analiz sonuçları	49
Tablo 10	Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin toplam Mg ve Na konsantrasyonlarına silisyumun etkisine ait varyans analiz sonuçları	52
Tablo 11	Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin toprak üstü aksam Fe ve Mn konsantrasyonlarına silisyumun etkisine ait varyans analiz sonuçları	55
Tablo 12	Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin toprak üstü aksam Zn ve Cu konsantrasyonlarına silisyumun etkisine ait varyans analiz sonuçları	58

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Şekil Adı	Sayfa No
Şekil 1	Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin gövde yaş ağırlıklarına silisyumun etkisi	28
Şekil 2	Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin gövde kuru ağırlıklarına silisyumun etkisi	29
Şekil 3	Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin bitki boyuna silisyumun etkisi	30
Şekil 4	Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin kök yaş ağırlıklarına silisyumun etkisi	32
Şekil 5	Bor toksisitesinden etkilenmiş Cucurbitaceae familyası türlerinin kök kuru ağırlıklarına silisyumun etkisi.	33
Şekil 6	Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin gövde/kök oranlarına silisyumun etkisi	35
Şekil 7	Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin kök uzunluklarına silisyumun etkisi	36
Şekil 8	Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin kök hacimlerine silisyumun etkisi	37
Şekil 9	Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin kök membran geçirgenliklerine silisyumun etkisi	39
Şekil 10	Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin klorofil a içeriklerine silisyumun etkisi	41
Şekil 11	Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin klorofil *b* içeriklerine silisyumun etkisi	42
Şekil 12	Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin klorofil *a+b* içeriklerine silisyumun etkisi	43
Şekil 13	Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin karotenoid içeriklerine silisyumun etkisi	45
Şekil 14	Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin toprak üstü aksam B konsantrasyonlarına silisyumun etkisi	46
Şekil 15	Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin toprak üstü aksam B alımlarına silisyumun etkisi	48
Şekil 16	Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin toprak üstü aksam K konsantrasyonlarına silisyumun etkisi	50
Şekil 17	Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin toprak üstü aksam Ca konsantrasyonlarına silisyumun etkisi	51
Şekil 18	Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin toprak üstü aksam Mg konsantrasyonlarına silisyumun etkisi	53

Şekil 19 Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin toprak üstü aksam Na konsantrasyonlarına silisyumun etkisi 54

Şekil 20 Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin toprak üstü aksam Fe konsantrasyonlarına silisyumun etkisi.....56

Şekil 21 Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin toprak üstü aksam Mn konsantrasyonlarına silisyumun etkisi 57

Şekil 22 Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin toprak üstü aksam Zn konsantrasyonlarına silisyumun etkisi 59

Şekil 23 Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin toprak üstü aksam Cu konsantrasyonlarına silisyumun etkisi 60

BİRİNCİ BÖLÜM
GİRİŞ

Cucurbitaceae (Cucurbits, kabakgiller); karpuz, hıyar, kavun ve kabak gibi dünyada ve ülkemizde yetiştiriciliği yaygın olarak yapılan sebzelerin bulunduğu önemli bir familyadır. Dünya 2021 yılı yaş sebze ve meyve üretimi dikkate alındığında; karpuz (101 milyon ton), hıyar ve acur (94 milyon ton), balkabağı ve sakız kabak (24 milyon ton) en fazla üretilen sebze ve meyveler arasında yer alır (FAO, 2021). *Cucurbitaceae* familyasına ait bitkilerin yetiştiriciliği, ekolojik koşulların uygun olması sebebiyle ülkemizde de yaygın olarak yapılmaktadır. Türkiye yaş sebze üretiminde Çin, Hindistan ve Amerika Birleşik Devletleri'nden sonra dördüncü sırada yer almaktadır (Anonim, 2016). Türkiye'de 2022 yılında *Cucurbitaceae* familyası türlerinden bazılarının yaklaşık üretim rakamları ise; karpuz 3.4 milyon ton, hıyar 1.9 milyon ton, kavun 1.6 milyon ton, sakız kabak 590 bin ton, balkabağı 61 bin ton ve acur 39 bin ton düzeyindedir. (TÜİK, 2022). Bu familyaya ait türlerin tüketilen meyveleri insan ve hayvan beslenmesinde, ilaç ve kozmetik ürünleri üretiminde ve gıdaların aromalandırılmasında, ayırca tohumları çerezlik olarak kullanılmaktadır (Yanmaz ve Düzeltir, 2004). *Cucurbitaceae* familyasına ait 119 cins ve 825 tür bulunmaktadır (Jeffrey, 2005). Karpuz, hıyar, kavun ve kabak ülkemizde sebze yetiştiriciliğinde öne çıkan türler arasındadır. Ülkemizde en çok yetiştirilen *Cucurbitacea* familyası türlerinin (karpuz, hıyar, kavun, sakız kabak, balkabağı ve acur) son 15 yıla ait ekim alanı ve üretim miktarlarına ait veriler Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1

Türkiye'de kabakgiller familyası türlerinin ekim alanları ve üretim miktarları (TÜİK, 2022)

Türler	Yıllar									
	2005	2010	2015	2020	2022	2005	2010	2015	2020	2022
	Ekim alanı (10^3 da)					Üretim (10^3 ton)				
Karpuz	1165	957	935	740	690	3970	3683	3919	3492	3395
Hıyar	462	395	378	338	354	1745	1739	1823	1886	1939
Kavun	925	796	791	691	627	1825	1612	1720	1725	1587
Sakız kabak	108	101	92	100	104	294	314	313	547	590
Balkabağı	44	40	41	37	34	74	89	95	94	93
Kabak (çerezlik)	173	373	615	764	780	12	27	42	57	61
Acur	13	15	18	24	24	24	26	33	41	39

Bitkiler için mutlak gerekli besin elementi olan bor (B), mikro besin elementi olmasına rağmen bitki yapısında çok önemli rol oynamaktadır. Ancak, borun bitkideki işlevleri üzerinde pek çok araştırma yapılmış olmasına rağmen bitki bünyesindeki fonksiyonları tam olarak anlaşılmış değildir. Parr ve Loughman (1983)'e göre B bitkilerde şekerlerin taşınmasında, hücre duvarı sentezinde, lignifikasyon olgusunda, hücre duvarı strüktürünün oluşumunda, karbonhidrat metabolizmasında, ribo nükleik asit metabolizmasında, solunumda, indol asetik asit metabolizmasında, fenol metabolizmasında, biyolojik membranların yapısal ve fonksiyonel özellikleri üzerinde önemli ve belirgin işlevlere sahiptir (Lukaszewski ve Blevins, 1996). Fakat her besin elementi gibi B'un da bitki bünyesine fazla alınımı fitotoksisiteye neden olmaktadır. Bor toksisitesi, yüksek B içeren yeraltı sularının üst topraklarda biriktiği kurak ve yarı kurak alanlarda görülebildiği gibi, B ile ilgili madencilik ve işleme, gübreleme, sulama gibi faaliyetlerde topraklarda B fazlalığına neden olabilir (Hua vd., 2020). Bor toksisitesi bitkide kloroz ve nekroz belirtilerine, kök büyümesinin kısıtlar ve su alınımının azalmasına sebep olur ve bununla birlikte bazı duyarlı bitki türlerinde ölümlere kadar gidebilir (Aquea vd., 2012).

Ülkemiz dünya B rezervinin %72'sini oluşturması ve yine dünya B işleme hacminin %42'sinin Türkiye'de olması sebebiyle maden çıkarma ve işleme çalışmaları oldukça yoğundur (Tombal vd., 2016). Bu sebeple; Eskişehir-Kırka, Kütahya-Emet, Bursa-Kestel ve Balıkesir-Bigadiç gibi maden işletmeciliği yapılan bölgelerimizde B toksisitesi oldukça yoğun olarak görülür. Ayrıca, Toprak, Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü ve Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü tarafından birlikte hazırlanan "Türkiye Toprakları Bor Haritası" (Anonim, 2010) incelendiğinde; topraklarımızın %19.4'ü fazla (2-5 ppm B) ve %3.3'ü çok fazla (5>ppm) B içerikli olarak sınıflandırılmış ve toplamda ülkemiz topraklarının %22.7'sinde B toksisitesi ile karşılaşılabileceği görülecektir. Bahsi geçen B-toksik alanlarda, bitki üretimde verim kaybının görülmesi ihtimalide oldukça yüksektir.

Silisyum (Si), toprakta en çok bulunan ikinci elementtir. Silisyumun konsantrasyonu toprak çözeltisinde 0.1 - 0.6 mM arasında değişmekte ve monosilisik asit (H_4SiO_4) formunda bulunmaktadır (Ma ve Takahashi, 2002). Silisyum bitki kökleriyle monosilisilik asit ve pH'sı yüksek ortamlarda (alkalin) ise hidroksil (OH^-) ve bikorbonat (HCO_3^-) iyonlarıyla değişim yoluyla trihidrojen ortosilikat ($H_3SiO_4^-$) iyonu şeklinde alınır (Ma, 2004). Silisyum bitkide de H_4SiO_4 şeklinde ksilem özsuyunda bulunmakta ve bitkide hareketsiz (immobil)

olduğu için transpirasyon yoluyla bitkinin üst yapraklarına taşınmaktadır (Liang vd., 2005). Alınan silisyum yaprak kütikula tabakası altında birikerek yaprakların daha dik durmasını sağlamakta, transpirasyonu iyileştirmekte ve fotosentetik aktiviteyi artırmaktadır (Liang vd., 2007). Ayrıca, bitki sapının stabilitesini güçlendirerek yatmaya karşı bitkinin direncini ve fide dikimi sonrası kardeşlenme sayısını artırmaktadır (Liang vd., 2007). Fakat çeltik gibi silisyum akümüle eden bazı bitkilerin toprak çözeltisinde bulunan silisyumu, silisyuma özel taşıyıcı proteinleri sayesinde aktif olarak alabildiği bildirilmektedir (Takahashi, 1995).

Silisyum, mutlak gerekli besin elementi olmamasına rağmen bitkilerin içerdikleri Si diğer makro elementlerle (N, P, Ca vd.) ile karşılaştırıldığında bunlara yakın veya daha fazla olduğu bilinmekte ve ayrıca, *Gramineae* familyası içerisinde çeltik en fazla Si akümüle eden bitkidir ve sapında %10-15 arasında Si içermektedir (Horuz, 2018). Bitki türleri tarafından alınan Si miktarının çok farklılık gösterebildiği ve *Gramineae* familyası bitkilerinin (%2 SiO_2) ortalama Si kapsamlarının baklagillere (0.2 SiO_2) ve diğer çift çenekli bitkilere göre 10 kat daha fazla olduğu açıklanmıştır (Horuz, 2018). Aynı zamanda, bitkilerin çiçekli kısımları vejetatif organlarına göre daha fazla Si içerdikleri ve köklerin toprak üstü kısımlara göre 10 kat daha fazla Si içerdiği de rapor edilmiştir (Horuz, 2018). Fonksiyonel bir element olarak Si bitkide birçok yararlı işlevi sahiptir ve bitkileri abiyotik ve biyotik stres şartlarına karşı korumak suretiyle etkisini göstermektedir. Örneğin; tuzluluk (Al-aghabary vd., 2005; Haghighi ve Pessarakli, 2013) ve kuraklık (Cao vd., 2020) gibi abiyotik stres koşullarında bitkide ortaya çıkan olumsuzluklara karşı dayanıklılık sağlar. Silisyum yüksüz silisik asit $Si(OH)_4$ formunda bitkiler tarafından alınır ve bitkide amorf silika olarak tekrardan çözünemez şekilde çökelir ve bu sayede tuzların sürgünlere translokasyonunu azalttığı açıklanmıştır (Soylemezoglu vd., 2009). Aynı zamanda silisyum toprakta B-Si (bor-silikat) komplekslerinin oluşumuyla B'nin kullanılabilirliğini azaltır ve toprakta bitkiler tarafından alınabilir B'yi azaltarak toksik seviyelere çıkmasını engellemiş olur (Ma, 2004). Bor stresi kaynaklı bitki gelişimindeki olumsuzların giderilmesi/hafifletilmesine Si uygulamasının etkileri farklı tür bitkiler üzerinde yapılan çalışmalarda, örneğin; üzüm (Soylemezoglu vd., 2009), arpa (Inal vd., 2009), domates (Kaya vd., 2011), buğday (Liu vd., 2017), pamuk (Pereira de Souza Junior vd., 2019) ve bezelye (Oliveira, 2019) bitkilerinde Si'in stresin etkilerini hafifletilmesine dair sonuçlar ortaya konulmuştur. Bu sebeple, ülkemizde yaygın olarak yetiştiriciliği yapılan *Cucurbitaceae* familyası türlerinin bazı agronomik, morfolojik, fizyolojik ve beslenme özelliklerine B toksisitesi koşullarında Si uygulamasının etkilerinin tespit edilmesi

hem tarımsal hem de ekonomik açıdan büyük önem arz etmektedir. Ayrıca, tamamlanan tez çalışmasından elde edilen verilerin değerlendirilmesi ile tarımsal alanların B durumuna göre yetiştiriciliği yapılacak bitkilerin tür ve/veya çeşitlerin seçimine, konu edilen sebze türlerinde çeşit ıslah çalışmalarına ve makro besin (N, P, K, Ca) elementlerinin yanında bitki gelişimini teşvik edici ve/veya gelişim bozukluklarında düzenleyici olabilecek Si gübrelenmesinin konvansiyonel gübreleme programlarına dâhil edilmesine katkı sunacak bilgilerin ortaya çıkması sağlanacaktır.

İKİNCİ BÖLÜM
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Dünyanın en zengin B yataklarına sahip olan ülkemiz topraklarında ve sulama sularında B fazlalığı görülmektedir ve bu yüzden yetişen bitkilerde B toksisitesine rastlanmaktadır (Harite, 2008). Bor toksisitesi, düşük yağış ve çok az yıkanma koşullarıyla birlikte alkali ve tuzlu topraklarla, B-zengin topraklar ve aşırı gübreleme yapılan topraklar ve/veya yüksek düzeyde B içeren sulama sularının kullanıldığı Avustralya, Kuzey Afrika ve Batı Asya'nın tarımsal alanlarındaki mahsul verimini önemli ölçüde sınırlayan dünya çapında bir sorundur (Nable vd., 1997). Bu sebeple, dünyanın farklı bölgelerinde bitkisel üretimi kısıtlayan önemli etmenlerden biri olan B toksisitesi ile ilgili olarak yapılmış çalışmalar ve bunlardan güncel olan bazı araştırma sonuçları aşağıda özetlenmiştir.

Alpaslan ve Gunes (2001) tarafından sodyum klorür (NaCl) (hıyar için 0 ve 30 mM ve domates için 0 ve 40 mM) ve borun (0, 5, 10 ve 20 mg kg^{-1} toprak) farklı dozlarının tuza dayanıklı domates (*Lycopersicon esculentum*) ve hıyar (*Cucumis sativus* L. cv. Santana F1) bitkilerine uyguladıkları bir çalışmada; her iki bitkide de 5 mg kg^{-1} B uygulamasında B toksisitesi belirtilerinin ortaya çıktığını, artan B konsantrasyonları ile bitkilerin kuru ağırlıklarında azalmalara neden olduğunu, domates bitkilerinde B toksisitesi belirtilerinin 5 mg kg^{-1} B uygulamasında ortaya çıktığını ve yüksek B (10 ve 20 mg kg^{-1}) uygulamalarında daha şiddetli olduğunu, hıyar bitkilerinin en yüksek B düzeyi (20 mg kg^{-1}) uygulamasında hayatta kalamadığını, toksisite belirtilerinin ilk olarak bitkilerin yaşlı yapraklarının uçlarında ve yaprak kenarlarında nekrotik lekeler olarak ortaya çıktığını bildirmişlerdir.

Supanjani ve Lee (2006) tarafından NaCl stresi (3 ve 6 dS m^{-1}) ve B stresi (15 ve 30 mg kg^{-1}) altında yetiştirilen acı biberin (*Capsicum annuum* L.) fizyolojik tepkileri ve savunma mekanizmalarını araştırmak amacıyla yapılan çalışmada; artan tuzluluk ve B seviyeleri ile kuru ağırlık ve toplam klorofil içeriğinin azaldığı, B'un toksik etkisinin tuzlu koşullar altında arttığı, yüksek tuzluluk ve B seviyelerinin yapraklarda B konsantrasyonlarını artırdığı, tuzluluk ve B'un kombine seviyeleri arttıkça stoma direnci değerlerinin arttığı, tuzluluk, B veya her ikisinin kombinasyonlarının artan düzeylerinin oksidatif stresi artıran hidrojen peroksit (H_2O_2), süperoksit dismütaz (SOD), peroksidaz (POX), glutasyon redüktaz (GR) ve

askorbat peroksidaz (APX) aktivitelerini artırdığı, kombine tuzluluk ve B seviyelerindeki artışların bitki besin dengesini ve su kullanımını olumsuz etkilediği, ikincil toksik maddelerin üretimini artırdığı ve bu da bitki dokularında H_2O_2 konsantrasyonunun artışına sebep olduğu ve acı biberde büyümeyi baskıladığı bildirilmiştir.

Eraslan vd. (2007a) tarafından marul (*Lactuca sativa* L. cv. Olenka) bitkisinde tuzluluk (NaCl) ve B toksisitesinin büyümedeki tekil ve birleşik etkilerini incelemek amacıyla yapılan çalışmada; B toksisitesi ve tuzluluğun marul bitkisinin bitki gelişimini azalttığı, B toksisitesi altında bitkilerin B konsantrasyonunun arttığı ancak NaCl varlığında B konsantrasyonunun azaldığı, NaCl ve B+NaCl uygulamalarında sodyum (Na) ve klor (Cl) konsantrasyonlarının arttığı, membran hasarının daha belirgin olduğu, tuzluluk uygulamaları ile bitkilerin stoma direncinin arttığı, prolin ve askorbik asit birikiminin B+NaCl uygulamasında en yüksek seviyeye ulaştığı, stres koşullarında H_2O_2 ve antioksidan enzim aktivitelerinin arttığı, NaCl ve B+NaCl streslerine bağlı olarak stoma kapanmasının önemli bir tepkisi olduğu ve oksidatif stres, lipid peroksidasyon ve membran hasarının ortaya çıktığı ve sonuç olarak B ve NaCl tarafından tetiklenmiş oksidatif stresin üstesinden gelmek için artan antioksidan enzim aktiviteleri, askorbik asit ve prolin birikiminin önemli ölçüde rol aldığı bildirilmiştir.

Eraslan vd. (2007b) tarafından domates ve biber bitkisinde artan B düzeylerinin (0, 0.5, 5 ve 50 mg kg^{-1}) bitki gelişimi, prolin birikimi, membran geçirgenliği (MP), nitrat redüktaz (NR) aktivitesi ve mineral besin etkileşimlerine etkileri araştırılan çalışmada; artan B seviyelerinin bitki bünyesindeki B içeriğini arttığını, B toksisitesi semptomlarının 5 ve 50 mg kg^{-1} seviyelerinde meydana geldiğini, 50 mg kg^{-1} B uygulaması ile bitkilerin yaş ve kuru ağırlıklarının azaldığını, membran geçirgenliği ve prolin birikiminin arttığını, domates bitkilerinin nitrat redüktaz aktivitesinin arttığını, artan B seviyeleri ile biberde potasyum (K), kalsiyum (Ca) ve domateste magnezyum (Mg) dışında B uygulamaları domates ve biberin besin konsantrasyonlarını etkilediğini, uygulanan en yüksek B oranı domateste kükürt (S) ve Ca dışında N, P ve K konsantrasyonlarını ve biberin N, P, Mg ve S konsantrasyonlarını artırdığı bildirilmiştir.

Aftab vd. (2010), pelin otu (*Artemisia annua*) bitkisinde artan B (0, 0.5, 1.0, 1.5 ve 2.0 mM) seviyelerinin oksidatif stres, antioksidan savunma sistemi ve bitki içeriğindeki değişikliklere etkisini araştırmak amacıyla yaptıkları çalışmada; B toksisitesinin bitki boyu, yaş ve kuru ağırlılarını azalttığını, oksidatif stresi tetikleyerek daha düşük net fotosentetik

oran, stoma iletkenliği, dâhili karbondioksit (CO_2) ve toplam klorofil içeriğinde azalmaya neden olduğunu, artan B seviyelerinin katalaz (CAT), POX ve SOD gibi antioksidan enzimlerin aktivitesini arttığını, 1.0 mM B seviyesinin kadar H_2O_2 içeriğinin arttığını ve daha sonra azaldığını ve elde edilen verilere göre *A. annua*'nın üretimi için hafif bir B stresinin kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

Wang vd. (2010), hıyar (*Cucumis sativus*) bitkisinde B (5 mM) toksisitesine hidrojen sülfitin (H_2S) etkilerinin araştırdıkları bir çalışmada; yüksek B konsantrasyonunlarının hıyarın kök uzamasını azalttığını ve kök B konsantrasyonunu arttırdığını, hıyar fidelerinin yüksek B konsantrasyonuna maruz kalması üzerine haricen aktarılan genlerin (CsExp1 ve CsExp2) transkriptlerinde artışlar olduğunu, CsExp1 ve CsExp2'nin yukarı regülasyonu, genişlemeye bağlı hücre duvarı gevşemesine neden olduğunu, böylece yüksek B konsantrasyonu tarafından indüklenen kök uzamasının gözlenen inhibisyonuna katkıda bulunduğunu, B toksisitesinin hem CsPME'lerin hem de CsExps'in kök uzamasını engellediğini bildirmişlerdir.

Keleş vd. (2011) tarafından yüksek B konsantrasyonlarının (0, 20, 40 ve 60 µg B g^{-1}), B-tolerant ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) ve B- duyarlı domates (*Lycopersicon esculentum* Miller) bitkilerinin büyümesi ve antioksidan enzim aktivitelerine etkisinin araştırıldığı çalışmada; domates bitkisinin 112-475 µg g^{-1} B ve ayçiçeği bitkisinin ise 203-995 µg g^{-1} B konsantrasyonuna sahip oldukları, ayçiçeğinde kök uzunluğu değişmezken domateste kontrole göre %38 düzeyinde azaldığı, 60 µg g^{-1} B uygulamasında gövde uzunluğu ayçiçeğinde %28 ve domateste %43 düzeyinde azaldığı, domates yapraklarında GR ve SOD aktivitesinin arttığı ancak CAT aktivitesinin daha yüksek B konsantrasyonları ile azaldığı, ayçiçeği yapraklarında üç enzimin aktivitesinin arttığı ancak CAT ve GR aktivitesinin <40 µg g^{-1} B uygulamasında azalmaya başladığı, yüksek B konsantrasyonlarının bitkilerin antioksidan enzim aktivitesine önemli bir etkiye sahip olduğu ve bununla birlikte antioksidan savunmasının gücü, gelişim azalması gibi B toksisite belirtilerini de tamamen ortadan kaldırmak için yeterli olmadığı bildirilmiştir.

Hasnain vd. (2011) tarafından üç maş fasulyesinin (*Vigna radiata* cvs. M-6, M-8 ve 96009) çimlenme ve fide aşamasında B-toleransı/toksisitesi için fenotipik varyasyon ile kritik B düzeylerinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmada; borik asit kullanılarak 0-20 ppm arasında değişen B seviyeleri uygulandığı, çimlenme, büyüme ve fotosentetik özellikler, değişen B seviyelerinden önemli ölçüde etkilendiği, bununla birlikte çeşitlerin çimlenme, fide

boyu ve yaprak sayısı açısından önemli ölçüde değişmediği, beslenme açısından 5-10 ppm B seviyeleri kritik görünürken, 15-20 ppm seviyelerinin B toksisitesine sebep olduğu, toksisitenin bitki gelişiminin azalmasının yanı sıra yapraklarda kloroz ve nekrozu içeren belirtiler oluşturduğu, aynı zamanda çeşitlerde fide aşamasında B toleransında farklılıklar olduğu ve M-6 ve M-8 çeşitleri 96009 ile karşılaştırıldığında daha iyi gelişim sergilediği rapor edilmiştir.

Palta ve Gezgin (2011) tarafından artan düzeylerde B (0, 0.625, 1.25, 2.5, 5, 10 ve 40 mg kg^{-1} H_3BO_3) uygulaması yapılarak 13 atdişi melez mısır çeşidinin B toksisitesine duyarlılıklarının bitkilerin B konsantrasyonları ve içerikleri ile kuru ağırlıkları arasındaki ilişkiler değerlendirmek suretiyle araştırıldığı çalışmada; DK-647 ve TTM-8119 çeşitlerinin B toksisitesine hassas, T-1595, LG-60, LG- 55, DK-585 ve Plave çeşitlerinin yarı hassas, BC-566, Luce, MAT-97 ve TTM-815 çeşitlerinin toleranslı ve P-3394 ve RX770 çeşitlerinin ise dayanıklı olarak belirlendiği ve genel olarak B toksisitesine duyarlılığı düşük olan çeşitlerin yüksek olan çeşitlere göre daha fazla B içerdiklerinin saptandığı belirtilmiştir.

Cervilla vd. (2012) tarafından B toksisitesine farklı duyarlılığa sahip iki domates genotipinin (*Lycopersicon esculentum* cv. Kosaco ve cv. Josefina) yapraklarında B toksisitesinin (0.5 ve 2 mM B) farklı abiyotik stres göstergelerinin süreci nasıl etkilediği ile ilgili yapılan çalışmada; B toksisitesi uygulamasıyla domates bitkilerinin biyokütle ve yaprak alanında azalma olduğu, her iki çeşidin yapraklarında da B konsantrasyonu denemenin ilk gününden itibaren hızla arttığı, Josefina genotipinde bu artışın daha fazla olduğu ve Kosaco genotipine göre daha fazla duyarlılık gösterdiği, süperoksit ($O_2^{\bullet-}$) radikali ve antosiyanin seviyelerinin yapraktaki B seviyeleri ile yüksek kolerasyon katsayılarına ($r>0.9$) sahip olduğunu ve bunu glutasyon peroksidaz (GPx), klorofil *b* ve prolin ($r>0.8$) gibi diğer stres göstergelerinin takip ettiği ve bu parametrelerin stres düzeyini değerlendirmek yanında domateste B toksisitesinin neden olduğu hasarı önlemeye yardımcı olabilecek modeller geliştirmek için kullanılabileceği bildirilmiştir.

Karaman vd. (2012) tarafından borik asit (H_3BO_3) formunda B [0 (–B), 30 mg B kg^{-1} (+B)] uygulamalarının *Triticum aestivum* ve *T. durum*'a ait 20 farklı buğday genotipine agronomik ve fizyolojik etkilerini incelemek amacıyla kalkerli Usthochrepts toprak ile saksı denemesi olarak yürütülen çalışmada; bitki kuru madde verimi ve buğday bitkisinin tepe

kısmındaki toplam B konsantrasyonları belirlenmiş ve buğday genotipleri arasında B toksisitesine fizyolojik ve agronomik duyarlılık açısından büyük bir genotipik çeşitlilik olduğu bildirilmiştir.

Metwally vd. (2012) tarafından beş buğday çeşidinin (Gemmeza 7, Gemmeza 9, Giza 168, Sakha 93 ve Seds 1) B toksisitesine (0.5, 1, 2, 3, 6 mg kg^{-1}) farklı tepkilerini incelemek amacıyla 10 gün süreyle ve besin çözeltisi ortamında yapılan çalışmada; artan B konsantrasyonu ile buğday çeşitlerinin yaş ve kuru ağırlıklarının azaldığı, pigment fraksiyonlarının biyosentezini önemli şekilde azaltığı, B'nin bazı metabolik tepkiler üzerindeki olumsuz etkilerinin prolin, H_2O_2 ve malondialdehit oluşumunu azaltığı, bazı çeşitler B stresinden ciddi şekilde etkilenirken bazılarında sadece daha yüksek B konsantrasyonlarında orta derecede bir hasar gördüğü, Sakha 93 çeşidinin B stresine karşı en düşük hassasiyeti gösterdiği ve Gemmeza 9 çeşidinin ise en hassas çeşit olduğu bildirilmiştir.

Akoğlu (2013) tarafından dört fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) genotipine 10 ve 20 gün süreyle uygulanan B [0 (kontrol), 8, 16 ve 24 ppm H_3BO_3] toksisitesinin fasulye genotiplerinin toleranslarının morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal açıdan incelemek amacıyla yapılan çalışmada; 10 ve 20 gün süreyle uygulanan B toksisitesinin yaprak ve köklerin yaş ve kuru ağırlıkları, yaprak alanları, yaprak oransal su kaybı ve toplam klorofil miktarlarının azaldığı, turgor kaybının ise arttığını, her iki dönemde de artan B konsantrasyonuna paralel olarak APX ve GR aktivitelerinin arttığı ve CAT aktivitesinin ise azaldığı, yapraklardaki enzim aktivitesinin köklerden daha fazla olduğu ve bitki bünyesinde B birikiminin artan B konsantrasyonları ile arttığı, yapraklarda B birikiminin köklerden daha fazla olduğunu, sonuç olarak mevcut genotipler arasında Şeker fasulye genotipinin B toksisitesine göreceli olarak tolerant olduğu ve yerel genotipin ise nispeten daha hassas olduğu açıklanmıştır.

Brdar-Jokanović vd. (2013) tarafından 40 buğday (*Triticum aestivum* L.) genotipinde üç düzeyde B uygulamasının (50, 100 ve 150 mg L^{-1} H_3BO_3) B konsantrasyonu, B içeriği ve fazla B toleransı arasındaki ilişkileri araştırmak amacıyla yapılan çalışmada; buğday genotipleri arasında B toleransı, B konsantrasyonu ve B içeriğinde önemli farklılıklar bulunmasına rağmen regresyon analizinin B konsantrasyonu ile ne kök uzunluğu azalması ne de kuru ağırlık azalması arasında bir ilişki göstermediği, B toleranslı buğday genotiplerinin hassas olanlara göre daha yüksek B içeriği ile karakterize edildiği, hassas genotiplerde B dahil tüm

besin maddelerinin alımının azalmasının genotiplerin kök uzunlukları ve kuru ağırlıklarında önemli azalmalara sebep olduğu, toleranslı genotiplerin ise kök uzunlukları ve kuru ağırlıklarının B uygulamalarından daha az etkilendiği ve daha yüksek miktarlarda B alımına izin verdiği açıklanmıştır.

Kaptan (2013), farklı B içeriklerine sahip sulama suyu (0.6, 1.8, 5.4 ve 16.2 mg L^{-1}) ve humik maddenin (0-20-40 kg da^{-1}) pamuk bitkisinin (*Gossypium hirsutum* L.) gelişimi, besin elementi içerikleri, verim ve verim unsurları, lif kalite özellikleri, toprağın besin elementi dengesi ve pamuğun fitoremediasyonda kullanılabilme potansiyelini belirlemek amacıyla yaptığı iki yıllık çalışmada; artan miktarlarda B uygulamalarının toprak yarayışlı B içeriğinin toksik seviyeye ulaşmasına ve bitkide B toksisite belirtilerinin oluşmasına neden olduğunu, sulama suyunda B toksisite sınırının pamuk bitkisi için 1.8-5.4 mg B L^{-1} arasında kaldığını, gözlemi yapılan tüm parametrelerde B toksisitesinin etkisinin ikinci yılda daha şiddetli olduğunu, 0.6 mg B L^{-1}'a göre 16.2 mg B L^{-1} uygulaması ile ilk yıl kütlü pamuk verimi %13.75 ve ikinci yılda ise %73.32 oranında azaldığını, 0.6 mg B L^{-1}'a göre 16.2 mg B L^{-1} uygulaması ile bitki B içeriğinin ilk yıl %468 ve ikinci yıl ise %1152 oranında artığını, bitkide B birikiminin özellikle yaprakta ve generatif organlarda olduğunu, en yüksek bitki B içeriğinin ilk yıl 1020 mg B L^{-1} ve ikinci yıl ise 2048 mg B L^{-1} ile 16.2 mg B L^{-1} uygulamasında elde edildiğini, iki yıllık çalışma sonucunda pamuk fitoremediasyon kapasitesinin ortalama 0.23 kg B da^{-1} ve fitoremediasyon potansiyelinin ortalama 1/57 olduğunu, ikinci yıl pamuk fitoremediasyon kapasitesinin ilk yıla göre arttığını ancak B toksisitesi şiddetlendikçe azaldığını açıklamıştır.

Samet vd. (2013) tarafından sera ortamında ve doğal ışık koşullarında potasyum sülfat (K_2SO_4) olarak uygulanan üç K (0, 200 ve 400 mg kg^{-1}) seviyesinin ve H_3BO_3 olarak uygulanan dört B (0, 5, 10 ve 20 mg kg^{-1}) seviyesinin karşılıklı etkilerinin fasulyenin (*Phaseolus vulgaris* L.) bitkisinin gövde ve kök gelişimi ile bazı makro ve mikro besin içerikleri üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla yapılan bir çalışmada; tüm uygulamalarda toprak üstü aksam ve kök kuru ağırlıklarının artan B düzeylerinden olumsuz etkilendiği, P, Fe, Zn, Cu ve Na içeriklerinin hem B hem de K uygulamalarında artış gösterdiği, Ca içeriklerinin K ve B'nin en yüksek seviyelerinde azalma gösterdiği ve Zn içeriklerinin ise B'nin en yüksek seviyesinde artttığı rapor edilmiştir.

Siddiqui vd. (2013) tarafından turp bitkisinin (*Raphanus sativus* L.) morfolojik ve fizyolojik özelliklerine Ca ve B'un normal ve B toksisitesi koşulları altında tekil ve birleşik etkilerini araştırmak amacıyla yapılan çalışmada; 30 mM Ca ve 0.5 mM B'un tek başına ve kombinasyon halinde uygulanması, bitki büyümesini, fizyolojik ve biyokimyasal özelliklerini iyileştirdiği, 5 mM B'un, bir çok gelişim ve fizyolojik parametre için zararlı olduğu, 30 mM Ca uygulaması, malondialdehit (MDA) ve H_2O_2 seviyelerini ve elektrolit sızıntısını azaltarak ve antioksidan enzimlerin aktivitelerini artırarak B toksisitesinin zararlı etkilerini hafifletilmesinde etkili olduğu, Ca uygulaması yapraklarda prolin, toplam çözünür karbonhidratlar ve fotosentetik pigmentlerin birikimini artırarak bitki koruma mekanizmalarını uyardığı bildirilmiştir.

Abo-Hamad ve El-Feky (2014) tarafından B uygulamasının (0, 100, 200, 300 ve 400 ppm) domatesin (*Lycopersicon esculentum*) büyümesi ve bazı metabolik aktivitelerine olası etkilerini değerlendirmek amacıyla yapılan çalışmada; kontrole kıyasla düşük B (100 ve 200 ppm) konsantrasyonlarında farklı B konsantrasyonlarının uygulaması ile yaş ve kuru ağırlıkların arttığı, domates bitkisinin gövde ve kökünde Ca ve B içeriği artarken, K içeriği gövdede artıp kökte azaldığı, B uygulamasıyla kökte Na içeriğinin arttığı ve gövdede ise azaldığı, kök ve gövdede çözünür proteinlerin artan B konsantrasyonlarının ile kademeli olarak arttığı bildirilmiştir.

Ashagre vd.(2014) tarafından artan düzeyde B (0, 0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8 ve 16 mg L^{-1}) uygulamalarının buğdayın (*Triticum aestivum* L., var. Danda) tohum çimlenmesi ve fide büyümesine etkisini incelemek için yapılan çalışmada; çimlenme ortamındaki B konsantrasyonundaki artış ile çimlenme yüzdesi ve oranı, gövde ve kök uzunlukları, gövde/kök yaş ve kuru ağırlıkları, kök sayısı, kök/gövde oranı ve fide canlılık indeksinin azaldığı ve fitotoksisitenin önemli ölçüde arttığı bildirilmiştir.

Farag ve Fang (2014), B stresinin (0, 10, 25, 50 ve 100 mg L^{-1}) üç karpuz çeşidinde (*Citrilus lanatus,* cvs .. Nabite, Zhemi2 ve XiYu) çimlenme davranışı, kök uzaması ve erken fide döneminde büyümeye etkisini incelemek için yaptıkları çalışmada; B stresinin çimlenme yüzdesini, üniformiteyi ve tohumların çimlenme süresini etkilemediğini ancak ortalama çimlenme süresini ve çimlenme indeksini artırdığını, 25 mg L^{-1} B düzeyine kadar B

toksisitesinin artışıyla birlikte fidelerin büyüme ve gelişmesinde olumsuz etkilerinin arttığını, kök uzaması, toplam kök uzunluğu, yüzey alanı, uç sayısı, kök kuru ağırlığı ve sürgün kuru ağırlığının 10 mg L^{-1} B düzeyi ile artarken, en yüksek B toksisitesi düzeyinde bu parametrelerin hepsinin azaldığını ve B toksisite stresine karşı Zhemi2 çeşidi toleranslı olarak seçilirken, Nabite çeşidi ise hassas olarak belirlendiğini bildirmişlerdir.

Hamurcu vd. (2015), farklı B uygulamaları (0.05, 0.25 ve 1.25 mM) ve kuraklık stresinin kuraklığa dayanıklı karpuz çeşidinin [*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. et Nakai genotipi "Kar 98"] yaş ve kuru ağırlığı, sürgün ve kök uzunlukları, yaprak nispi su içeriği, B birikimi, lipid peroksidasyon düzeyi ve SOD, CAT ve GR enzim aktivitelerine etkilerini inceledikleri bir çalışmada; kontrole (0.05 mM B) göre 0.25 ve 1.25 mM B uygulamalarının kök yaş ağırlıkları (sırasıyla %50 ve %66), kök kuru ağırlıkları (sırasıyla %19 ve %49), toprak üstü aksam yaş ağırlıkları (sırasıya %18 ve %45), toprak üstü aksam kuru ağırlıkları (sırasıyla %22 ve %47) ve sürgün uzunluklarında (sırasıyla %14 ve %46) azalmalara neden olduğunu, tek başına 1.25 mM B uygulamasının kontrole göre kök uzunluğunu %49 oranında azalttığını ve reaktif oksijen türlerinden bağımsız bir şekilde lipid peroksidasyonuna neden olduğunu açıklamışlardır.

Koohkan ve Maftoun (2015) tarafından altı B (0, 2.5, 5, 10, 20 ve 40 mg kg^{-1} H_3BO_3) ve dört N seviyesi (0, 75, 150 ve 300 mg kg^{-1}) ile çeltik (*Oryza sativa*) bitkisinde B toksisitesinin hafifletilmesine N'nin etkisini incelemek amacıyla yapılan çalışmada; B uygulamasının (2.5 mg kg^{-1}'den fazla) tohum verimini azalttığı, B uygulamalarının neden olduğu gelişimi engelleyen etkilerinin N uygulaması ile azaltıldığı, yüksek B seviyelerinin çeltik verimini azalttığı, N seviyeleri arttıkça B konsantrasyonun azaldığı, B uygulamalarının B, K, P ve Zn konsantrasyonlarını artırdığı ve N uygulamalarının Zn konsantrasyonunu azaltırken N ve P konsantrasyonlarını artırdığı bildirilmiştir.

Çikili vd. (2015) tarafından fıstık (*Arachis hypogaea* L.) bitkisinde B (0, 4, 8, 16 ve 32 mg kg^{-1}) ve Zn (0, 10 ve 20 mg kg^{-1}) uygulamalarının karşılıklı etkilerinin incelendiği çalışmada; B uygulamasının artmasıyla bitki gelişiminin kademeli olarak azaldığı, Zn uygulamasının B toksisitesi üzerinde engelleyici bir etkiye sahip olduğu ve yüksek B uygulamasının neden olduğu gelişim gerilemesini azalttığı, Zn uygulaması yapılan bitkilerde B ve Zn

içerikleri, B uygulamalarının artmasıyla arttığı, hem Zn hem de B uygulamasının Zn içeriğini artırdığı, B toksisitesinden dolayı klorofil içeriğinin azaldığı ve MP'nin arttığı, Zn uygulaması B toksisitesinin klorofil ve MP üzerine olan olumsuz etkilerini kısmen iyileştirdiği ve artan B uygulaması fıstık sürgünlerinde P, K, Ca, Na, Zn, Fe ve Cu içeriklerini artırdığı bildirilmiştir.

Moussa ve Algamal (2017) tarafından ıspanak (*Spinacia oleracea* L.) bitkisinde B (0.6 veya 1.2 mM B) toksisitesinin etkilerini melatonin uygulaması (100 ve 300 µM) ile hafifletebilmek amacıyla yapılan çalışmada; B toksisitesinin bitki yaş ve kuru ağırlığı, bitki yaprak sayısı, klorofil *a+b* ve karotenoid içerikleri, CO_2 asimilasyonunu, toplam karbonhidratların miktarları, nispi su içeriği ve indol asetik asit içeriği azalttığı bildirilmiştir.

Nawaz vd. (2020) tarafından farklı düzeyde salisilik asitin (SA) tohumdan uygulanması (0, 50, 100 ve 150 µM SA, 12 saat şişirme) ve B toksisitesi (0, 15 ve 30 mg kg^{-1} toprak) altında yetiştirilen mısırın (*Zea mays* L.) gelişimini, pigmentasyonu ve mineral konsantrasyonlarına etkilerini araştırmak amacıyla yapılan çalışmada; artan B konsantrasyonlarının kök ve gövde uzunluğunu azalttığı ancak 100 µM SA ile muamele edilmiş tohumlardan yetiştirilen bitkilerde B toksisitesinin etkilerinin daha az olduğu, 30 mg kg^{-1} B uygulamasının toprakta kök ve gövde yaş ve kuru biyokütlelerini önemli ölçüde azalttığı, artan B seviyeleri ile klorofil ve karotenoid içerikleri azalırken antosiyanin, H_2O_2, askorbik asit (ASA) ve glisinbetain (GB) içeriklerinin arttığı, kök K ve Ca içeriklerinin önemli ölçüde artarken gövde K konsantrasyonunun azaldığı, uygulanan B toksisitesi ile gövdedeki nitrat konsantrasyonunun köke kıyasla daha fazla olduğu, tüm B toksisite etkilerinin 100 µM SA uygulaması ile azaldığını, SA uygulaması B-toksik koşullar altında yetiştirilen bitkilerin tepkisini azalttığı ve B-toksik koşullar altında bitki büyümesini teşvik etmek ve mineral besin alımını artırmak için bir bitki büyüme düzenleyicisi olarak kullanılabileceği bildirilmiştir.

Chatzistathis vd. (2021), kantalup kavun (*Cucumis melo* var. Cantalupensis cv. Retato Degli Ortolani) ve acur (*C. melo* var. flexuosus cv. Abruzzese Tortarello) bitkilerinde B toksisitesinin (1 mM H_3BO_3) fizyolojik etkilerini incelemek amacıyla yaptıkları çalışmada; B'nin transpirasyon ve aktif taşıma ile taşındığını, B dağılımını yaprak yaşından bağımsız olduğunu ve artan B uygulaması ile değişmediğini, daha yüksek yaprak B seviyeleri sergileyen acurun,

(kök ve sürgün) büyüme, fotosentetik pigment içeriği ve hücre zarı bütünlüğününün azaldığını, B toksisitesinin neden olduğu sistemik reaksiyona dair hiçbir kanıt görülmediğini, B toksisitesinin çoğunlukla olgun yapraklarda belirgin bir etki olarak borat akışı ve akış kanallarını kodlayan genlerin transkripsiyonunu büyük ölçüde artırdığını, artan B seviyelerinin hava organlarına difüzyon ve B translokasyonunun engellenmesi, bitki fizyolojik tepkilerini yöneten genotipe bağlı olduğunu açıklamışlardır.

Bitkilerin karşılaşabileceği farklı abiyotik stres koşulları ve ayrıca B toksisitesinin olumsuz etkilerinin hafifletilmesi/azaltılması/giderilmesine silisyum uygulamalarının etkisine dair güncel bazı araştırmaların sonuçları aşağıda özetlenmiştir.

Al-aghabary vd. (2005) tarafından domates (*Lycopersicon esculentum*) yapraklarına 10 günlük ve 27 günlük periyotlar halinde Si (2.5 mM), NaCl (100 mM) ve Si (2.5 mM) + NaCl (97.5 mM) uygulamalarının bitkide fizyolojik, biyokimyasal ve antioksidan savunma sistemine etkilerinin araştırıldığı çalışmada; Si uygulamasının SOD ve CAT aktivitelerini, klorofil içeriğini ve fotosistem-II (PSII)'nin fotokimyasal verimliliğini artırdığı, tuz stresinin yapraklardaki SOD ve CAT aktivitelerini ve çözünür protein içeriğini azalttığı, Si uygulaması ile tuz stresindeki domates yapraklarında SOD ve CAT aktivitelerini ve protein içeriğini olumlu yönde etkilediği, Si uygulamasının tuz uygulanan bitkilerin yapraklarında APX aktivitesini azalttığı ve H_2O_2 ve lipit peroksidasyon (MDA) seviyesini, guaiakol peroksidaz (G-POD) aktivitesini azalttığı ve Si uygulaması ile SOD ve CAT'ın artırılmış aktivitelerinin bitki dokularını tuzun neden olduğu oksidatif hasardan koruyabileceği ve böylece tuz toksisitesini azaltabileceği rapor edilmiştir.

Romero-Aranda vd. (2006) tarafından domateste tuz (0 ve 80 mM NaCl) stresinin zararlı etkilerini hafifletmek amacıyla Si (0 ve 2.5 mM) uygulamasının etkisinin araştırıldığı çalışmada; Si uygulamasın bitkiye tuz girişini, bitki su alımını ve bitki organları arasındaki tuz dağılımını değiştirmediği, fakat Si ile beslenen bitkilerin sadece tuzlu ortamda yetişen bitkilere göre % 40 daha uzun gövdeli olduğu, yaprak turgor potansiyeli ve net fotosentez oranları Si ve tuz uygulanmış bitkilerde sadece tuz uygulaması yapılan bitkilerden %42 ve %20 daha fazla olduğu, ani gaz değişim parametrelerinden ve bitki kuru maddesi ile bitki su alımı arasındaki oran olarak hesaplanan su kullanım verimi Si ile beslenen tuzlu bitkilerde

sırasıyla %17 ve %16 daha fazla olduğu, Si uygulamasının bitki dokularındaki su depolamasını geliştirerek bitki gelişimini artırdığı ve aynı bitki bünyesinde tuzun seyrelmesine katkıda bulunarak tuz toksisitesinin etkilerini azalttığı açıklanmıştır.

Gunes vd. (2007) tarafından B-toksik (12 ppm) toprağa uygulanan 5 ve 10 mM Si uygulamasıyla buğdayın gelişimi, enzimatik ve biyokimyasal parametrelerindeki değişimlere etkisini belirlemek için yapılan çalışmada; Si uygulaması B-toksik toprakta yetiştirilen buğdayın Si konsantrasyonunu artırdığı ve B'un bitki gelişiminde zararlı etkilerini ortadan kaldırdığı, B-toksik toprakta yetiştirilen buğdayın prolin, H_2O_2, MDA ve lipoksigenaz (LOX) içeriklerinin azaltıldığı, uygulanan Si ile SOD, CAT, APX aktiviteleri ve amino asit (AA) içeriğinin azaldığı, Si uygulamasının oksidatif membran hasarını ve B'un kökten gövdeye ve/veya topraktan bitkiye taşınımını önleyerek buğdayda B toksisitesini hafiflettiği belirtilmiştir.

Soylemezoglu vd. (2009) tarafından B-toksik (20 mg kg^{-1}), tuzlu (20+20 mM $NaCl+Na_2SO_4$) ve B-toksik-tuzlu topraklarda yetişen iki asma (*Vitis vinifera* L.) anacına Si (4 mM) uygulamasının etkilerini araştırmak amacıyla yapılan çalışmada; Si uygulaması anaçların birinde Na ve her iki anaçta da B ve klor (Cl) birikimini azaltarak tuzluluk ve B toksisitesinin sürgün gelişimindeki zararlı etkilerini azalttığı, B toksisitesi, tuzluluk ve kombinasyon koşullarında yetiştirilen bitkilerde daha yüksek olan stomatal direnç, MDA, H_2O_2 ve prolin konsantrasyonlarının Si uygulandığında azaltıldığı, SOD ve CAT aktivitesini azaltan ancak APX aktivitesini artıran Si uygulamasının her iki anacın enzim aktivitelerini önemli ölçüde etkilediği, Si uygulamasının hem oksidatif membran hasarını hem de Na ve B'un kökten gövdeye ve/veya topraktan bitkiye yer değiştirmesini önleyerek ve ayrıca bitki dokularında Na ve B'un fitotoksik etkilerini azaltarak asma anaçlarına tuzluluk, B toksisitesi ve bunların kombinasyonlarının olumsuz etkilerini hafiflettiği, Si uygulaması tuzluluk, B-toksik ve B-toksik-tuzluluk koşulları altında yetiştirilen asmanın membran ile ilgili parametreler ve antioksidan tepkilerini düenleyerek tuzluluk ve B toleransını iyileştirdiği tespit edilmiştir.

Inal vd. (2009) tarafından B-toksik koşulda (20 mg kg^{-1} H_3BO_3) yetiştirilen arpa (*Hordeum vulgare* L.) bitkisine Si (50, 75 ve 100 mg kg^{-1} $Na_2Si_3O_7$) uygulamalarının bitki gelişimi ve antioksidan sisteme olan etkilerini belirlemek amacıyla yapılan çalışmada; B-

toksik koşulda artan Si uygulamaları B'un gövde büyümesindeki zararlı etkilerini azalttığı, B uygulaması ile B konsantrasyonunu artarken Si uygulaması ile azaldığı, artan Si uygulaması bitkide Si konsantrasyonunu artırdığı, B toksisitesi ile H_2O_2 konsantrasyonunun arttığı ancak Si varlığında azaldığı, B toksisitesinin prolin konsantrasyonlarını azalttığı ve lipid peroksidasyonu MDA içeriği ve LOX aktivitesini artırdığı, Si olmaksızın yetiştirilen B stresli bitkilerde AA, SOD, CAT ve APX aktivitelerinin azaldığı ancak Si uygulaması koşullarında bu parametrelerin aktivitelerinin artırdığı, LOX aktivitesinin Si uygulaması tarafından azaltıldığı, Si uygulamasının hem B alımını azaltarak hem de dokulardaki fazla B'a toleransı artırarak oksidatif membran hasarını önlemesinin ile B toksisitesini hafiflettiği saptanmıştır.

Kaya vd. (2011), domatesin (*Lycopercison esculentum* cv. 191 F1) gelişimi ve verimine Si (2 mM Na_2SiO_3) ve B (0.5, 3.5 ve 6.5 mg L^{-1} H_3BO_3) uygulanmalarının interaktif etkisini inceledikleri çalışmada; yüksek B uygulamasının domatesin kuru madde miktarı, meyve verimi ve klorofil konsantrasyonunu azalttığını ancak prolin birikimini artırdığını, bitki kuru maddesi, meyve verimi ve klorofil konsantrasyonlarını B toksisitesinin zararlı etkisini Si uygulamasının giderdiğini, B toksisitesi yapraklarda SOD, peroksidaz (POD) ve polifenol oksidaz (PPO) enzim aktivitelerini artırırken Si uygulaması PPO aktivitesi hariç bu parametreleri azalttığını, yüksek B uygulamasının oksidatif stresi tetiklediği ve antioksidan enzimlerde değişikliklere neden olduğunu, yüksek B uygulamasının yapraklardaki Ca ve K konsantrasyonlarını azalttığını ancak ortama Si ilavesinin her iki elementin konsantrasyonunu artırdığını ve sonuç olarak Si uygulamasının domatesin meyve verimi ve tüm bitki biyokütlesine B toksisitesinin olumsuz etkilerini azalttığını rapor edilmiştir.

Farooq vd. (2013) tarafından Si (0 ve 1 mM Na_2SiO_3) uygulamasının pamukta (*Gossypium hirsitum*) kadmiyum (Cd) stres (0, 1 ve 5 µM Cd $CdCl_2$) toleransını azaltmadaki rolünü incelemek amacıyla yapılan çalışmada; tek başına Cd uygulamasının bitki büyümesini ve antioksidan aktivitesinin etkinliğini azalttığı, bitki büyümesi, net fotosentetik oran, stoma iletkenliği, transpirason, su kullanım etkinliği, klorofil ve karotenoidlerin içerikleri ve antioksidan enzimlerin performansının Si uygulamasıyla arttığı, Cd stresinin bitki büyümesine olumsuz etkileri Si uygulamasıyla hafifletildiği, Si uygulamasının pamuk bitkilerinde Cd stresinin olumsuz etkilerini azalttığı ve büyüme, biyokütle ve fotosentetik parametreleri önemli ölçüde artırdığı, MDA, H_2O_2 ve elektrolitik sızıntısı içeriklerini azalttığı ve pamuğun yaprak ve köklerindeki antioksidan enzim aktivitelerinin arttığı, MDA ve H_2O_2 içerikleri

azaltarak ve antioksidan enzimlerin aktiviteleri artırarak Cd stresinin olumsuz etkilerini Si uygulamasının azalttığı ve pamuk bitkisinin büyüme ve fotosentez özelliklerini iyileştirdiği belirtilmiştir.

Haghighi ve Pessarakli (2013), tuz (0, 25 ve 50 mM NaCl stresi koşullarında 42 gün yetiştirilen domates (*Lycopersicon esculentum*) bitkisinin Si ve nano silisyum (N-Si) (0, 1 ve 2 mM) uygulamalarının bitki gelişimindeki iyileştirici etkilerini incelemek amacıyla yaptıkları çalışmada; bitki yaş ve kuru ağırlıkları, kök hacmi ve gövde çaplarına tuzluluğun zararlı etkileri olduğunu, buna karşın tuzluluk seviyelerinin artışıyla elektrolitik sızıntısını artırdığını ve alt sub-stomatal CO_2 miktarı, fotosentetik oran, mezofil iletkenliğini ve fotosentetik su kullanım etkinliğini azalttığını, Si uygulaması ile yaş ve kuru ağırlıklar, kök hacmi ve klorofil konsantrasyonu arttığı, tuzluluk stresinin bitki yaş ağırlığı, klorofil konsantrasyonu, fotosentetik oranı ve yaprak su içeriğine tuzluluğun zararlı etkilerini azalttığını, substomatal CO_2 miktarı ve stoma iletkenliğini azalttığını, tuz stresi koşullarında fotosentez oranı, mezofil iletkenliği ve bitki su kullanım etkinliğini Si ve N-Si uygulamalarının iyileştirdiğini, N-Si ve Si uygulamaları arasında önemli bir fark bulunmadığını ve genel olarak Si uygulamasının domatesin tuz toleransı iyileştirmede fayda sağladığını saptamışlardır.

Marodin vd. (2014) tarafından üç silikat kaynağı (Ca-silikat, K- silikat ve Na- silikat) ve beş Si (0, 100, 200, 400 ve 800 kg ha^{-1} SiO_2) uygulamasının domatesin (*Lycopersicon esculentum*) verimi ve fitoteknik özelliklerine etkisini incelemek için yapılan çalışmada; Si gübrelemesinin domatesin ticari verimliliğini artırdığı ve çatlak meyve oluşumunu azalttığı, Ca- ve K-silikatların seviyelerinin artmasıyla yapraklardaki Si miktarlarının doğrusal olarak artırdığı ve ancak yüksek dozlarda Na-silikat uygulamasının Si miktarlarını azalttığı ve Si gübrelemenin girdi olarak kullanımında olası ekonomik getiri ile domatesin verimliliğini artırdığı açıklanmıştır.

Li vd. (2015) tarafından Si (2 mM) uygulamasının domatesin (*Lycopersicon esculentum*) tuz (NaCl 150 mM) toleransına etkisini ve mekanizmasını araştırmak amacıyla yapılan çalışmada; Si uygulaması, domates büyümesini, fotosentetik pigmenti ve çözünür protein içeriklerini, net fotosentetik oranı ve tuz stresi altında kök morfolojik özelliklerini geliştirdiği, yaprak terleme hızı ve stomatal iletkenliğin azalmadığı, Si uygulamasının köklerde, gövdede ve yapraklarda Na ve Cl konsantrasyonlarını azalttığı, ancak kökten gövdeye

translokasyonlarında herhangi bir azalma belirtisi göstermediği, yaprak suyu durumu, kök hidrolik iletkenliği ve antioksidan kabiliyetinin tümü, tuz stresi altında Si ile artırıldığı, Si uygulamasının domates köklerinde Na ve Cl birikimini azaltabileceğini ve antioksidan savunmayı artırabileceğini, bu da kök büyümesini ve hidrolik iletkenliği iyileştirdiği, yaprak suyu durumunu ve gövde büyümesini iyileştirdiği bildirilmiştir.

Farooq vd. (2015) tarafından iki zıt çeltik çeşidi olan KS-282 (tuza toleranslı) ve IRRI-6 (tuza duyarlı) üzerinde Si (0 ve 150 mg kg^{-1}) ve B (0 ve 2.5 mg kg^{-1}) arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla yapılan çalışmada; olumsuz büyüme koşullarının, özellikle tuzluluk ve B toksisitesinin birleşik stresinin, çeltiğin fizyolojik özelliklerini ciddi şekilde etkilediği, membrana zarar vererek, bölünme değerlerini ve fotosentetik verimliliği azaltarak bitki biyokütlesini azalttığını, ancak Si uygulaması Na^+ ve B gibi toksik iyonların alımını azaltarak ve terleme oranını düşürerek stresin olumsuz etkilerini ortadan kaldırdığı, daha yüksek Si ve K^+ alımına bağlı artan nispi su içerikleri ve fotosentetik verimlilik, daha iyi büyüme performansını sağladığı, Si artan APX, artmış G-POD ve azaltılmış CAT aktivitesi ile her iki genotipte enzimatik antioksidanların aktivitelerini önemli ölçüde etkilediği, oksidatif hasarın azalmasıyla stresin azaldığı tespit edilmiştir.

Liu vd. (2017) tarafından buğdayın (*Triticum aestivum* L.) erken fide döneminde B (0, 150 ve 300 mg kg^{-1} H_3BO_3) ve iki Si (0 ve 50 mg kg^{-1} $Na_2SiO_3.9H_2O$) uygulamaları ile yapılan çalışmada; Si uygulamasının buğday bitkisinde B toksisitesi üzerine hafifletici bir etkiye sahip olduğu, 150 mg kg^{-1} B uygulamasında buğday gelişimine önemli bir hafifletici etki gösterirken, 300 mg kg^{-1} B uygulamasında önemli bir hafifletici etki göstermediği, B stresi altında buğdayın kuru ağırlığının azaldığı ve bu azalmanın Si uygulaması ile hafifletildiği ancak bitkide B birikiminin azaltılamadığı, buğdayın net fotosentetik oranları, B veya Si uygulamalarından önemli ölçüde etkilenmediği ve buğdayda B fazlalığının neden olduğu oksidatif hasarların Si uygulaması ile önemli ölçüde hafifletilemediği belirtilmiştir.

Metwally vd. (2018) tarafından kalsiyum (15 mM Ca), silisyum (2 mM Si) ve salisilik asidin (0.5 mM SA) yokluğunda veya varlığında dört B (0, 25, 50 ve 100 mg kg^{-1} H_3BO_3) uygulamasına tabi tutulan kanola (*Brassica napus* cv. Sarw) fidelerinin gelişimi ve enzimatik olmayan antioksidanlara etkileri araştırılan çalışmada; Ca, Si ve SA uygulamalarının kanola büyümesi ve su içeriğindeki gerilemeyi düzelttiği ve tohum sayısı, tohum ağırlığı ve

tohum indeksini iyileştirdiği, B-toksisite stresindeki kontrol bitkilerinde gövde ve kök B içerikleri ve tüm bitkide toplam B birikiminin arttığı ve bu parametrelerin Ca, Si ve SA uygulamalarıyla önemli ölçüde azaldığı, B-toksisite stresinde gövde askorbat havuzu (askorbat ve dehidroaskorbat), serbest ve bağlı α-tokoferol ve fenoliklerin miktarının arttığı ve çoğu durumda Ca, Si ve SA ilavesiyle α- tokoferol hariç bu parametrelerin düşük B seviyelerinde (0, 25 ve 50 mg kg^{-1}) azaldığı, B stresinde glutasyon içeriği değişmezken eklenen B stresinde Ca, Si ve SA uygulandığında glutasyon birikiminin geriletildiği, B toksisitesi ile gövde flavonoid içeriği azalırken Ca, Si ve SA uygulandığında bu azalmanın hafifletilemediği, yüksek B stresinde yetiştirilen kanola bitkilerinin gelişim ve veriminin harici Ca, Si veya SA uygulamalarıyla iyileştirildiği ifade edilmiştir.

Zhang vd. (2018), polietilen glikolün [% 10 (w/v)] neden olduğu su stresinin domates (*Solanum lycopersicum* L. cv. Zhongza 9) fidelerinde klorofil floresansı ve fotosentez ile ilgili genlerin ekspresyonunda harici Si (2.5 mmol L^{-1}) uygulamasının etkilerini araştırdıkları çalışmada; su stresinde gövde ve kök büyümesinin engellendiğini ve klorofil ve karotenoid konsantrasyonlarının azaldığını ancak Si ilavesinin bitki büyümesini iyileştirdiğini, klorofil ve karotenoid konsantrasyonlarını artırdığını, (PSII maksimum fotokimyasal verimliliği (Fv/Fm), etkili kuantum verimliliği, gerçek fotokimyasal kuantum verimliliği (ΦPSII), fotosentetik elektron taşıma hızı ve fotokimyasal söndürme katsayısı (qP) gibi klorofil floresan parametrelerinin su stresinde azaldığını, uygulanan Si ile bu değişiklikler tersine çevrildiği, su stresinde fotosentez ile ilgili bazı genlerin altında aşağı regüle edildiğini ve fotosentezle ilgili bazı genleri ve fotokimyasal süreci düzenleyerek ve sonuç olarak fotosentezi teşvik ederek, su stresinin azaltılmasında Si'un rol oynadığını saptanmıştır.

Pereira de Souza Junior vd. (2019), yaprak (0.8 g L^{-1}) ve kökten (0.056 g L^{-1}) Si uygulamasının pamukta (*Gossypium hirsutum* cv. Bayer FM910) orta derecede B noksanlığı, yeterliliği ve orta derecede B toksisitenin (33.7, 83.6 ve 130.5 µM B) zararlı etkilerini azaltmadaki etkisini topraksız bir sistemde araştırmak amacıyla yaptıkları çalışmada; Si uygulaması tüm bitki biyokütle üretimini ve klorofil a, b ve toplam klorofil seviyelerini artırarak hem B noksanlığının hem de B toksisitenin zararlı etkilerini azalttığını ve başlangıç ve maksimum floresansı azaltarak PSII'nin kuantum verimliliğini artırdığını, genel olarak Si uygulamasının B noksanlığının azaltılmasında en büyük yararının yaprak B uygulamasıyla gerçekleştiğini ve besin çözeltisi ile kökten sağlanan Si uygulamasının ise B toksisitesine karşı daha etkili olduğunu açıklamışlardır.

Farooq vd. (2019), tuzluluk stresi (10 dS m^{-1} NaCl) ve B toksisitesi (2.5 mg kg^{-1} H_3BO_3) Si uygulamasının (150 mg kg^{-1} Na_2SiO_3) tek başına veya kombinasyonlarla yararlı rolünü değerlendirmek için yaptıkları çalışmada; hem tuzluluk hem de B toksisitesinin çeltiğin büyümesini ve biyokütlesini azalttığını, Na ve B gibi toksik iyonların alımının artmasına bağlı olarak kombine stresin maksimum hasara neden olduğunu, Si uygulamasının Si ve K iyonlarının alımını artırarak ve toksik Na ve B iyonlarının bitkilere girişinin azaltarak bitkilerin olumsuz etkilerin üstesinden gelmesini sağladığı ve bitki biyokütlesinde iyileşme sağladığını, çeltiğin yüksek Si alım kabiliyeti, azaltılmış CAT aktivitesi ve stres altında Si uygulamasıyla APX ve GPX aktivitesindeki düzenlemeyle oksidatif hasarın azalmasına neden olduğu ve antioksidan mekanizmanın etkinliğini iyileştirdiğini ve tuzlara ve ilişkili B toksisitesine karşı bitki savunmasına yardımcı olarak tuzdan etkilenen topraklarda Si gübrelemesinin bitkisel üretimin artırabileceğini saptamışlardır.

Oliveira (2019), B toksisitesi (15 mg L^{-1}) altında yetiştirilen iki tarla bezelyesi (*Pisum sativum* L. cvs. Iapar 83 ve BRS Forrageira) çeşidine 2 mM Si ve 36 µM SA uygulamaları ve kombinasyonlarının (kontrol, B, B+Si, B+SA ve B+Si+SA) yapraktan ve kökten uygulanmasıyla tarla bezelyelerinin fizyolojik ve biyokimyasal tepkilerine etkilerini araştırmak amacıyla yaptıkları çalışmada; ROS üretimi ve bozunmasının daha iyi düzenlenmesini sağlayarak yoğunlaştırılmış bir antioksidan bitki savunma sistemi yoluyla Si+SA uygulamasının B toksisitesine karşı toleransı artırdığını, toplam klorofil ve karotenoid içeriklerini, temel antioksidan enzimlerin aktivitelerini artırarak ve MDA ve H_2O_2 içeriklerini azaltarak, yaş gövde ağırlığı ve toplam bitki kuru ağırlığını artırdığını, bitki dokularında B toksisitesine toleransı artırarak ve oksidatif membran hasarını önleyerek daha fazla bitki büyümesi sağlamasının bir sonucu olarak bezelyede B toksisitesinin gelişim önleyici etkilerini hafiflettiğini ve bu nedenle, bezelye yetiştiriciliğinde B toksisitesini hafifletmek için Si+SA kullanımının önemli ve sürdürülebilir bir strateji olduğunu rapor etmişlerdir.

Cao vd. (2020), domateste kuraklık stresine tepki olarak enerji kaybı ve Si arasındaki potansiyel etkileşimlerini araştırdığı bir çalışmada; Si aracılı proteinlerin, kloroplastlarda ışık enerjisi yakalama ve ışık enerjisinin fotokimyasal olmayan kullanımını (NPQ) teşvik ettiğini, buna ek olarak mitokondride Si aracılı enerji dağılımının rolünün fotosentetik optimizasyon için önemli olduğunu, mitokondride enerji dağılımı iyileştiğini, bu da Si-aracılı alternatif oksidaz ve malat / oksaloasetat yoluyla kloroplastlardaki enerji dağılımını daha da

optimize ettiğini, Si aracılı enerji dağılımı nedeniyle reaktif oksijen türlerinin birikimi azaldığını bildirmişlerdir.

Kaya vd. (2020), iki haftalık biber fidelerinin Si kaynaklı (2 mM Si) B toksisitesine (0.05 ve 2.0 mM B) toleransına hidrojen sülfürün (H_2S) etkilerini inceledikleri çalışmada; B toksisitesinin, biberin biyokütlesi, klorofil *a* ve *b* içeriği, PSII maksimum kuantum verimliliği (Fv/Fm), glutasyon ve askorbat içeriğini azalttığını ve fakat MDA ve H_2O_2, elektrolit sızması, prolin, H_2S, CAT, SOD, POX ve L-sistein desülfidraz (L-DES) aktivitelerini artırdığını, Si uygulamasının büyüme, çeşitli antioksidan biyomoleküllerin ve enzimlerin aktiviteleri, prolin içeriğini, yaprak Ca^{2+}, K^+ ve N içerikleri, dahili H_2S ve L-DES aktivitesini teşvik ettiğini ancak H_2O_2 ve MDA içerikleri, membran sızıntısı ve yaprak B içeriğini azalttığını, Si kaynaklı B toleransının, bir H_2S donörü olan 0.2 mM NaHS uygulanmasıyla daha da artırıldığını belirtmişlerdir.

Savic vd. (2023), buğday (*Triticum vulgare* L. cv. Duško) ve ayçiçeği (*Helianthus annuus* L. cv. Pobeda) bitkilerinde B toksisitesinin (500 µM H_3BO_3) etkilerini hafifletmek için Si uygulamaları (1.5 mM Na_2SiO_3) yaptıkları bir çalışmada; her iki bitkide de Si uygulaması kökteki B konsantrasyonunu etkilemezken yapraklardaki B konsantrasyonunu önemli ölçüde azaltığını, yüksek B koşulları altında buğday sürgünündeki B konsantrasyonu ayçiçeğindekinden yaklaşık iki kat daha düşük olduğunu, B'nin köklerde tutulması, yüksek B'ye toleranslı buğday genotiplerinde veya aşırı B alımına (400-1600 µM) maruz kalan ayçiçeği bitkilerinde önemli olmadığını, Si'nin yüksek B kaynağı altında bitki büyümesi üzerindeki iyileştirici etkisi ve buna bağlı olarak Si ile beslenen bitkilerin yapraklarında daha düşük B birikimini sağladığını, Si uygulaması yaprak apoplastının buğday ve ayçiçeğindeki fazla B için bağlama kapasitesini farklı şekilde etkilediğini, yaprak hücre duvarlarında B tutma kapasitesi ayçiçeğine göre daha düşük olan buğdayda, sürgünde yüksek B toleransının arttırılması için sürekli Si temininin önemli olduğunu, Si arzının, ayçiçeği yapraklarındaki B bağlanma bölgelerinin uzamasına önemli bir katkı sağladığını bilirdirmişlerdir.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM
MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Tez çalışmasında bitki materyali olarak Kabakgiller (*Cucurbitaceae)* familyasına ait hıyar (*Cucumis sativus* cv. Bursalfa), acur (*Cucumis melo* var. flexuosus cv. Ege Acur 16), kavun (*Cucumis melo* cv. Kırkağaç 637), karpuz (*Citrilus lanatus* cv. Crimson Sweet), sakız kabak (*Cucurbita pepo* cv. Bursakız) ve balkabağı (*Cucurbita moschata* cv. Arıcan-97) türleri kullanılmıştır.

Perlit: Bitkileri yetiştirme ortamı olarak 0-4 mm çapında mikronize perlit kullanılmıştır.

Besin Çözeltisi: Kabakgiller familyası türlerinin besin maddesi ihtiyaçları modifiye edilmiş Hoagland besin çözeltisi ile sağlanmıştır.

Bor: Bor kaynağı olarak borik asit (H_3BO_3) kullanılmıştır.

Silisyum: Silisyum kaynağı olarak potasyum silikat (K_2SiO_3) kullanılmıştır.

3.2. Yöntem

Çalışma Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü'ne ait yarı kontrollü plastik serada faktöriyel deneme desenine uygun olarak yürütülmüştür. Seranın iklim koşulları; minumum/maksimum ortam sıcaklığı 22/34 °C ve minumum/maksimum bağıl nem ise %36/75 olarak belirlenmiştir. Suda 24 saat şişirilen hıyar, acur, kavun, karpuz, sakız kabak ve balkabağı tohumları perlit ile doldurulmuş üç litre hacimli saksılara altı tohum/saksı olacak şekilde ekilmiştir. Çıkıştan sonra ise her saksıda üç bitki kalacak şekilde seyreltme yapılmıştır. Familya türlerine ait bitkiler deneme boyunca modifiye edilmiş Hoagland çözeltisi ile sulanmıştır.

Modifiye edilmiş Hoagland çözeltisinin bileşiminde; 4 mM $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$, 6 mM KNO_3, 2 mM $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ve 1 mM KH_2PO_4, 40.0 µM H_3BO_3, 45.7 µM $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, 9.0

μM $MnSO_4 \cdot H_2O$, 0.77 μM $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$, 0.32 μM $CuSO_4 \cdot 5H_2O$, 0.17 μM $NiCl_2 \cdot 6H_2O$, 0.10 μM $(NH_4)_2Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$ ve 55.0 μM $Na_2EDTA \cdot 2H_2O$ bulunmaktadır. Modifiye Hoagland çözeltinin pH'sı 6.0'ya HCl veya KOH kullanılarak ayarlanmıştır.

Tez çalışması kapsamında birer faktör olarak belirlenen ve uygulanacak olan deneme konularına ait koşullar, aşağıda açıklandığı şekilde hazırlanmış uygulama çözeltilerinin deneme konularına göre *Cucurbitaceae* familyasına ait türlere uygulanması ile sağlanmıştır.

Kontrol: Yetiştirilecek olan türlerin besin maddesi ihtiyacı modifiye edilmiş Hoagland çözeltisinin gelişmenin her gününde 100 mL çözelti olarak perlit ortamına sulama şeklinde verilmesi ile sağlanmıştır.

B toksisitesi (+B): 1000 μM H_3BO_3 uygulama çözeltisi eklenmiş modifiye edilmiş Hoagland çözeltisinin gelişmenin her gününde 100 mL çözelti olarak perlit ortamına sulama şeklinde verilmesi ile sağlanmıştır.

B toksisitesi ve Si uygulaması (+B+Si): 1000 μM H_3BO_3 + 2 mM K_2SiO_3 uygulama çözeltileri eklenmiş modifiye edilmiş Hoagland çözeltisi ile gelişmenin her gününde 100 mL çözelti olarak perlit ortamına sulama şeklinde verilmesi ile sağlanmıştır.

Ekimi yapılan türlerin besin çözeltisi ortamına uyum sağlayabilmesi için ilk 7 gün uygulama çözeltileri eklenmiş 1/4 Hoagland çözeltisi ve sonraki 7 gün uygulama çözeltileri eklenmiş 1/2 Hoagland çözeltisi ve 15. günden itibaren ise bitkiler uygulama çözeltileri eklenmiş tam Hoagland çözeltisi ile sulanmıştır.

Tohumların perlit ortamına ekiminden itibaren 4 hafta (28 gün) boyunca deneme konularına göre uygulama çözeltileri eklenmiş Hoagland çözeltileri ile sulanan bitkiler kök boğazından kesilerek hasat edilmiştir.

Hasat edilen bitkilerin gövde ve kökleri ayrılarak örnek olarak alınmış, usulüne uygun olarak yıkanmış ve kurutulmuştur (Müftüoğlu vd., 2014). Elde edilen gövde ve kök örnekleri çelik bıçaklı bir öğütücü yardımıyla öğütülürek daha sonraki işlem/analizler için kullanılmak üzere nem çekmeyecek şekilde uygun bir kapta saklanmıştır.

3.2.1. Morfolojik Ölçümler

Bitki boyu: Bitkilerin bayrak yaprak ucu ile kök boğazı arasındaki mesafe ölçülerek (cm) belirlenmiştir**.**

Gövde ve Kök Yaş Ağırlıkları: Kök boğazından kesilerek hasadı yapılan bitkilerin gövde ve kök yaş ağırlıkları (YA, g bitki^{-1}) hassas terazide (0.01 g duyarlı) tartılarak belirlenmiş ve gövde ve kök biyolojik verimi olarak kaydedilmiştir.

Gövde ve Kök Kuru Ağırlıkları: Yaş ağırlıkları belirlenen ve sırasıyla iki kez musluk suyu, iki kez saf su ve bir kez de deiyonize su ile yıkanarak kese kâğıtlarına konulan bitkilerin gövde ve kökleri kurutma dolabında 70 ^{o}C'de sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Kuruyan gövde ve kök örneklerinin kuru ağırlıkları (KA, g bitki^{-1}) hassas terazide (0.001 g duyarlı) tartılarak belirlenmiştir (Müftüoğlu vd., 2014).

Gövde/Kök Oranı: Gövde ve kök kuru ağırlıklarının oranlanması sonucu aşağıdaki formüle (3.1) göre belirlenmiştir.

Gövde/Kök Oranı = Gövde KA (g bitki^{-1}) / Kök KA (g bitki^{-1}) (3.1)

Kök Uzunluğu: Bitkilerin hasat edilmesi esnasında kök boğazı ile kök ucu arasındaki mesafe ölçülerek (cm) belirlenmiştir.

Kök Hacmi: Türlere ait temizlenen yaş köklerin birim hacimdeki ölçü kabında taşırdıkları su miktarının (cm^3) ölçülmesi ile belirlenmiştir.

3.2.2. Bitki Analizleri

Bitki Örneklerinin Analize Hazırlanması: Kurutulan türlerin gövde ve kökleri uygun bir öğürücü yardımıyla öğütülmüştür. Daha sonra gövde ve kök örneklerinden porselen kroze içerisine 500 mg tartılmış ve sıcaklığı kademeli olarak yükseltilen (50-500 °C) kül fırınında kuru yakma işlemi gerçekleştirilmiştir. Türlerin kuru yakılan örneklerine ait küller 2 mL 10 N nitrik asit (HNO_3) ilave edilerek çözülmüş ve deiyonize su ile 100 mL kapasiteli ölçü balonuna aktarılarak derecelerine tamamlanmıştır. Ölçü balonundaki çözeltiler daha

sonra uygun bir ekstrakt kabına mavi bant filtre kağıdı yardımıyla süzülmüş ve elementel analizler için buzdolabında saklanmıştır (Müftüoğlu vd., 2014).

Fotosentetik Pigmentlerin Belirlenmesi: Fizyolojik analizler hasat edilmeden önce bitkinin en üstünde olgunlaşmasını tamamlamış taze yapraklardan alınan örneklerde belirlenmiştir. Tartılarak alınan taze yaprak örnekleri (W = 200 mg) küçük parçalara bölünerek bir homojenizatör yardımıyla 10 mL (V) aseton (%90, v/v) ile homojenize edilerek uygun bir filtre kâğıdından süzülmüştür. Homojenatların 663, 645 ve 470 nanometre dalga boylarındaki absorbansları spektrofotometrede belirlenerek klorofil *a* (3.2), klorofil *b* (3.3), klorofil *a*+*b* (3.4) ve karotenoidlerin (3.5) konsantrasyonları aşağıda detayları sunulan Lichtenthaler (1987)'in formülüne göre hesaplanmıştır.

$$\text{Klorofil } a \text{ (mg g}^{-1}\text{ YA)} = (11.75 \times A_{663}) - (2.35 \times A_{645}) \times V / W \quad (3.2)$$

$$\text{Klorofil } b \text{ (mg g}^{-1}\text{ YA)} = (18.61 \times A_{645}) - (3.96 \times A_{663}) \times V / W \quad (3.3)$$

$$\text{Klorofil } a+b \text{ (mg g}^{-1}\text{ YA)} = \text{Klorofil } a + \text{Klorofil } b \quad (3.4)$$

$$\text{Karotenoid (mg g}^{-1}\text{ YA)} = [(1000 \times A_{470}) - (2.27 \times \text{Chl } a)] - (81.4 \times \text{Chl } b/227) \times V / W \quad (3.5)$$

Toplam B Belirlemesi: Kuru yakma yöntemine göre yakılarak analize hazırlanan bitki süzüklerinde azomethin-H yöntemine göre bitkide toplam B içeriği (µg g^{-1} KA) belirlenmiştir. (Wolf, 1971).

Bitkide B alımı: Bitkinin B içeriği ve kuru madde miktarı dikkate alınarak bitkide B alımı aşağıda detayları sunulan formül (3.6) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\textit{B alımı (µg bitki}^{-1}\textit{)} = \text{B kapsamı (µg g}^{-1}\text{)} \times \text{KA (g)} \quad (3.6)$$

Bitkide toplam K, Ca ve Na belirlemesi: Kuru yakma yöntemine göre yakılarak analize hazırlanan bitki süzüklerinde fleymfotometrik olarak belirlenmitir (Müftüoğlu vd., 2014).

Membran geçirgenliği: Deiyonize su ile yıkanarak kurulanan ve 250 mg tartılıp küçük parçalara ayrılan kök örnekleri 50 mL deiyonize su içerisinde dört saat bekletilmiştir. Daha sonra elektriksel iletkenliği (EC) bir EC-metre ile belirlenmiştir (EC1). Elektriksel iletkenliği belirlenmiş çözeltiler sıcak tabla (hot plate) üzerinde 10 dakika kaynatılıp soğu-

tulduktan sonra tekrar elektriksel iletkenliği belirlenmiştir (EC2). Göreceli membran geçirgenliği, elde edilen EC değerlerinden yararlanarak aşağıda detayları sunulan formül (3.7) yardımıyla hesaplanmıştır (Bai vd., 1996).

Membran Geçirgenliği (MP) = (EC1 / EC2) × 100 (3.7)

3.2.3. İstatistik Analizler

Faktöriyel deneme desenine göre varyans analizine tabi tutularak Minitab16 paket programıyla önemlilik kontrolü *F* testine göre (*: $p \leq 0.050$; **: $p \leq 0.010$; ***: $p \leq 0.001$; öd: önemli değil) yapılmıştır. Ortalamaların çoklu karşılaştırmaları ise Duncan Çoklu Karşılaştırma Testine (α: 0.05) göre yapılmıştır.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Toprak Üstü Aksam Gelişimine Bor Toksisistesi ve Silisyumun Etkisi

4.1.1. Gövde Yaş ve Kuru Ağırlığı

Bor toksisistesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin gövde yaş ve kuru ağırlıkları ile bitki boylarına Si uygulamalarının etkisine ait varyans analiz sonuçları Tablo 2'de verilmiştir. Gövde yaş ağırlıklarına ait ortalamalar Şekil 1'de, gövde kuru ağırlıklarına ait ortalamalar Şekil 2'de ve bitki boylarına ait ortalamalar ise Şekil 3'de sunulmuştur. Tablo 2 ile Şekil 1, 2 ve 3 birlikte incelendiğinde; B toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* türlerinde B toksisitesinin hafifletilmesine Si uygulamalarının gövde yaş ve kuru ağırlıkları ve bitki boyları üzerine türlerin ve uygulamaların etkileri istatistiksel olarak %0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Bununla birlikte, tür x uygulama interaksiyonunun bitki gövde yaş ağırlıklarına etkisi istatistiksel olarak %1 düzeyinde, gövde kuru ağırlıklarına etkisi istatistiksel olarak %5 düzeyinde ve bitki boylarına etkisi ise %0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur (Tablo 2).

Tablo 2

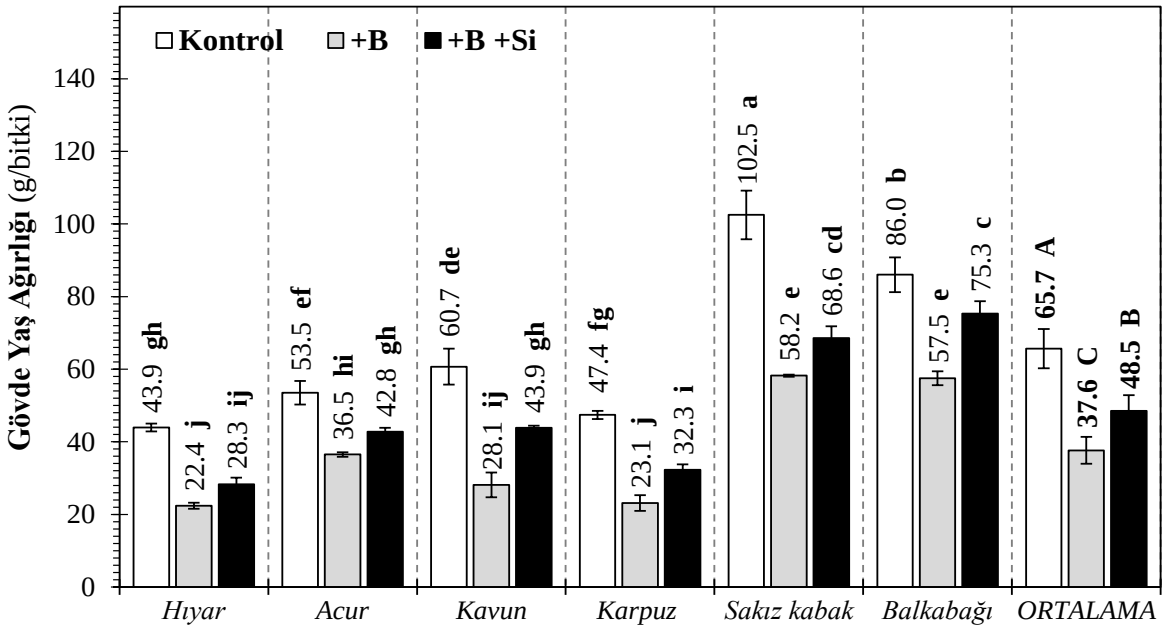
Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin gövde yaş ve kuru ağırlıkları ve bitki boylarına silisyumun etkisine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	**Gövde Yaş Ağırlığı**		**Gövde Kuru Ağırlığı**		**Bitki Boyu**	
		Kareler Toplamı	*F* Değeri	Kareler Toplamı	*F* Değeri	Kareler Toplamı	*F* Değeri
Genel	53	25983.0	-	123.9	-	9437.5	
Tür (T)	5	16895.8	129.3***	81.2	242.39***	6737.5	146.4***
Uygulama (U)	2	7190.3	137.6***	38.5	287.12***	938.3	51.0***
T×U İnteraksiyonu	10	956.4	3.66**	1.9	2.81*	1430.3	15.5***
Hata	36	940.5	-	2.4	-	331.3	

Familyadaki türler birlikte değerlendirildiğinde; kontrol uygulamasına (65.7 g bitki^{-1}) göre B toksisitesi koşullarında (37.6 g bitki^{-1}) türlerin ortalama gövde yaş ağırlığında %42.6 düzeyinde önemli bir azalma görülmüştür (Şekil 1). Bor toksisitesi (+B) koşullarına göre +B+Si

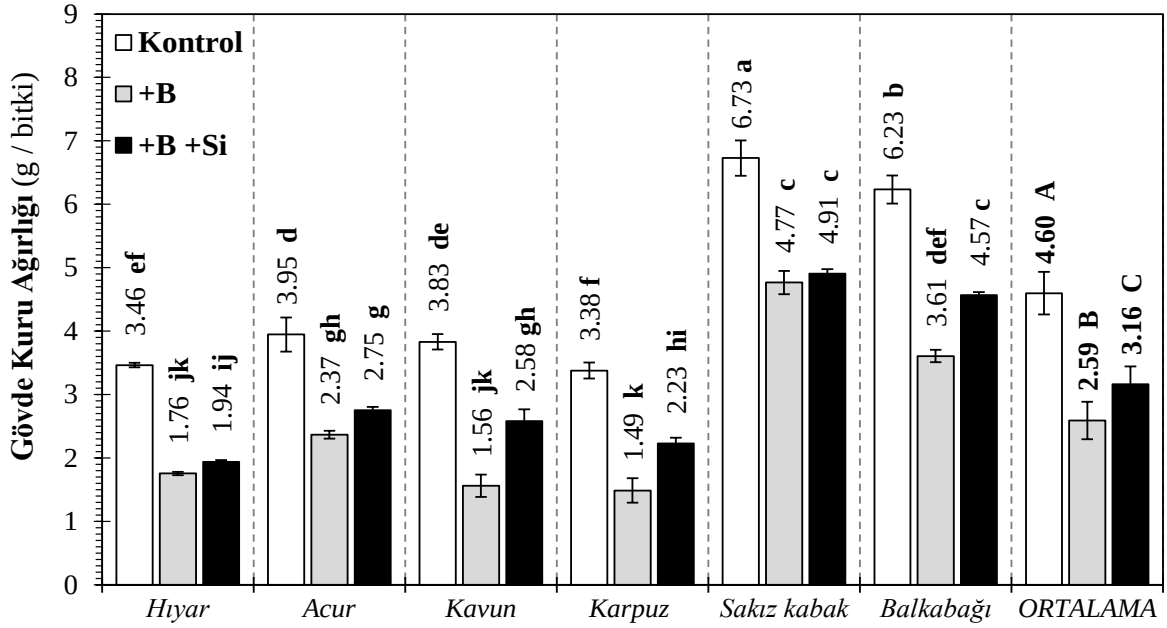
uygulaması (48.5 g bitki^{-1}) ile türlerin ortalama gövde yaş ağırlığında %29.0 düzeyinde önemli bir artış belirlenmiştir (Şekil 1).

Kontrole göre B toksisitesi (+B) koşullarında tüm türlerin gövde yaş ağırlığında önemli azalmalar belirlenmiş ve türlerin gövde yaş ağırlığındaki azalma düzeyleri; hıyar için %49.0, acur için %31.8, kavun için %53.7, karpuz için %51.3, sakız kabak için %43.2 ve balkabağı için %33.1 olarak tespit edilmiştir (Şekil 1). Bor toksisitesine (+B) göre +B+Si uygulaması ile türlerin gövde yaş ağırlığında artışlar saptanmıştır. Kavun (%56.2), karpuz (%39.2), balkabağı (%31.0) ve sakız kabağın (%17.9) gövde yaş ağırlığında belirlenen artışlar önemli bulunurken, hıyar (%26.3) ve acurun (%17.3) gövde yaş ağırlığında saptanan artışlar önemsiz olarak belirlenmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin gövde yaş ağırlıklarına silisyumun etkisi

Familyadaki türler birlikte değerlendiğinde; kontrole (4.60 g bitki^{-1}) göre B toksisitesi (+B) koşullarında (2.59 g bitki^{-1}) türlerin ortalama gövde kuru ağırlığında %43.7 seviyeyinde önemli bir azalma belirlenmiştir (Şekil 2). Bor toksisitesi (+B) koşullarına göre +B+Si uygulaması (3.16 g bitki^{-1}) ile türlerin ortalama gövde yaş ağırlığında %22.0 düzeyinde önemli bir artış tespit edilmiştir (Şekil 2).



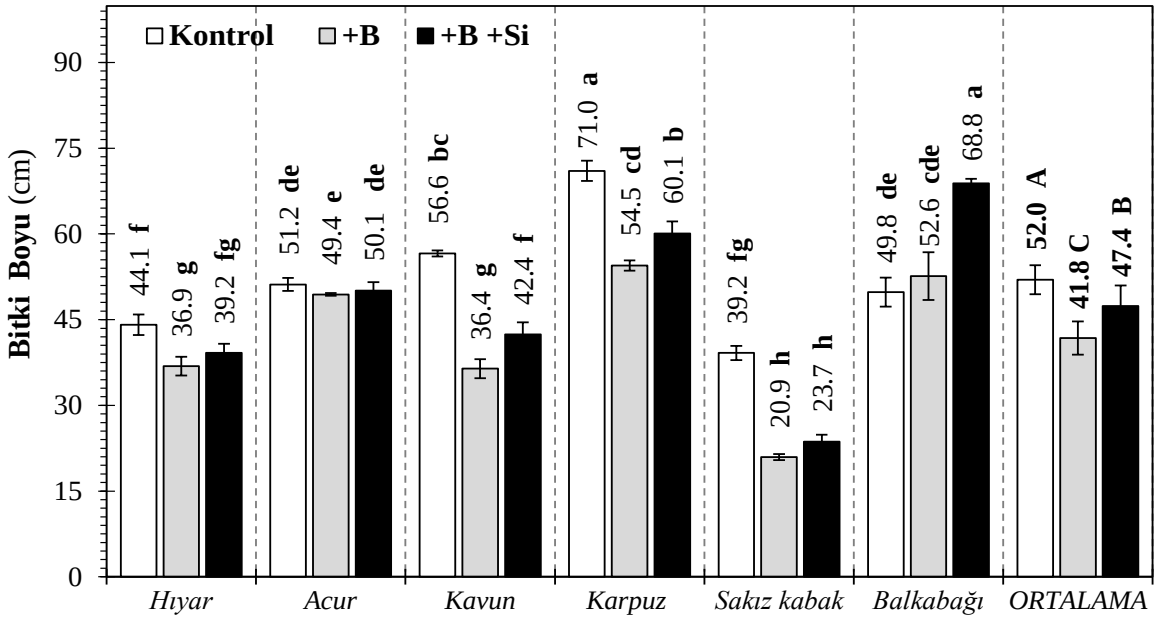
Şekil 2. Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin gövde kuru ağırlıklarına silisyumun etkisi

Kontrole göre B toksisitesi (+B) koşullarında tüm türlerin gövde kuru ağırlığında önemli azalmalar belirlenmiş ve türlerin gövde kuru ağırlığındaki azalma düzeyleri; hıyar için %49.1, acur için %40.0, kavun için %59,3, karpuz için %55.9, sakız kabak için %29.1 ve balkabağı için %42.0 olarak tespit edilmiştir (Şekil 2). Bor toksisitesine (+B) göre +B+Si uygulaması ile türlerin gövde kuru ağırlığında artışlar saptanmıştır. Kavun (%65.4), karpuz (%49.7) ve balkabağının (%26.6) gövde kuru ağırlığında belirlenen artışlar önemli bulunurken, hıyar (%10.2), acur (%16.0) ve sakız kabağının (%2.9) gövde kuru ağırlığında saptanan artışlar önemsiz olarak belirlenmiştir (Şekil 2).

4.1.2. Bitki Boyu

Familyadaki türler birlikte değerlendirildiğinde; kontrol uygulamasına (52.0 cm) göre B toksisitesi (+B) koşullarında (41.8 cm) türlerin ortalama bitki boylarında %19.6 düzeyinde önemli bir azalma belirlenmiştir (Şekil 3). Bor toksisitesi (+B) koşullarına göre +B+Si uygulaması (47.4 cm) ile türlerin ortalama bitki boyu %13.4 düzeyinde önemli bir artış belirlenmiştir (Şekil 3).

Kontrole göre B-toksik (+B) koşullarda balkabağı hariç diğer türlerin bitki boylarında azalmalar belirlenmiş ve hıyar (%16.3), kavun (%35.7), karpuz (%23.2) ve sakız kabak için (%46.7) belirlenen azalmalar önemli bulunurken acurun bitki boyunda saptanan azalma (%3.5) önemsiz olarak tespit edilmiştir (Şekil 3). Bununla birlikte, kontrole göre B toksisite (+B) uygulaması ile balkabağının bitki boyunda belirlenen artışta (%5.6) önemli bulunmuştur. Bor toksisitesin (+B) uygulaması göre +B+Si uygulaması ile türlerin bitki boylarında artışlar saptanmış ve kavun (%16.5), karpuz (%10.3) ve balkabağının (%30.8) bitki boylarında belirlenen artışlar önemli bulunurken, hıyar (%6.3) acur (%1.4) ve sakız kabağın (%13.4) bitki boylarında saptanan artışlar ise önemsiz olarak tespit edilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin bitki boyuna silisyumun etkisi

Bor seviyelerindeki artış; (i) bitkilerin hücre duvarının bozulmasına neden olmakta, (ii) besin dengesini ve su kullanımını olumsuz etkilemekte ve (iii) bitki büyümesinde negatif etki göstermektedir (Supanjani ve Lee, 2006; Kacar, 2018). Çeşitli araştırıcılar tarafından da araştırma bulgularımıza benzer sonuçlar açıklanmıştır. Bor toksisitesinin, hıyar ve domates (Alparslan ve Güneş, 2001), ıspanak (Moussa ve Algamal, 2017), pelin otu (Aftab vd., 2010), pamuk (Kaptan, 2013; Ahmed vd., 2008), mısır (Nawaz vd., 2020; Güneş vd., 2000), fasulye (Akoğlu, 2013; Samet vd., 2013) ve buğdayın (Ashagre vd., 2014; Metwally vd., 2012; Karaman vd., 2012) bitki yaş ve kuru ağırlığını azalttığı rapor edilmiştir. Yaptığımız

çalışmada, *Cucurbitacea* türlerine uygulanan B toksisitesi sonucunda görülen yaş ve kuru ağırlık azalmaları daha önce yapılan çalışmalarda; hıyar (Alparslan ve Güneş, 2001), kavun (Chatzistathis vd., 2021; Goldberg vd., 2003) ve karpuz (Hamurcu vd., 2015; Farag vd., 2017) bitkilerinde bezer şekilde açıklanmıştır. Bununla birlikte, domates (Keleş vd., 2011), pelin otu (Aftab vd., 2010), buğday (Baykal ve Öncel, 2006), pamuk (Harite, 2008) ve mısırın (Hosseini vd., 2007) bitki boyunda B-toksik koşullarda çeşitli araştırmacılar önemli azalmalar saptamışlardır.

Silisyum bitkilerin yeşil aksamda bulunan epidermal dokularında silika-selüloz membran tabakası oluşturarak ve bu sayede transpirasyonu azaltarak kuraklığa dayanıklılık sağlamakta, toprak çözeltisinde Fe-Si, Mn-Si ve Al-Si kompleksleri oluşturarak bitkilerde ağır metal toksisitesinin etkilerini azaltmakta, hücre duvarının kalınlığını artırarak gövdenin biyotik streslere karşı dayanıklılığını artırmakta ve çorak (tuzlu) topraklarda bulunması halinde toprakta Na-silikat oluşturarak bitkide oluşturacağı tuz stresini azaltmaktadır (Horuz, 2018). Araştırma bulgularımıza benzer sonuçlar çeşitli araştırıcılar tarafından da rapor edilmiştir. Bor toksisitesinin zararlı etkilerinin Si uygulaması ile giderilebileceğine dair çalışmalarda, örneğin; domateste kuru madde ve meyve verimi (Kaya vd., 2011), pamukta tüm bitki biyokütle üretimi (Pereira de Souza Junior vd., 2019), bezelyede de yaş gövde ağırlığı ve toplam biyokütle üretimi (Oliveira, 2019), arpada gövde büyümesi (Inal vd., 2009) ve çeltikten bitki biyokütle üretimi (Farooq vd., 2019) artışı belirlenmiştir.

4.2. Kök Parametrelerine Bor Toksisistesi ve Silisyumun Etkisi

4.2.1. Kök Yaş ve Kuru Ağırlığı

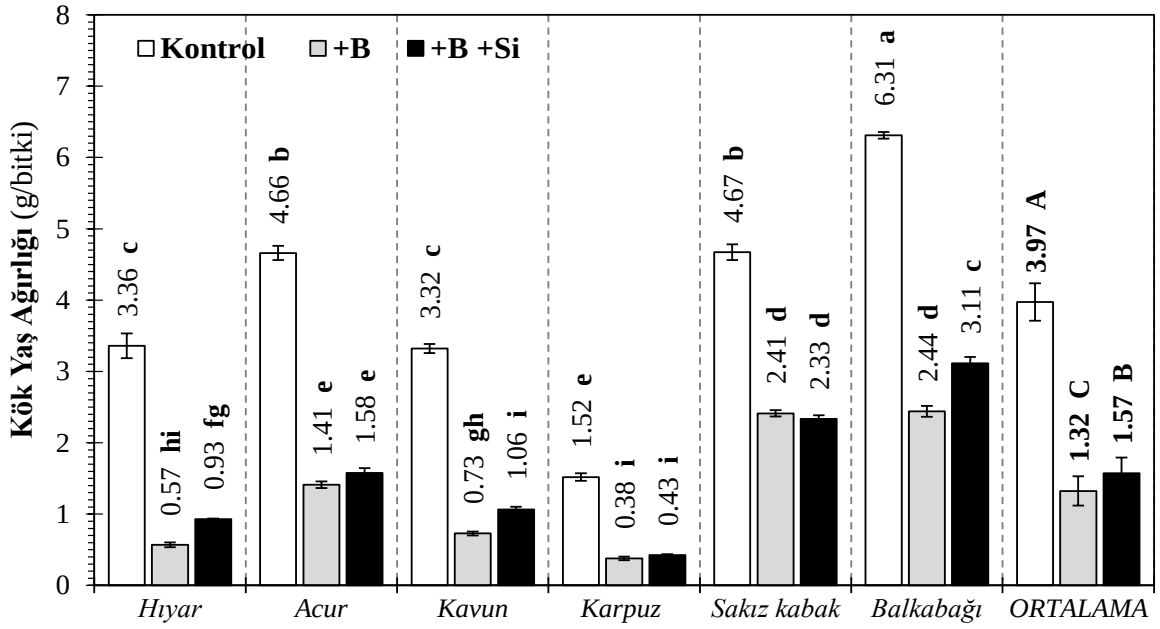
Bor toksisistesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin kök yaş ağırlığı ve kök kuru ağırlığına Si uygulamalarının etkisine ait varyans analiz sonuçları Tablo 3'de, kök yaş ağırlıklarına ait ortalamalar Şekil 4'de, kök kuru ağırlıklarına ait ortalamalar Şekil 5'de sunulmuştur. Tablo 3 ile Şekil 4 ve 5 birlikte incelendiğinde; B toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* türlerinde Si uygulamalarının kök yaş ve kuru ağırlıkları üzerine tür, uygulama ve tür x uygulama interaksiyonunun etkileri istatistiksel olarak önemli ($p \leq 0.001$) bulunmuştur (Tablo 3).

Tablo 3

Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin kök yaş ve kuru ağırlıklarına silisyumun etkisine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	**Kök Yaş Ağırlığı**		**Kök Kuru Ağırlığı**	
		Kareler Toplamı	*F* Değeri	Kareler Toplamı	*F* Değeri
Genel	53	145.39	-	0.5537	-
Tür (T)	5	59.99	456.4***	0.2578	452.4***
Uygulama (U)	2	77.08	1469.0***	0.2652	1163.5***
T×U İnteraksiyonu	10	7.50	28.6***	0.0267	23.4***
Hata	36	0.94	-	0.0041	-

Familyadaki türler birlikte değerlendirildiğinde; kontrol uygulamasına (3.97 g bitki^{-1}) göre B-toksik (+B) koşullarda (1.32 g bitki^{-1}) türlerin ortalama kök yaş ağırlığında %66.8 seviyesinde önemli bir azalma saptanmıştır (Şekil 4). Bununla birlikte, B toksisitesi (+B) koşullarına göre +B+Si uygulaması (1.57 g bitki^{-1}) ile türlerin ortalama kök yaş ağırlığında %18.9 düzeyinde önemli bir artış tespit edilmiştir (Şekil 4).

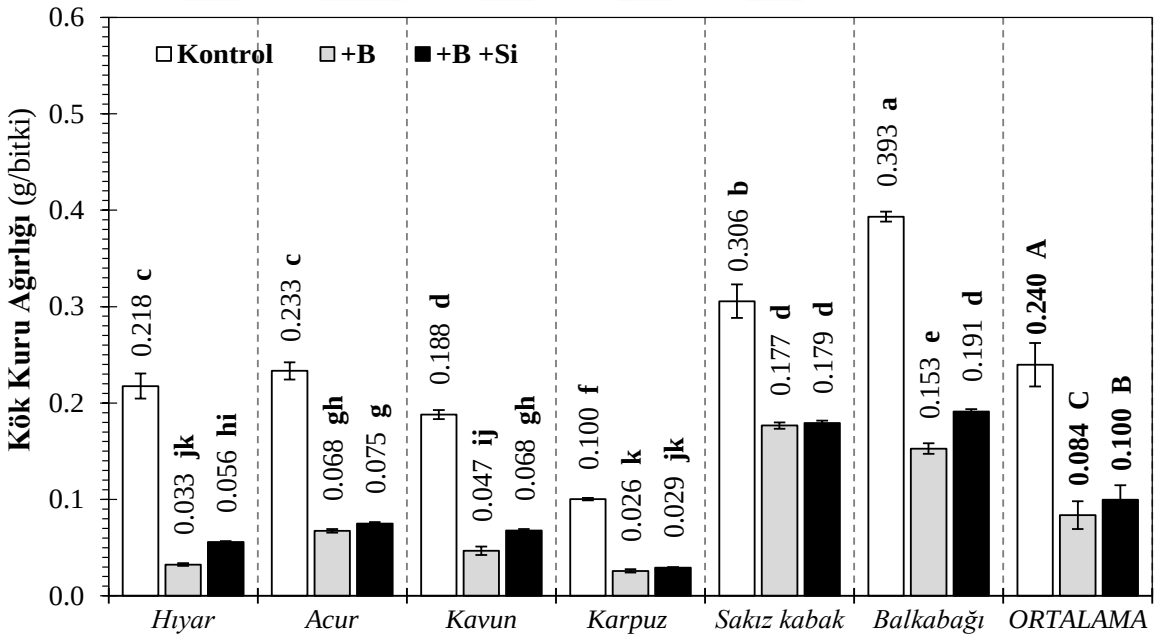


Şekil 4. Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin kök yaş ağırlıklarına silisyumun etkisi

Kontrole göre B toksisitesi (+B) koşullarında tüm türlerin kök yaş ağırlıklarında önemli azalmalar belirlenmiş ve bu azalma düzeyleri; hıyar için %83.0, kavun için %78.0,

karpuz için %75.0, acur için %69.7, balkabağı için %61.3 ve sakız kabak için %48.4 olarak tespit edilmiştir (Şekil 4). Bor toksisitesine (+B) göre +B+Si uygulaması ile sakız kabağı hariç türlerin kök yaş ağırlıklarında artışlar saptanmıştır. Hıyar (%63.2), kavun (%45.2) ve balkabağının (%27.5) kök yaş ağırlıklarında belirlenen artışlar önemli bulunurken, acur (%12.1) ve karpuzda (%13.2) saptanan artışlar ise önemsiz bulunmuştur (Şekil 4). Buna karşın, sakız kabağının (%3.3) kök yaş ağırlığında tespit edilen azalma ise önemsiz bulunmuştur.

Familyadaki türler birlikte değerlendirildiğinde; kontrol uygulamasına (0.240 g bitki^{-1}) göre B toksisitesi (+B) koşullarında (0.084 g bitki^{-1}) türlerin ortalama kök kuru ağırlığında %65.0 düzeyinde önemli bir azalma belirlenmiştir (Şekil 5). Bor toksisitesi (+B) koşullarına göre +B+Si uygulaması (0.100 g bitki^{-1}) ile türlerin ortalama kök kuru ağırlığında %19.0 düzeyinde önemli bir artış tespit edilmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin kök kuru ağırlıklarına silisyumun etkisi.

Kontrole göre B toksisitesi (+B) koşullarında tüm türlerin kök kuru ağırlıklarında önemli azalmalar belirlenmiş ve türlerin bitki boylarındaki bu azalma düzeyleri; hıyar için %84.9, kavun için %75.0, karpuz için %74.0, acur için %70.8, balkabağı için %61.1 ve sakız kabak için %42.2 olarak tespit edilmiştir (Şekil 5). Bor toksisitesine (+B) göre +B+Si uygulaması ile türlerin kök kuru ağırlıklarında artışlar saptanmıştır. Hıyar (%69.7), kavun

(%44.7) ve balkabağının (%24.8) kök kuru ağırlıklarında saptanan artışlar önemli bulunurken, karpuz (%11.5), acur (%10.3) ve sakız kabağında (%1.1) belirlenen artışlar ise önemsiz bulunmuştur (Şekil 5).

4.2.2. Gövde/Kök Oranı ve Kök Uzunluğu

Bor toksisistesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin gövde/kök oranı ve kök uzunluklarına Si uygulamalarının etkisine ait varyans analiz sonuçları Tablo 4'de, gövde/kök oranlarına ait ortalamalar Şekil 6'da, kök uzunluklarına ait ortalamalar Şekil 7'de sunulmuştur. Tablo 4 ile Şekil 6 ve 7 birlikte incelendiğinde; B toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* türlerinde Si uygulamalarının gövde/ kök oranları ve kök uzunlukları üzerine tür, uygulama ve tür x uygulama interaksiyonunun etkileri istatistiksel olarak önemli ($p \leq 0.001$) bulunmuştur (Tablo 4).

Tablo 4

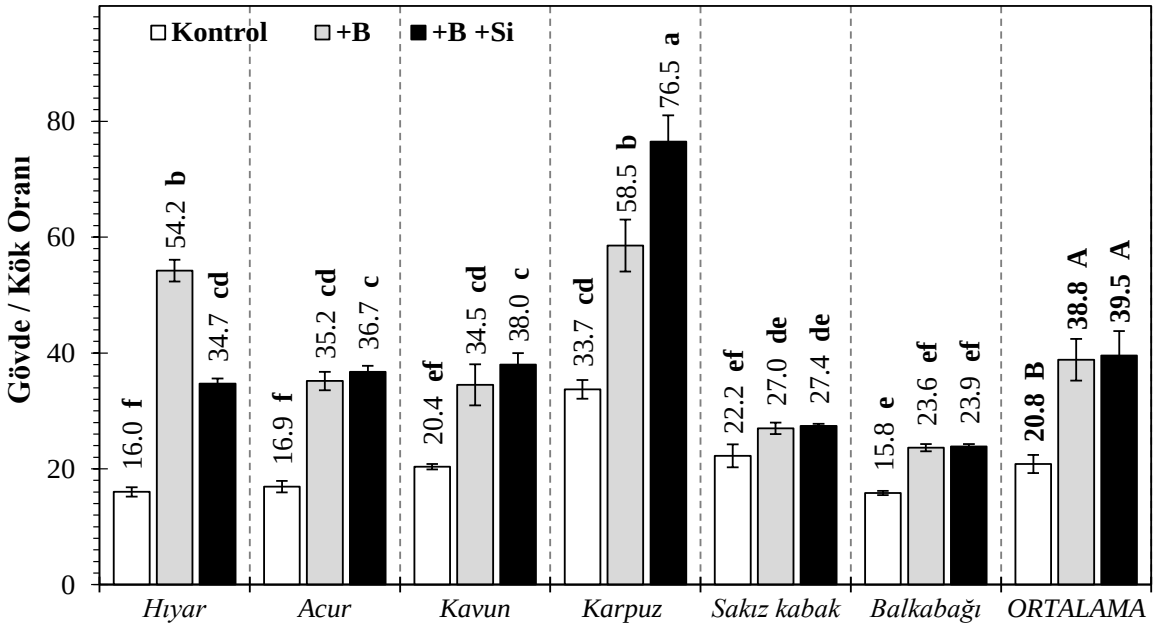
Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin kök/gövde oranı ve kök uzunluklarına silisyumun etkisine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	**Gövde/Kök Oranı**		**Kök Uzunluğu**	
		Kareler Toplamı	*F* Değeri	Kareler Toplamı	*F* Değeri
Genel	53	14245.7	-	1221.8	-
Tür (T)	5	6812.6	46.7***	703.7	144.1***
Uygulama (U)	2	4039.0	69.3***	378.8	194.0***
T×U İnteraksiyonu	10	2344.3	8.0***	104.1	10.7***
Hata	36	1049.9	-	35.2	-

Familyadaki türler birlikte değerlendirildiğinde; kontrol uygulamasına (20.8) göre B-toksik (+B) koşullarda (38.8) türlerin ortalama gövde/kök oranında %86.5 seviyesinde önemli bir artış belirlenmiştir (Şekil 6). Bununla birlikte, B toksisitesi (+B) koşullarına göre +B+Si uygulaması (39.5) ile türlerin ortalama gövde/kök oranında önemli olmayan bir artış (%1.8) belirlenmiştir (Şekil 6).

Kontrole göre B toksisitesi (+B) koşullarında türlerin gövde/kök oranlarında artışlar belirlenmiş ve hıyar (3.39 kat), acur (2.08 kat), karpuz (%73.6) ve kavunun (%69.1) gövde/kök

oranlarında belirlenen bu artışlar önemli bulunurken, buna karşın balkabağı için %49.4 düzeyinde ve sakız kabağı için %21.6 düzeyinde saptanan artışlar önemli bulunmamıştır (Şekil 6).



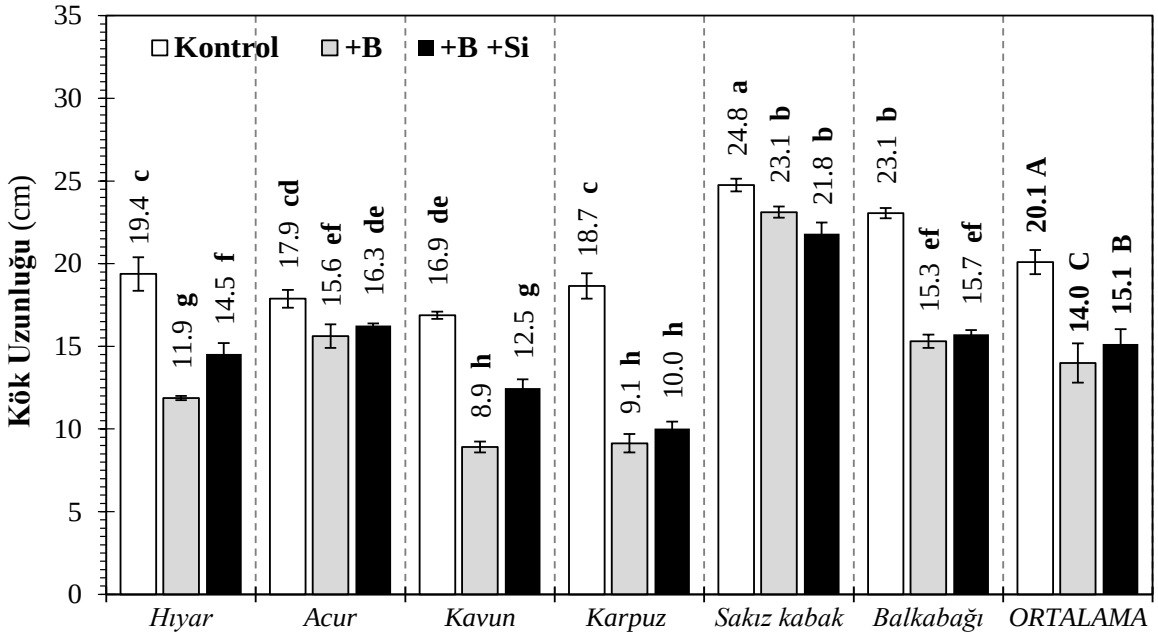
Şekil 6. Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin gövde/kök oranlarına silisyumun etkisi

Bor toksisitesine (+B) göre +B+Si uygulaması ile hıyarın gövde/kök oranında belirlenen azalma (%36.0) önemli bulunurken, kavun (%10.1), acur (%4.3), sakız kabak (%1.5) ve balkabağının (1.3) gövde/kök oranında tespit edilen azalmaların önemli olmadığı belirlenmiştir. Buna karşın, B toksisitesine (+B) göre +B+Si uygulaması ile karpuzun gövde/kök oranında önemli bir artış (%30.8) belirlenmiştir (Şekil 6).

Familyadaki türler birlikte değerlendirildiğinde; kontrol uygulamasına (20.1 cm) göre B toksisitesi (+B) koşulları (14.0 cm) ile türlerin ortalama kök uzunluğu %30.3 düzeyinde önemli bir azalma görülmüştür (Şekil 7). B-toksik (+B) koşullara göre +B+Si uygulaması (15.1 cm) ile türlerin ortalama kök uzunuluğunda %6.3 düzeyinde önemli bir artış belirlenmiştir (Şekil 7).

Kontrole göre B toksisitesi (+B) koşullarında tüm türlerin kök uzunluklarında önemli azalmalar belirlenmiş ve türlerin kök uzunluklarındaki bu azalma düzeyleri; karpuz için %51.3, kavun için %47.3, hıyar için %38.6, balkabağı için %33.8, acur için %12.8 ve sakız

kabak için %6.9 olarak tespit edilmiştir (Şekil 7). Bor toksisitesine (+B) göre +B+Si uygulaması ile sakız kabak hariç türlerin kök uzunluklarında artışlar saptanmıştır. Kavun (%40.4) ve hıyarın (%21.8) kök uzunluklarında önemli artışlar saptanırken, karpuz (%9.9), acur (%4.5), ve balkabağında (%2.6) saptanan artışlar ise önemsiz bulunmuştur (Şekil 6). Buna ilave olarak, B toksisitesine (+B) göre +B+Si uygulaması ile sakız kabağının kök uzunluğunda belirlenen azalma (%5.6) ise önemsiz bulunmuştur (Şekil 7).



Şekil 7. Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin kök uzunluklarına silisyumun etkisi

4.2.3. Kök Hacmi ve Kök Membran Geçirgenliği

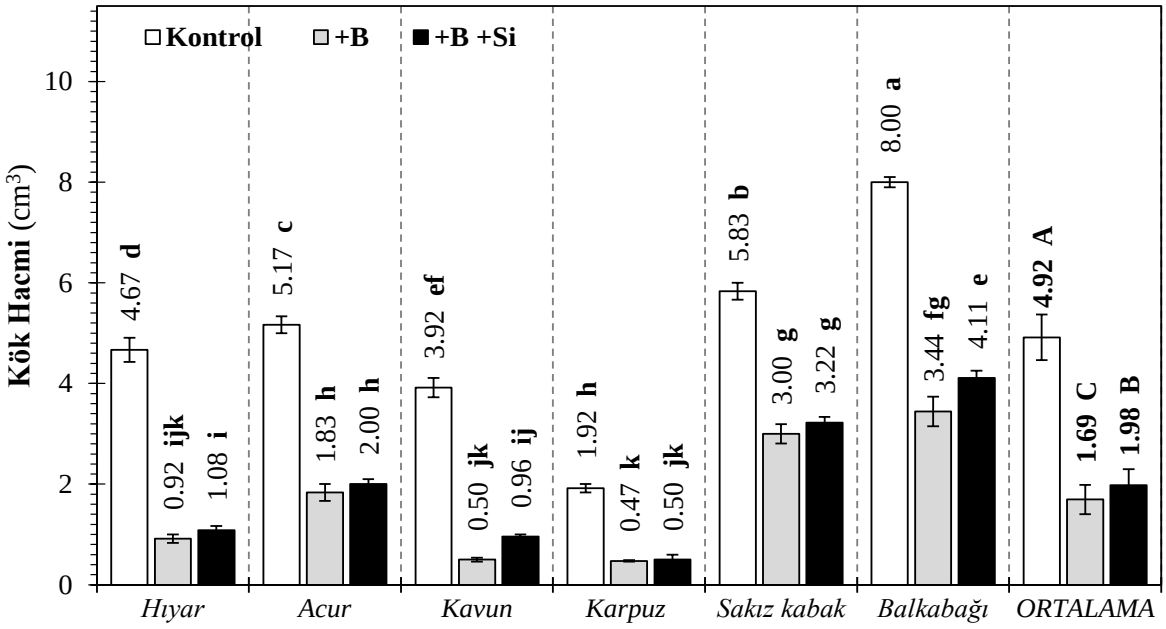
Bor toksisistesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin kök hacmi ve kök membran geçirgenliklerine Si uygulamalarının etkisine ait varyans analiz sonuçları Tablo 5'de, kök hacimlerine ait ortalamalar Şekil 8'de ve kök membran geçirgenliklerine ait ortalamalar ise Şekil 9'da sunulmuştur. Tablo 5 ile Şekil 8 ve 9 birlikte incelendiğinde; B toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* türlerinde Si uygulamalarının kök hacimlerine türlerin, uygulamaların ve tür x uygulama interaksiyonunun etkileri istatistiksel olarak %0.1 düze yinde önemli bulunmuştur. Bununla birlikte, kök membran geçirgenliğine türlerin ve tür x uygulama intreraksiyonunun etkisi %0.1 düzeyinde önemli bulunurken, uygulamaların etkisi istatistiksel olarak %5 düzeyinde önemli bulunmuştur (Tablo 5).

Tablo 5

Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin kök hacmi ve gövde/kök oranına silisyumun etkisine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	**Kök Hacmi**		**Kök Membran Geçirgenliği**	
		Kareler Toplamı	*F* Değeri	Kareler Toplamı	*F* Değeri
Genel	53	234.29	-	4887.3	-
Tür (T)	5	107.25	259.3***	4306.0	310.1***
Uygulama (U)	2	114.57	692.6***	23.3	4.2*
T×U İnteraksiyonu	10	9.49	11.5***	458.0	16.5***
Hata	36	2.98	-	100.0	-

Familyadaki türler birlikte incelendiğinde; kontrol uygulamasına (4.92 cm^3) göre B-toksik (+B) koşullarda (1.69 cm^3) türlerin ortalama kök hacminde %65.6 seviyesinde önemli bir azalma saptanmıştır (Şekil 8). Bununla birlikte, B toksisitesi (+B) koşullarına göre +B+Si uygulaması (1.98 cm^3) ile türlerin ortalama kök hacminde %17.2 düzeyinde önemli bir artış belirlenmiştir (Şekil 8).



Şekil 8. Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin kök hacimlerine silisyumun etkisi

Kontrole göre B toksisitesi (+B) koşullarında tüm türlerin kök hacminde önemli azalmalar belirlenmiş ve türlerin kök hacimlerindeki azalma düzeyleri; kavun için %87.2, hıyar

için %80.3, karpuz için %75.5, acur için %64.6, balkabağı için %57.0 ve sakız kabağı için %48.5 olarak tespit edilmiştir (Şekil 8). Bununla birlikte, B toksisitesine (+B) koşullarına göre +B+Si koşulları ile türlerin kök hacimlerinde artışlar saptanmış ve kavun (%92.0), hıyar (%17.4), acur (%9.3), sakız kabak (% 7.3) ve karpuzun (%6.4) kök hacimlerinde belirlenen artışlar önemli bulunmazken, balkabağının kök hacminde tespit edilen artış (% 19.5) önemli bulunmuştur (Şekil 8).

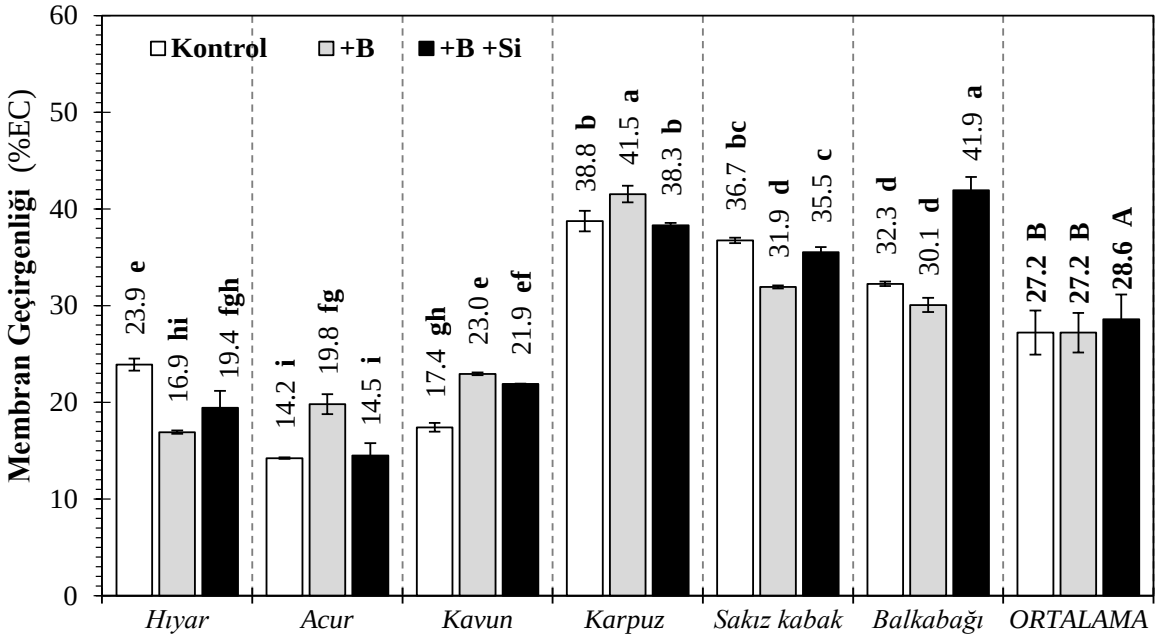
Yüksek B konsantrasyonlarına maruz kalan bitkilerde B, biyolojik moleküllerin ribozlarına bağlanır ve hücre bölünmesini ve gelişiminin bozulmasına neden olarak kök büyümesini de olumsuz etkiler (Kayıhan, 2020). Bor- toksik koşullarında farklı familyalara ait bitkilerle yapılan çalışmalarda köklerde meydana gelen azalmaları ortaya koymuştur. Farag ve Fang (2014) karpuzda, Keleş vd. (2011) domateste, Nawaz vd. (2020) mısırda, Ismail (2003) sorgumda, Ashagre vd. (2014), buğdayda ve Wang vd. (2010) hıyarda bitki gelişimiyle birlikte kök uzamasının da olumsuz yönde etkilediğini açıklamışlardır. Bununla birlikte, çeltikte (Farooq vd., 2015), mısırda (Güneş vd., 2000), fasulyede (Akoğlu, 2013; Samet vd., 2013) ve buğdayda (Brdar-Jokanović vd., 2013) B-toksik koşulların olumsuz etkileri olarak kök gelişiminde ve biyokütlesinde gerilemeler rapor edilmiştir. Çeşitli araştırıcılar tarafından açıklanan sonuçlar ile çalışmamızdan elde ettiğimiz sonuçlar paralellik göstermektedir.

Silisyum hücre zarının esnekliğini artırarak kök büyümesini teşvik eder (Oral vd., 2020). Çeşitli araştırıcılar tarafından araştırma bulgularımıza benzer sonuçlar rapor edilmiştir. Bor toksisitesinin kök büyümesindeki zararlı etkilerinin Si uygulaması ile giderilebileceğine dair çalışmalarda, örneğin; arpa ve buğdayda (Erkan, 2014), domateste (Kaya vd., 2011) pamukta (Pereira de Souza Junior vd., 2014) ve bezelyede (Oliveira, 2019) açıklanmıştır.

Familyadaki türler birlikte incelendiğinde; kontrol uygulamasına (%27.2) göre B-toksik (+B) koşullarda (%27.2) türlerin ortalama kök membran geçirgenliğinde herhangi bir değişim görülmemiştir (Şekil 9). Bununla birlikte, B toksik (+B) koşullara göre +B+Si uygulaması (%28.6) ile türlerin ortalama kök membran geçirgenliği %5.1 düzeyinde artmış ve bu değişim önemli bulunmuştur (Şekil 9).

Kontrole göre B toksisitesi (+B) koşullarında türlerin kök membran geçirgenliğindeki değişimler ayrımlı olmuş ve acur, kavun ve karpuzun kök membran geçirgenliklerinde

sırasıyla %39.4, %32.2 ve %7.0 düzeylerinde önemli artışlar tespit edilirken, buna karşın hıyar ve sakız kabağın kök membran geçirgenliklerinde ise sırasıyla %29.3 ve %13.1 düzeylerinde önemli azalmalar belirlenmiştir (Şekil 9). Bununla birlikte, kontrole göre B toksisitesi (+B) koşulları ile balkabağının kök membran geçirgenliğinde meydana gelen azalma (%6.8) ise önemli bulunmamıştır (Şekil 9). Bor toksisitesine (+B) göre +B+Si uygulaması ile balkabağı ve sakız kabağın kök membran geçirgenliklerinde sırasıyla %39.2 ve %11.3 oranlarında önemli artışlar belirlenirken, hıyarın kök membran geçirgenliğinde tespit edilen artış (%14.8) ise önemli bulunmamıştır (Şekil 9). Buna karşın, B toksik (+B) koşullara göre +B+Si koşulları ile acur ve karpuzun kök membran geçirgenliklerinde sırasıyla %26.8 ve %7.7 düzeylerinde önemli azalmalar tespit edilirken, kavunda belirlenen azalma (%4.8) ise önemli bulunmamıştır (Şekil 9).



Şekil 9. Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin kök membran geçirgenliklerine silisyumun etkisi

Bor toksisitesi bitkilerde süperoksit birikimine sebep olup, lipid ve proteinleri oksitleyerek membran yapısının bozulmasına ve böylece membran geçirgenliğinin artmasına neden olur (Ahmad vd., 2017). Bor toksisitesi koşullarında farklı familyalara ait bitkilerle yapılan çalışmalarda, membran geçirgenliğindeki artışlar bazı araştırmacılar tarafından da bildirilmiştir. Eraslan vd. (2007a) marulda, Eraslan vd. (2007b) domates ve biberde, Çikili vd. (2015) fıstıkda ve Soylemezoglu vd. (2009) üzümde B toksisitesinin membran hasarı vererek

geçirgenliğini artırdığını açıklamışlardır. Bununla beraber, B toksisitesinden etkilenmiş bazı türlere Si uygulamasıyla oksidatif etkileri hafifleterek membran geçirgenliğini azalttığı buğday (Gunes vd., 2007), arpa (Inal vd., 2009), bezelye (Oliveira, 2019) ve biber (Kaya vd., 2020) bitkilerinde yapılan çalışmalarda rapor edilmiştir.

4.3. Fotosentetik Pigment İçeriklerine Bor Toksisitesi ve Silisyumun Etkisi

4.3.1. Klorofil *a* ve Klorofil *b* İçeriği

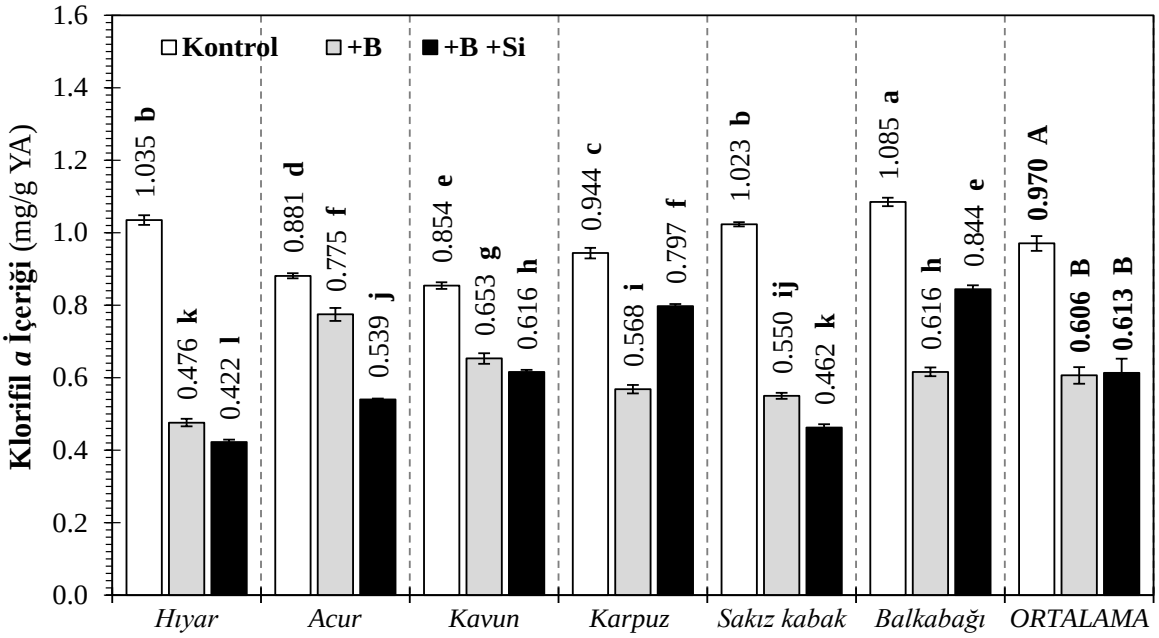
Bor toksisistesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin klorofil *a* ve klorofil *b* içeriklerine Si uygulamalarının etkisine ait varyans analiz sonuçları Tablo 6'da, klorofil *a* içeriğine ait ortalamalar Şekil 10'da ve klorofil *b* içeriğine ait ortalamalar Şekil 11'de sunulmuştur. Tablo 6 ile Şekil 10 ve 11 birlikte incelendiğinde; B toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* türlerinde Si uygulamalarının klorofil *a* ve klorofil *b* içeriklerine türlerin, uygulamaların ve tür x uygulama interaksiyonunun etkileri istatistiksel olarak %0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur (Tablo 6).

Tablo 6

Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin klorfil *a* ve klorofil *b* içeriklerine silisyumun etkisine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	**Klorofil *a* İçeriği**		**Klorofil *b* İçeriği**	
		Kareler Toplamı	*F* Değeri	Kareler Toplamı	*F* Değeri
Genel	53	2.3082	-	0.4280	-
Tür (T)	5	0.2346	179.4***	0.0516	46.5***
Uygulama (U)	2	1.5605	2983.6***	0.2644	595.7***
T×U İnteraksiyonu	10	0.5037	192.6***	0.1040	46.9***
Hata	36	0.0094	-	0.0080	-

Familyadaki türler birlikte değerlendirildiğinde; kontrol uygulamasına (0.970 mg g^{-1} YA) göre B toksisitesi koşullarında (0.606 mg g^{-1} YA) türlerin ortalama klorofil *a* içeriğinde önemli bir azalma (%37.5) görülmüştür (Şekil 10). Buna karşın, B-toksik (+B) koşullara göre +B+Si uygulaması (0.613 mg g^{-1} YA) ile türlerin ortalama klorofil *a* içeriğinde önemli olmayan bir artış (%1.2) belirlenmiştir (Şekil 10).



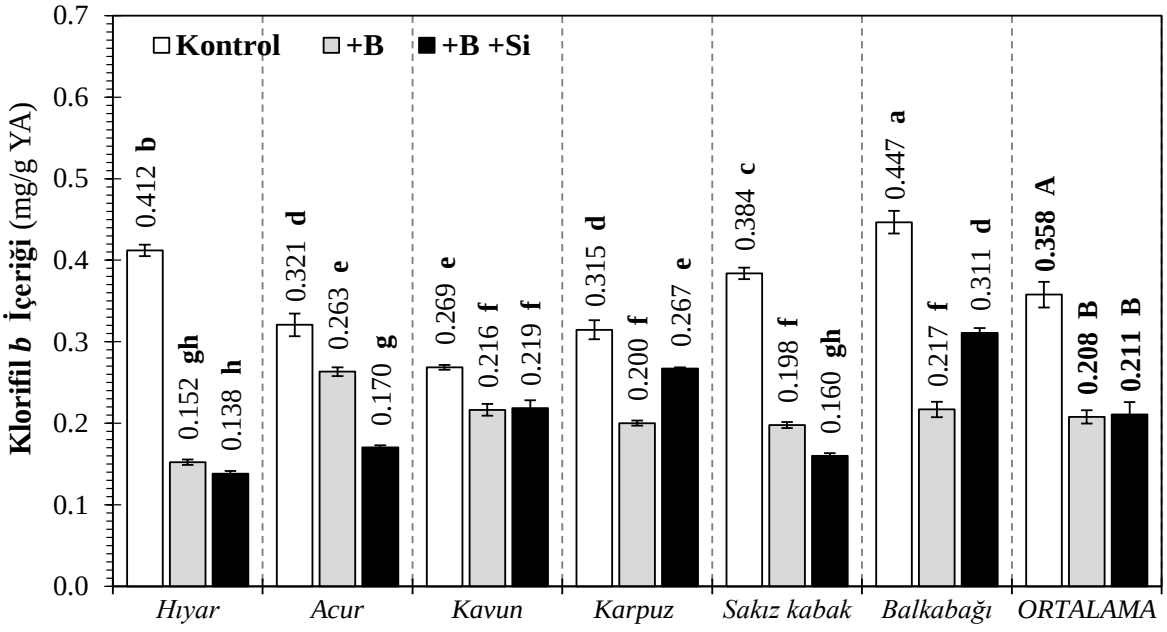
Şekil 10. Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin klorofil *a* içeriklerine silisyumun etkisi

Kontrole göre B toksik (+B) koşullarda tüm türlerin klorofil *a* içeriklerinde önemli azalmalar belirlenmiş ve bu azalma düzeyleri; hıyar için %54.0, sakız kabak için %46.2, balkabağı için %43.2, karpuz için %39.8, kavun için %23.5 ve acur için %12.0 olarak tespit edilmiştir (Şekil 10). Bor toksik (+B) koşullara göre +B+Si uygulaması ile karpuz ve balkabağının klorofil *a* içeriklerinde sırasıyla % 40.3 ve %37.0 oranlarında önemli artışlar belir lenirken, buna karşın acur, sakız kabak, hıyar ve kavunun klorofil *a* içeriklerinde ise sırasıyla %30.5, %16.0, %11.3 ve %5.7 düzeylerinde önemli azalmalar tespit edilmiştir (Şekil 10).

Familyadaki türler birlikte değerlendirildiğinde; kontrol uygulamasına (0.358 mg g^{-1} YA) göre B toksisitesi koşullarında (0.208 mg g^{-1} YA) türlerin ortalama klorofil *b* içeriğinde %41.9 düzeyinde önemli bir azalma tespit edilmiştir (Şekil 11). Bor toksisitesi (+B) koşullarına göre +B+Si uygulaması (0.211 mg g^{-1} YA) ile türlerin ortalama klorofil *b* içeriğininde önemli olmayan bir artış (%1.4) belirlenmiştir (Şekil 11).

Kontrole göre B toksisitesi (+B) koşullarında tüm türlerin klorofil *b* içeriklerinde önemli azalmalar belirlenmiştir. Kontrole göre B-toksik (+B) koşullarda türlerin klorofil *b* içeriklerinde meydana gelen azalma düzeyleri; hıyar için %63.1, balkabağı için %51.4, sakız kabak için %48.4, karpuz için %36.5, kavun için %19.7 ve acur için %18.1 olarak tespit edilmiştir

(Şekil 11). Bor toksisitesine (+B) göre +B+Si uygulaması ile balkabağı ve karpuzun klorofil *b* içeriklerinde sırasıyla %43.3 ve %33.5 düzeylerinde önemli artışlar belirlenirken, kavunun klorofil *b* içeriğinde tespit edilen artış (%1.4) ise önemli bulunmamıştır. Buna karşın, B-toksik (+B) koşullara göre +B+Si koşulları ile acur ve sakız kabağının klorofil *b* içeriklerinin sırasıyla %35.4 ve %19.2 seviyelerinde tespit edilen azalmalar önemli bulunurken, hıyarın klorofil *b* içeriğinde saptanan azalma (%9.2) önemli bulunmamıştır (Şekil 11).



Şekil 11. Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin klorofil *b* içeriklerine silisyumun etkisi

4.3.2. Toplam Klorofil İçeriği

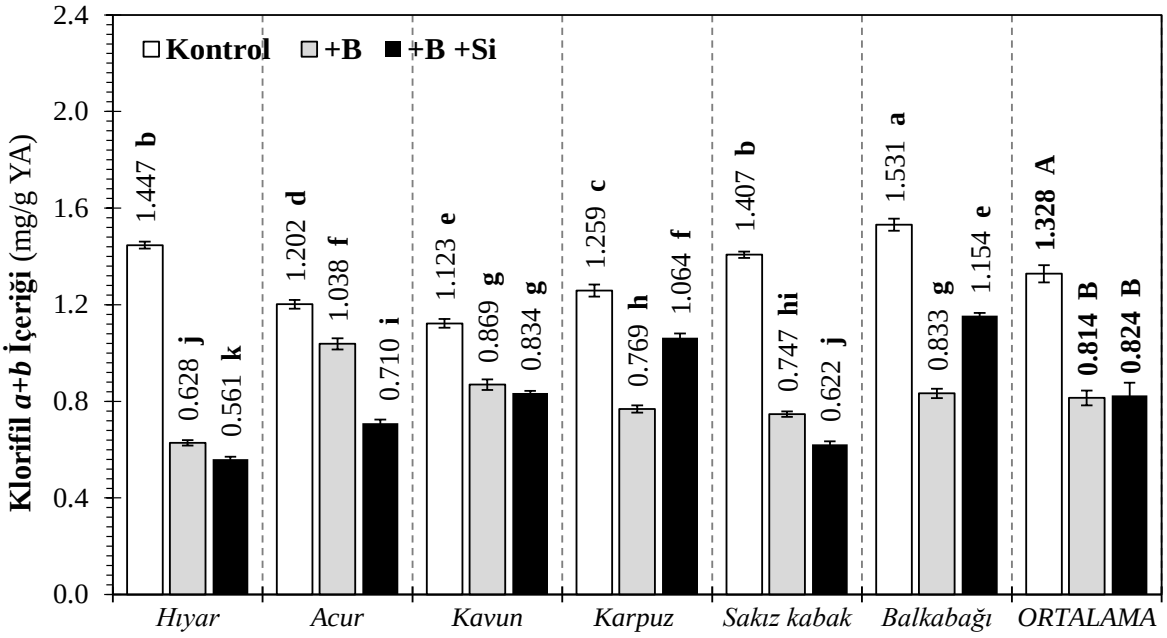
Bor toksisistesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin klorofil *a+b* ve karotenoid içeriklerine Si uygulamalarının etkisine ait varyans analiz sonuçları Tablo 7'de, klorofil *a+b* içeriğine ait ortalamalar Şekil 12'de ve karotenoid içeriğine ait ortalamalar ise Şekil 13'de sunulmuştur. Tablo 7 ile Şekil 12 ve 13 birlikte incelendiğinde; B toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* türlerinde Si uygulamalarının klorofil *a+b* ve karotenoid içerikle rine türlerin, uygulamaların ve tür x uygulama interaksiyonunun etkileri istatistiksel olarak %0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur (Tablo 7).

Tablo 7

Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin klorofil *a*+*b* ve karotenoid içeriklerine silisyumun etkisine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	**Klorofil *a*+*b* İçeriği**		**Karotenoid İçeriği**	
		Kareler Toplamı	*F* Değeri	Kareler Toplamı	*F* Değeri
Genel	53	4.660	-	0.3447	-
Tür (T)	5	0.486	154.8***	0.0636	275.2***
Uygulama (U)	2	3.109	2474.7***	0.1864	2016.6***
T×U İnteraksiyonu	10	1.042	165.9***	0.0931	201.6***
Hata	36	0.023	-	0.0017	-

Familyadaki türler birlikte incelendiğinde; kontrol uygulamasına (1.328 mg g^{-1} YA) göre B toksisitesi (+B) koşullarında (0.814 mg g^{-1} YA) türlerin ortalama klorofil *a*+*b* içeriğinde önemli bir azalma (%38.7) görülmüştür (Şekil 12). Buna karşın, B-toksik (+B) koşullara göre +B+Si uygulaması (0.824 mg g^{-1} YA) ile türlerin ortalama klorofil *a*+*b* içeriğinde önemli olmayan bir artış (%1.2) belirlenmiştir (Şekil 12).



Şekil 12. Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin klorofil *a*+*b* içeriklerine silisyumun etkisi

Kontrole göre B toksisitesi (+B) koşullarında tüm türlerin klorofil *a*+*b* içeriklerinde önemli azalmalar belirlenmiştir. Kontrole göre B-toksik (+B) koşullarda türlerin klorofil

a+b içeriklerinde meydana gelen azalma düzeyleri; hıyar için %56.6, sakız kabak için %46.9, balkabağı için %45.6, karpuz için %38.9, kavun için %22.6 ve acur için %13.6 olarak tespit edilmiştir (Şekil 12). Bor toksisitesine (+B) göre +B+Si uygulaması ile balkabağı ve karpuzun klorofil *a+b* içeriklerinde sırasıyla %38.5 ve % 38.4 düzeylerinde önemli artışlar belirlenirken, buna karşın acur (%31.6), sakız kabak (%16.7) ve hıyarın (%10.7) klorofil *a+b* içeriklerinde önemli azalmalar belirlenmiştir. Bununla birlikte, B-toksik (+B) koşullara göre +B+Si koşulları ile kavunun klorofil *a+b* içeriğinde tespit edilen azalma (%4.0) ise önemli bulunmamıştır (Şekil 12).

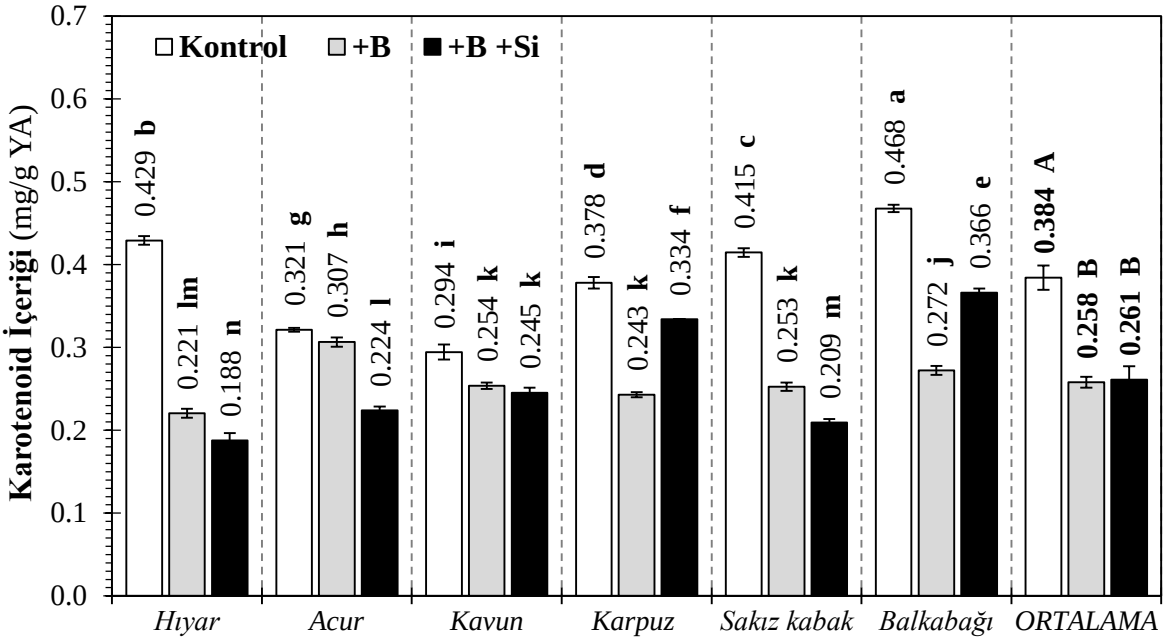
4.3.3. Karotenoid İçeriği

Familyadaki türler birlikte incelendiğinde; kontrol uygulamasına (0.384 mg g^{-1} YA) göre B toksisitesi (+B) koşullarında (0.258 mg g^{-1} YA) türlerin ortalama karotenoid içeriğinde önemli bir azalma (%32.8) görülmüştür (Şekil 13). Buna karşın, B-toksik (+B) koşullara göre +B+Si uygulaması (0.261 mg g^{-1} YA) ile türlerin ortalama karotenoid içeriğinde önemli olmayan bir artış (%1.2) belirlenmiştir (Şekil 13).

Kontrole göre B toksisitesi (+B) koşullarında tüm türlerin karotenoid içeriklerinde önemli azalmalar belirlenmiştir. Kontrole göre B-toksik (+B) koşullarda türlerin karotenoid içeriklerinde meydana gelen azalma düzeyleri; hıyar için %48.5, balkabağı için %41.9, sakız kabak için %39.0, karpuz için %35.7, kavun için %13.6 ve acur için %4.4 olarak tespit edilmiştir (Şekil 13). Bor toksisitesine (+B) göre +B+Si uygulaması ile karpuz ve balkabağının karotenoid içeriklerinde sırasıyla %37.4 ve % 34.6 düzeylerinde önemli artışlar belirlenirken, buna karşın acur (%27.0), hıyar (%14.9) ve sakız kabağın (%17.4) karotenoid içeriklerinde önemli azalmalar belirlenmiştir. Buna birlikte, B-toksik (+B) koşullara göre +B+Si koşulları ile kavunun karotenoid içeriğinde tespit edilen azalma (%3.5) ise önemli bulunmamıştır (Şekil 13).

Bor toksisitesi; fotosentetik organların çok fazla B içermesi ile birlikte doku parçalanmalarına neden olmakta ve fotosentez ürünlerinin azalmasına sebep olmaktadır (Kaptan, 2013). Bor toksisitesi koşullarında yapılan çalışmalarda toplam klorofilde meydana gelen azalmalar bazı araştırıcılar tarafından da bildirilmiştir. Biber (Supanjani ve Lee, 2006), pelin otu (Aftab vd., 2010) ve yer fıstığının (Çıkılı vd., 2015) toplam klorofil içeriklerinin B-toksik koşullarda olumsuz yönde etkilendiği açıklanmıştır. Silisyumun abiyotik stres koşullarında

klorofil zararlanması görülen bitkilerde klorofil içeriğinin artmasına ve fotosistem II'nin reaksiyon merkez sayılarının artmasına, bununda elektron taşıma zincirinin uyarılma enerjisinin kullanımının artmasına ve dolayısıyla fotokimyasal verimliliğinin artmasına yarar sağladığı bilinmektedir (Al-aghabary vd., 2005; Rastogi vd., 2021). Bununla birlikte, B toksisitesi koşullarında Si uygulamasının mısır (Nawaz vd., 2020), domates (Kaya vd., 2011), çeltik (Farooq vd., 2019) ve pamuk (Pereira de Souza Junior vd., 2014) bitkilerinde oksidatif stresi azaltarak B toksisitesinin zararlı etkilerini hafiflettiği bildirilmiştir.



Şekil 13. Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin karotenoid içeriklerine silisyumun etkisi

4.4. Bor Konsantrasyonu ve Alımına Bor Toksisitesi ve Silisyumun Etkisi

4.4.1. Bor Konsantrasyonu

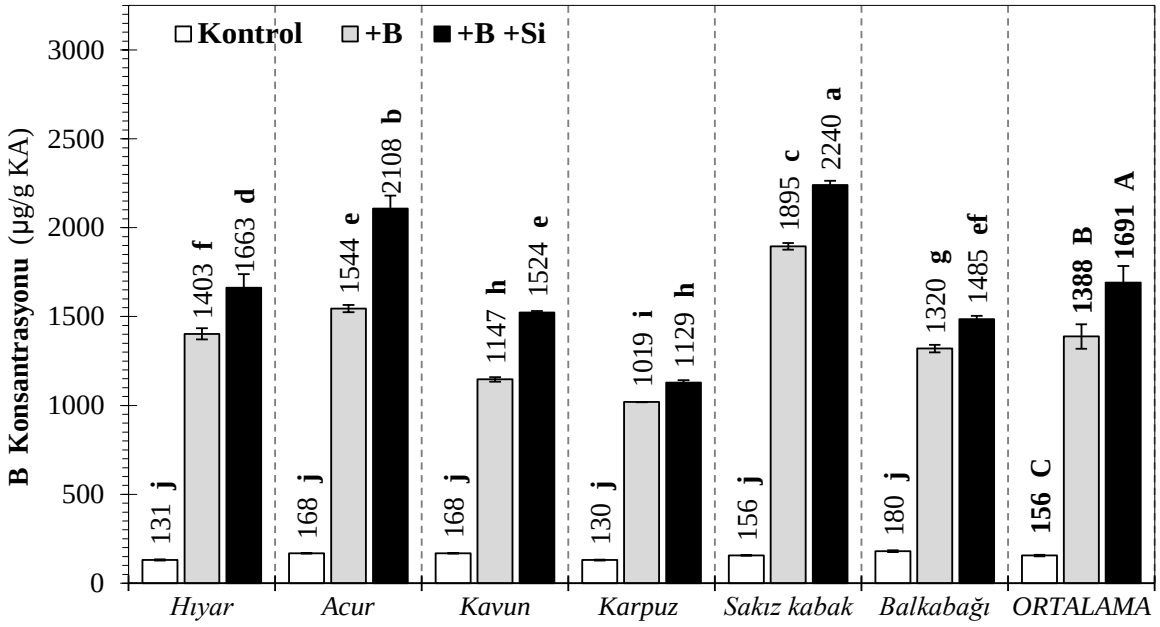
Bor toksisistesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin toprak üstü aksam B konsantrayonları ve B alımlarına Si uygulamalarının etkisine ait varyans analiz sonuçları Tablo 8'de, B konsantrayonlarına ait ortalamalar Şekil 14'te ve B alımlarına ait ortalamalar ise Şekil 15'de sunulmuştur. Tablo 8 ile Şekil 14 ve 15 birlikte incelendiğinde; B toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* türlerinde Si uygulamalarının toprak üstü aksam B konsantrayonlarına ve B alımlarına türlerin, uygulamaların ve tür x uygulama interaksiyonunun etkileri istatistiksel olarak ($p \leq 0.001$) önemli bulunmuştur (Tablo 8).

Tablo 8

Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin toprak üstü aksam B konsantrasyonları ve B alımlarına silisyumun etkisine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	**Bor Konsantrasyonu**		**Bor Alımı**	
		Kareler Toplamı	*F* Değeri	Kareler Toplamı	*F* Değeri
Genel	53	27947005	-	481.3	-
Tür (T)	5	2594326	209.0***	188.1	634.5***
Uygulama (U)	2	23821831	4797.7***	214.8	1811.2***
T×U İnteraksiyonu	10	1441474	58.1***	76.2	128.5***
Hata	36	89374	-	2.1	-

Familyadaki türler birlikte değerlendirildiğinde; kontrol uygulamasına (156 µg g^{-1} KA) göre B-toksik (+B) koşullarda (1388 µg g^{-1} KA) türlerin ortalama toprak üstü aksam B konsantrasyonunda 8.90 kat seviyesinde önemli bir artış belirlenmiştir (Şekil 14). Bununla birlikte, B toksisitesi (+B) koşullarına göre +B+Si uygulaması (1691 µg g^{-1} KA) ile türlerin ortalama toprak üstü aksam B konsantrasyonunda önemli bir artış (%21.8) belirlenmiştir (Şekil 14).



Şekil 14. Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin toprak üstü aksam B konsantrasyonlarına silisyumun etkisi

Kontrole göre B toksisitesi (+B) koşullarında türlerin toprak üstü aksam B konsantrasyonlarında artışlar belirlenmiş ve sakız kabak (12.15 kat), hıyar (10.71 kat), acur (9.19 kat), karpuz (7.84 kat), balkabağı (7.33 kat) ve kavunun (6.83 kat) B konsantrasyonlarında belirlenen bu artışlar önemli bulunmuştur (Şekil 14). Bununla birlikte, B toksisitesine (+B) göre +B+Si koşullarında ise türlerin toprak üstü aksam B konsantrasyonlarında artışlar belirlenmiş ve acur (%36.5), kavun (%32.9), hıyar (%18.5), sakız kabak (%18.2), balkabağı (%12.5) ve karpuzun (%10.8) toprak üstü aksam B konsantrasyonlarında belirlenen bu artışlarda önemli bulunmuştur (Şekil 14).

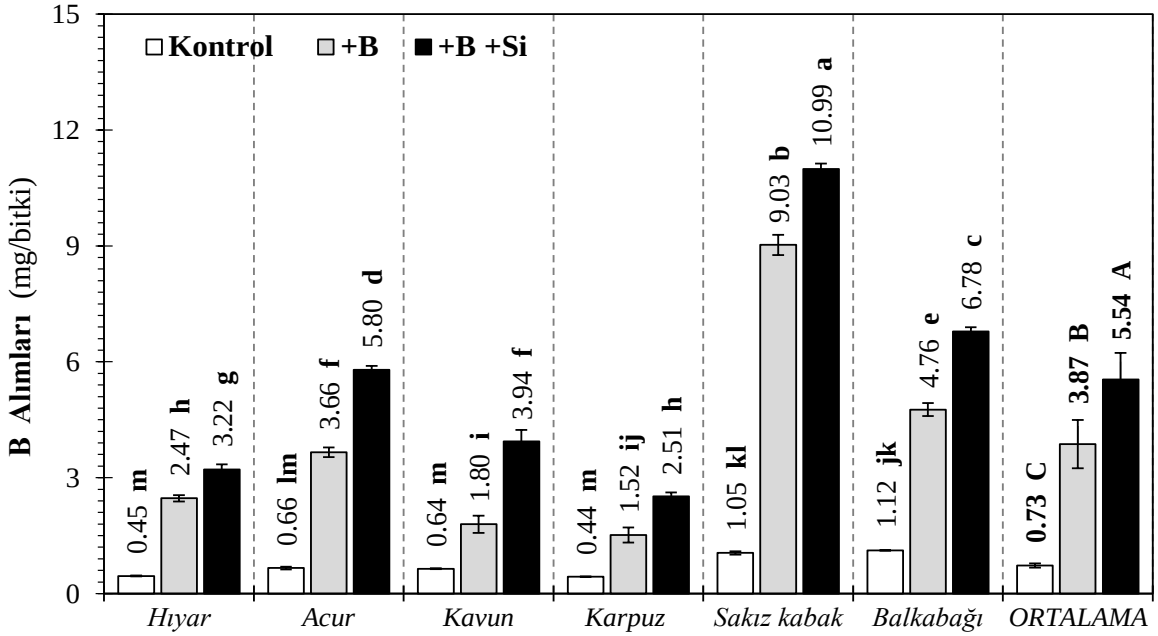
4.4.2. Bor Alımı

Familyadaki türler birlikte incelendiğinde; kontrol uygulamasına (0.73 mg bitki^{-1}) göre B-toksik (+B) koşullarda (3.87 mg bitki^{-1}) türlerin ortalama toprak üstü aksam B alımlarında 5.30 kat seviyesinde önemli bir artış belirlenmiştir (Şekil 15). Bununla birlikte, B toksisitesi (+B) koşullarına göre +B+Si uygulaması (5.54 mg bitki^{-1}) ile türlerin ortalama toprak üstü aksam B alımlarında da önemli bir artış (%43.2) belirlenmiştir (Şekil 15).

Kontrole göre B toksisitesi (+B) koşullarında türlerin toprak üstü aksam B alımlarında artışlar belirlenmiş ve sakız kabak (8.60 kat), acur (5.55 kat), hıyar (5.49 kat), balkabağı (4.25 kat), karpuz (3.45 kat) ve kavunun (2.81 kat) toprak üstü aksam B alımlarında belirlenen bu artışlar önemli bulunmuştur (Şekil 15). Bununla birlikte, B-toksisitesine (+B) göre +B+Si koşullarında da türlerin toprak üstü aksam B alımlarında artışlar belirlenmiş ve kavun (2.19 kat), karpuz (%65.1), acur (% 58.5), balkabağı (%42.4), hıyar (%30.4) ve sakız kabağın (%21.7) toprak üstü aksam B alımlarında belirlenen bu artışlar önemli bulunmuştur (Şekil 15).

Bor toksisitesi, bitki protein ve lipit mekanizmalarının bozulmasına sebep olup hücre çeperlerinin geçirgenliğini artırarak B alımında artış görülmesine, bu durumun sonucu olarakda bitkilerdeki B konsantrasyonunun artmasına neden olur (Kaptan, 2013). Çeşitli araştırıcılar tarafından araştıma bulgularımıza benzer sonuçlar rapor edilmiştir. Bor toksisitesi koşullarında yetiştirilen marul (Eraslan vd., 2007a), biber (Supanjani ve Lee, 2006), çeltik (Koohkan ve Maftoun, 2015), mısır (Güneş vd., 2000), buğday (Baykal ve Öncel, 2006; Sarı, 2009) pamuk (Harite, 2008; Kaptan, 2013) ve ıspanak (Moussa ve Algamal, 2017) bitkilerinin B alımları ve B konsantrasyonlarında artış olduğu yapılan çok sayıda çalışmada rapor

edilmiştir. Silisyum bitki içerisinde amorf silika olarak çözünemez formda bulunur ve tuzların sürgünlere taşınımını engelleyerek toksisite semptomlarının önüne geçebilir (Soylemezoglu vd., 2009). Aynı zamanda, toprakta B-Si (bor-silikat) komplekslerinin oluşumuyla B'nin kullanılabilirliğini azaltarak B'nin toksik seviyelere çıkmasını engellemiş olur (Ma, 2004). Çalışmamızda, *Cucurbitacea* türlerine uygulanan B toksisitesi sonucunda B alımları ve konsantrasyonlarındaki artışların Si uygulaması ile azalması çeltik (Farooq vd., 2015; Farooq vd., 2019), üzüm (Soylemezoglu vd., 2009), arpa (Inal vd., 2009), ayçiçeği (Savic vd., 2023) ve buğday (Metwally vd., 2012; Gunes vd., 2007; Savic vd., 2023) bitkilerinde daha önce yapılan çalışmalarda da rapor edilmiştir.



Şekil 15. Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin toprak üstü aksam B alımlarına silisyumun etkisi

4.5. Alkali Metal Makro Element (K, Ca, Mg, Na) Konsantrasyonlarına Bor Toksisitesi ve Silisyumun Etkisi

4.5.1. Potasyum Konsantrasyonu

Bor toksisistesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin toprak üstü aksam K ve Ca konsantrayonlarına Si uygulamalarının etkisine ait varyans analiz sonuçları Tablo 9'da, toprak üstü aksam K konsantrayonlarına ait ortalamalar Şekil 16'da ve toprak üstü aksam Ca konsantrasyonlarına ait ortalamalar ise Şekil 17'de sunulmuştur. Tablo 9 ile Şekil

16 ve 17 birlikte incelendiğinde; B toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* türlerinde Si uygulamalarının toprak üstü aksam K konsantrayonlarına türlerin, uygulamaların ve tür x uygulama interaksiyonunun etkileri istatistiksel olarak %0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur (Tablo 9). Bununla birlikte, B toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* türlerinde Si uygulamalarının toprak üstü aksam Ca konsantrasyonlarına türlerin ve tür x uygulama intreraksiyonunun etkisi %0.1 düzeyinde önemli bulunurken, uygulamaların etkisi istatistiksel olarak %5 düzeyinde önemli bulunmuştur (Tablo 9).

Tablo 9

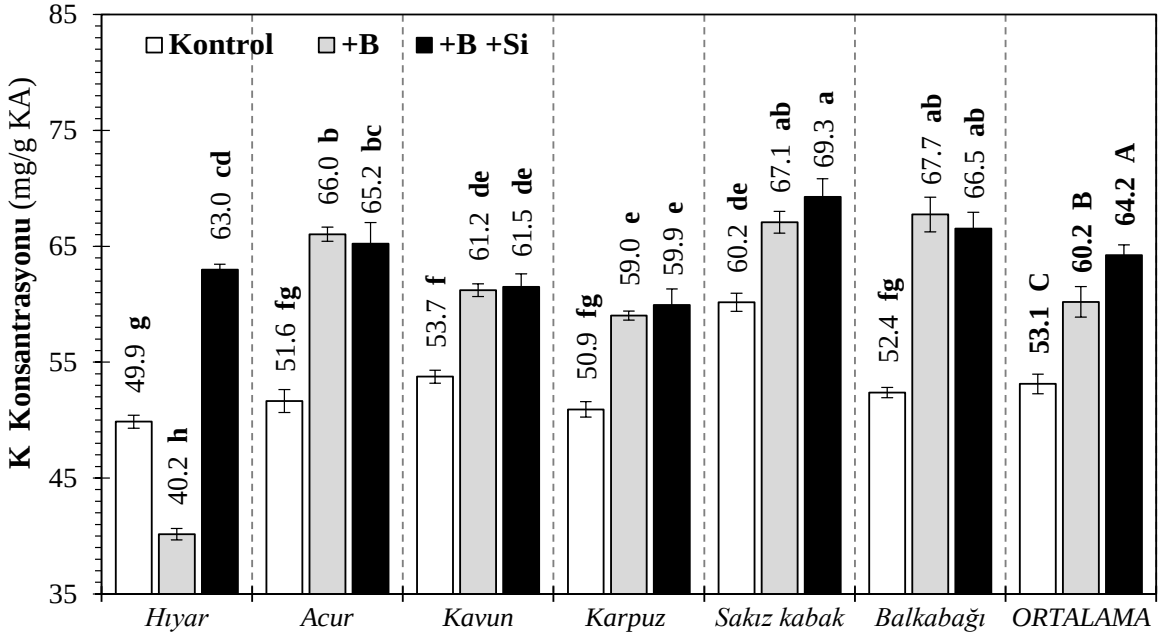
Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin toprak üstü aksam K ve Ca konsantrasyonlarına silisyumun etkisine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	**K Konsantrasyonu**		**Ca Konsantrasyonu**	
		Kareler Toplamı	*F* Değeri	Kareler Toplamı	*F* Değeri
Genel	53	3256.70	-	795.73	-
Tür (T)	5	74.92	74.9***	470.98	35.0***
Uygulama (U)	2	188.35	188.4***	26.86	5.0*
T×U İnteraksiyonu	10	28.93	28.9***	297.89	11.1***
Hata	36	108.90	-	96.78	-

Familyadaki türler birlikte değerlendirildiğinde; kontrol uygulamasına (53.1 mg g^{-1} KA) göre B-toksik (+B) koşullarda (60.2 mg g^{-1} KA) türlerin ortalama toprak üstü aksam K konsantrasyonunda %13.4 seviyesinde önemli bir artış tespit edilmiştir (Şekil 16). Bununla birlikte, B toksisitesi (+B) koşullarına göre +B+Si uygulaması (64.2 mg g^{-1} KA) ile türlerin ortalama toprak üstü aksam K konsantrasyonunda önemli oranda arttığı (%6.6) belirlenmiştir (Şekil 16).

Kontrole göre B toksisitesi (+B) koşullarında hıyar hariç diğer türlerin toprak üstü aksam K konsantrasyonlarında artışlar belirlenmiştir. Balkabağı (%29.2), acur (%27.9), karpuz (%15.9), kavun (%14.0) ve sakız kabağın (%11.5) toprak üstü aksam K konsantrasyonlarında belirlenen bu artışlar ve hıyarın toprak üstü aksam K konsantrasyonunda saptanan azalma (%19.4) önemli bulunmuştur (Şekil 16). Bununla birlikte, B toksisitesine (+B) göre +B+Si koşulları ile sakız kabak (%3.3), karpuz (%1.5) ve kavunun (%0.5) toprak üstü aksam K konsantrasyonlarında saptanan artışlar önemli bulunmazken, buna karşın hıyarın

K konsantrasyonunda meydana gelen artış (%56.8) ise önemli bulunmuştur. Bununla birlikte, balkabağı ve acurun toprak üstü aksam K konsantrasyonlarında sırasıyla %1.8 ve %1.2 seviyesinde meydana gelen azalmalarda önemli bulunmamıştır (Şekil 16).



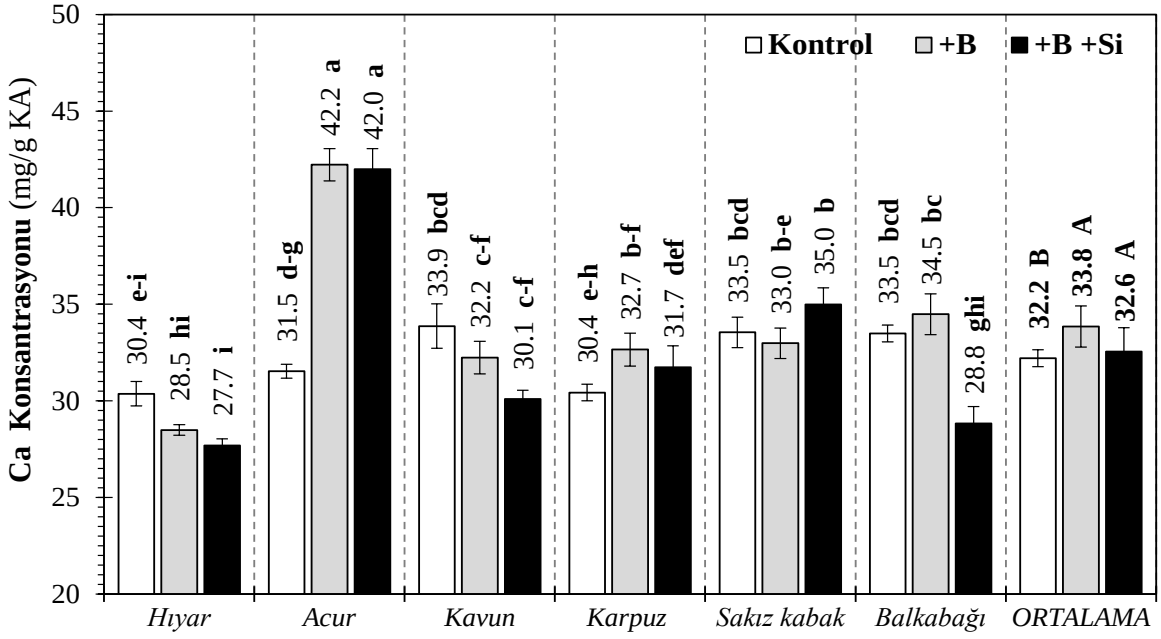
Şekil 16. Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin toprak üstü aksam K konsantrasyonlarına silisyumun etkisi

4.5.2. Kalsiyum Konsantrasyonu

Familyadaki türler birlikte incelendiğinde; kontrol uygulamasına (32.2 mg g^{-1} KA) göre B-toksik (+B) koşullarda (33.8 mg g^{-1} KA) türlerin ortalama toprak üstü aksam Ca konsantrasyonunda önemli bir artış (%5.0) tespit edilmiştir (Şekil 17). Bununla birlikte, B toksisitesi (+B) koşullarına göre +B+Si uygulaması (32.6 mg g^{-1} KA) ile türlerin ortalama toprak üstü aksam Ca konsantrasyonunda önemli olmayan bir azalma (%3.6) tespit edilmiştir (Şekil 17).

Kontrole göre B toksisitesi (+B) koşullarında türlerin toprak üstü aksam Ca konsantrasyonlarındaki değişimler ayrımlı olmuştur. Bor toksisitesi (+B) koşullarında acurun toprak üstü aksam Ca konsantrasyonu önemli düzeyde artarken (%34.0), bununla birlikte, karpuz ve balkabağının toprak üstü aksam Ca konsantrasyonlarında sırasıyla %7.6 ve %3.0 seviyelerinde tespit edilen artışlar ise önemli bulunmamıştır (Şekil 17). Buna karşın, B-toksik (+B)

koşullarda hıyar, kavun ve sakız kabağın toprak üstü aksam Ca konsantrasyonlarında ise sırasıyla %6.3, %5.0 ve %1.5 düzeylerinde önemli olmayan azalmalar belirlenmiştir. Bor toksik (+B) koşullara göre +B+Si uygulaması ile balkabağının toprak üstü aksam Ca konsantrasyonunda tespit edilen azalma (%16.4) önemli bulunurken, bununla birlikte; kavun, karpuz, hıyar ve acurun toprak üstü aksam Ca konsantrasyonlarında (sırasıyla %6.5, %3.1, %2.8 ve %0.5) önemli olmayan azalmalar belirlenmiştir (Şekil 17). Buna karşın, B-toksik (+B) koşullara göre +B+Si uygulaması ile sakız kabağın toprak üstü aksam Ca konsantrasyonunda tespit edilen artışta (%6.1) önemli bulunmamıştır (Şekil 17).



Şekil 17. Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin toprak üstü aksam Ca konsantrasyonlarına silisyumun etkisi

4.5.3. Magnezyum Konsantrasyonu

Bor toksisistesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin toprak üstü aksam Mg ve Na konsantrasyonlarına Si uygulamalarının etkisine ait varyans analiz sonuçları Tablo 10'da, toprak üstü aksam Mg konsantrasyonlarına ait ortalamalar Şekil 18'de ve toprak üstü aksam Na konsantrasyonlarına ait ortalamalar ise Şekil 19'da verilmiştir. Tablo 10 ile Şekil 18 ve 19 birlikte incelendiğinde; B toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* türlerinde Si uygulamalarının toprak üstü aksam Mg konsantrayonlarına türlerin, uygulamaların ve tür x uygulama interaksiyonunun etkileri istatistiksel olarak %0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur

(Tablo 10). Bununla birlikte, B toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* türlerinde Si uygulamalarının toprak üstü aksam Na konsantrasyonlarına türlerin ve uygulamaların etkisi %0.1 düzeyinde ve tür x uygulama interaksiyonuna etkisi ise istatistiksel olarak %1 düzeyinde önemli bulunmuştur (Tablo 10).

Tablo 10

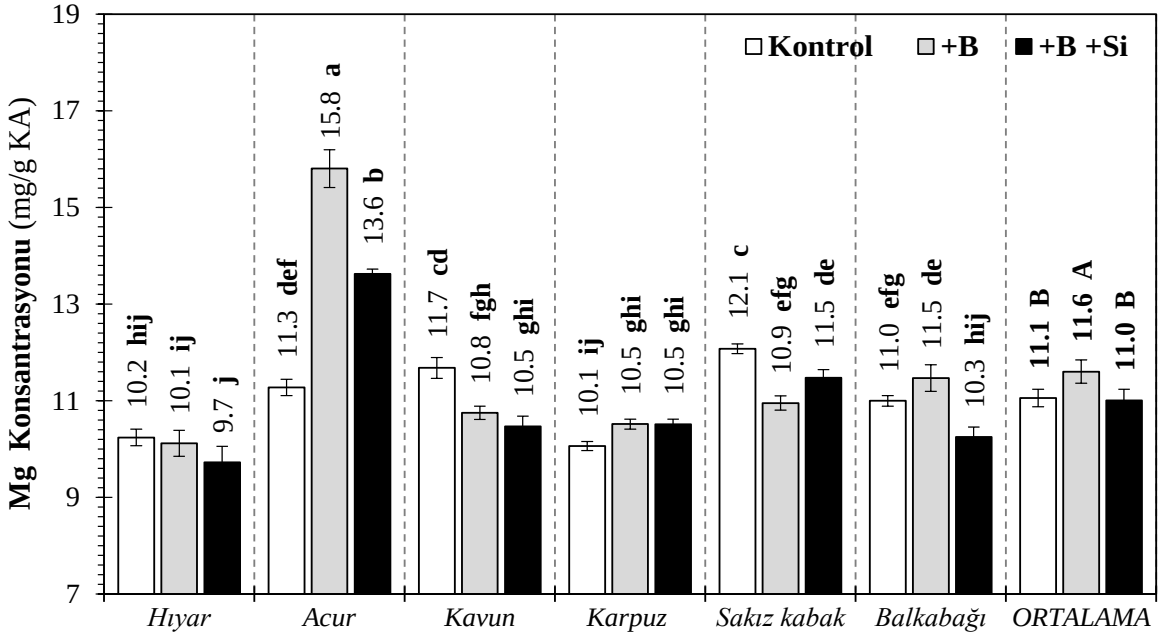
Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin toplam Mg ve Na konsantrasyonlarına silisyumun etkisine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	**Mg Konsantrasyonu**		**Na Konsantrasyonu**	
		Kareler Toplamı	*F* Değeri	Kareler Toplamı	*F* Değeri
Genel	53	113.86	-	86.28	-
Tür (T)	5	114.79	114.8***	81.39	296.7***
Uygulama (U)	2	15.79	15.8***	1.07	9.7***
T×U İnteraksiyonu	10	27.64	27.6***	1.83	3.3**
Hata	36	4.47	-	1.98	-

Familyadaki türler birlikte değerlendirildiğinde; kontrol uygulamasına (11.1 mg g^{-1} KA) göre B-toksik (+B) koşullarda (11.6 mg g^{-1} KA) türlerin ortalama toprak üstü aksam Mg konsantrasyonu %4.5 seviyesinde önemli bir artış tespit edilmiştir (Şekil 18). Buna karşın, B toksisitesi (+B) koşullarına göre +B+Si uygulaması (11.0 mg g^{-1} KA) ile türlerin ortalama toprak üstü aksam Mg konsantrasyonunda önemli bir azalma (%5.2) tespit edilmiştir (Şekil 18).

Kontrole göre B toksik (+B) koşullarda türlerin toprak üstü aksam Mg konsantrasyonlarındaki değişimler ayrımlı olmuş ve acurun toprak üstü aksam Mg konsantrasyonunda tespit edilen artış (%39.8) önemli olarak belirlenirken, bununla birlikte karpuz ile balkabağının toprak üstü aksam Mg konsantrasyonlarında sırasıyla %4.0 ve %4.5 düzeylerinde belirlenen artışlar ise önemli bulunmamıştır (Şekil 18). Bununla birlikte, kavun (%7.7) ve sakız kabağın (%10.0) toprak üstü aksam Mg konsantrasyonlarında önemli azalmalar belirlenirken hıyarın toprak üstü aksam Mg konsantrasyonunda belirlenen azalma (%0.9) önemli bulunmamıştır. Bor toksisitesine (+B) göre +B+Si uygulaması ile acur ve balkabağının toprak üstü aksam Mg konsantrasyonlarında önemli azalmalar (sırasıyla %13.9 ve %10.4) belirlenirken, hıyar ve kavunun toprak üstü aksam Mg konsantrasyonlarında saptanan azalmalar (sırasıyla %4.0 ve %2.8) ise önemli bulunmamıştır (Şekil 18). Buna karşın, B toksik (+B) koşullara

göre +B+Si koşulları ile sakız kabağın toprak üstü aksam Mg konsantrasyonunda tespit edilen artış (%5.5) önemli bulunmazken, karpuzun toprak üstü aksam Mg konsantrasyonunda değişim belirlenememiştir (Şekil 18).



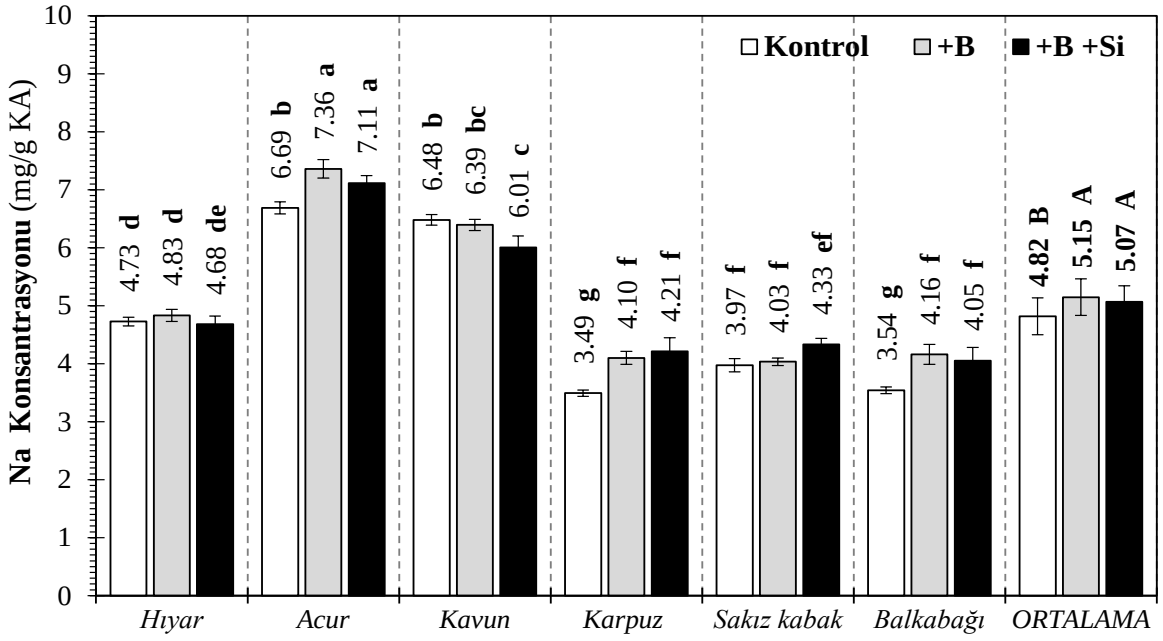
Şekil 18. Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin toprak üstü aksam Mg konsantrasyonlarına silisyumun etkisi

4.5.4. Sodyum Konsantrasyonu

Familyadaki türler birlikte değerlendirildiğinde; kontrol uygulamasına (4.82 mg g^{-1} KA) göre B-toksik (+B) koşullarda (5.15 mg g^{-1} KA) türlerin ortalama toprak üstü aksam Na konsantrasyonunda %6.8 seviyesinde önemli bir artış tespit edilmiştir (Şekil 19). Bununla birlikte, B-toksik (+B) koşullara göre +B+Si uygulaması (5.07 mg g^{-1} KA) ile türlerin ortalama toprak üstü aksam Na konsantrasyonunda meydana gelen değişim (%1.5) önemli bulunmamıştır (Şekil 18).

Kontrole göre B toksisitesi (+B) koşullarında kavunun toprak üstü aksam Na konsantrasyonunda belirlenen azalma (%1.4) hariç diğer türlerin toprak üstü aksam Na konsantrasyonlarında artışlar belirlenmiştir. Balkabağı, karpuz ve acurun toprak üstü aksam Na konsantrasyonlarında belirlenen artışlar (sırasıyla %17.5, %17.5 ve %10.0) önemli bulunurken,

hıyar ve sakız kabağın toprak üstü aksam Na konsantrasyonlarında saptanan artışlar (sırasıyla %2.1 ve %1.5) ise önemli bulunmamıştır (Şekil 19). Bununla birlikte, B-toksik (+B) koşullara göre +B+Si koşulları ile kavun, acur, hıyar ve balkabağının toprak üstü aksam Na konsantrasyonlarında tespit edilen azalmalar (sırasıyla %5.9, %3.4, %3.1 ve %2.6) ile sakız kabak ve karpuzun toprak üstü aksam Na konsantrasyonlarında tespit edilen artışlar (sırasıyla %7.4 ve %2.7) önemli bulunmamıştır (Şekil 19).



Şekil 19. Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin toprak üstü aksam Na konsantrasyonlarına silisyumun etkisi

Bitkilerin alkali metal makro element (K, Ca, Mg, Na) konsantrasyonlarının B-toksik koşulların etkisiyle farklılık gösterdiği yapılan çalışmalarda bildirilmiştir. Topraklarda fazla borun Ca ve Mg ile antogonistik, K ile sinerjik ilişkide olduğunu bildirilmiştir (Gezgin ve Hamurcu, 2006). Bor toksik koşulların etkisi ile çeltik (Koohkan ve Maftoun, 2015), buğday (Sarı, 2009) ve pamuk (Ahmed vd., 2008) bitkilerinde K konsantrasyonu ve yerfıstığı bitkisinde K ve Ca konsantrasyonları (Çikili vd., 2015) ve hıyar bitkisinde Na konsantrasyonunun (Cıkılı vd., 2013) arttığı rapor edileriken; bunun aksine, sorgum bitkisinde K konsantrasyonu (Ismail, 2003), pamuk (Ahmed vd., 2008) ve buğday (Sarı, 2009) bitkilerinde Ca ve Mg konsantrasyonları, hıyar (Cıkılı vd., 2013) bitkisinde Ca ve Mg konsantrasyonları ve fasulye bitkisinde K ve Ca konsatrasyonlarının (Samet vd., 2013) azaldığı yapılan çalışmalarda açık-

lanmıştır. Bununla beraber, bitkilerin alkali metal element konsantrasyonlarına B toksisitesinin olumsuz etkilerinin bitkilere uygulanan Si ile tersine döndüğü, örneğin; mısır bitkisinin kök K ve Mg konsantrasyonlarının arttığı ancak gövde Ca konsantrasyonun azaldığı (Nawaz vd., 2020) ve domates bitkisinin K ve Ca konsantrasyonlarının arttığı (Kaya vd., 2011) araştırıcılar tarafından bildirilmiştir.

4.6. Ağır Metal Mikro Element (Fe, Mn, Zn, Cu) Konsantrasyonlarına Bor Toksisitesi ve Silisyumun Etkisi

4.6.1. Demir Konsantrasyonu

Bor toksisistesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin toprak üstü aksam Fe ve Mn konsantrasyonlarına Si uygulamalarının etkisine ait varyans analiz sonuçları Tablo 11'de, toprak üstü aksam Fe konsantrayonlarına ait ortalamalar Şekil 20'de ve toprak üstü aksam Mn konsantrasnlarına ait ortalamalar ise Şekil 21'de sunulmuştur. Tablo 11 ile Şekil 20 ve 21 birlikte incelendiğinde; B toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* türlerinde Si uygulamalarının toprak üstü aksam Fe ve Mn konsantrasyonlarına türlerin, uygulamaların ve tür x uygulama interaksiyonunun etkileri istatistiksel olarak ($p \leq 0.001$) önemli bulunmuştur (Tablo 11).

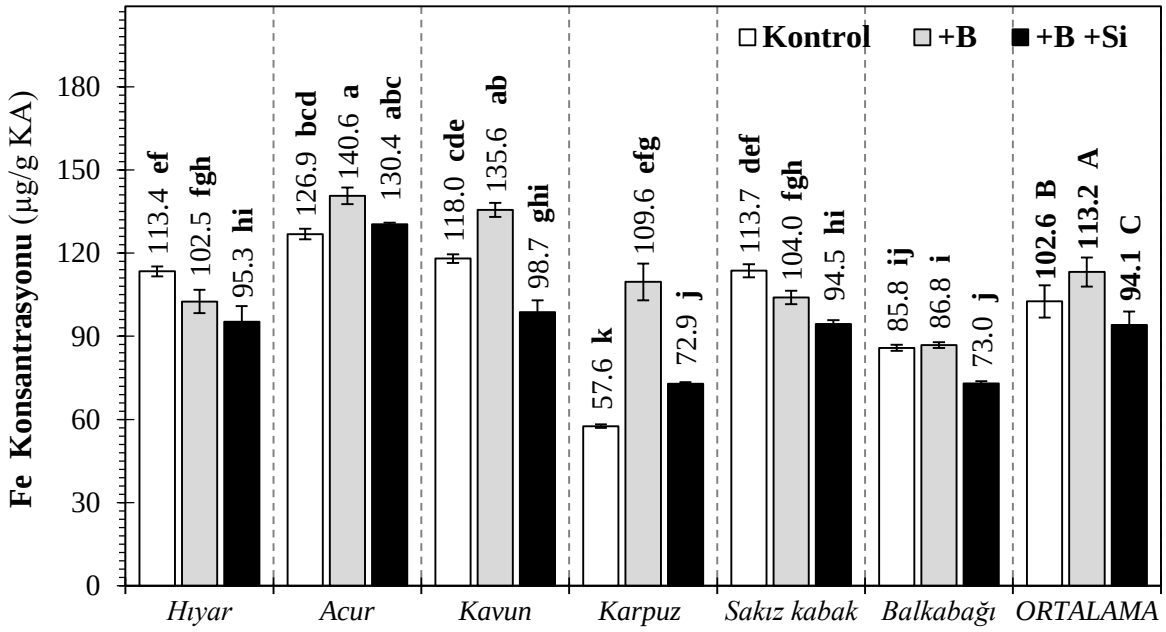
Tablo 11
Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin toprak üstü aksam Fe ve Mn konsantrasyonlarına silisyumun etkisine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	**Fe Konsantrasyonu**		**Mn Konsantrasyonu**	
		Kareler Toplamı	*F* Değeri	Kareler Toplamı	*F* Değeri
Genel	53	28916.8	-	10693.3	-
Tür (T)	5	18549.5	57.7***	7957.4	385.4***
Uygulama (U)	2	3290.0	25.6***	93.9	11.4***
T×U İnteraksiyonu	10	4763.5	7.4***	2493.2	60.4***
Hata	36	2313.8	-	148.7	-

Familyadaki türler birlikte incelendiğinde; kontrol uygulamasına (102.6 µg g-1 KA) göre B-toksik (+B) koşullar ile (113.2 µg g^{-1} KA) türlerin ortalama toprak üstü aksam Fe konsantrasyonunda önemli bir artış (%10.3) tespit edilmiştir (Şekil 20). Bununla birlikte, B

toksisitesi (+B) koşullarına göre +B+Si uygulaması (94.1 µg /g KA) ile türlerin ortalama toprak üstü aksam Fe konsantrasyonunda önemli bir azalma (%16.9) tespit edilmiştir (Şekil 20).

Kontrole göre B toksisitesi (+B) koşulları ile karpuz, kavun ve acurun toprak üstü aksam Fe konsantrasyonlarında belirlenen artışlar (sırasıyla %90.3, %14.9 ve %10.8) önemli bulunurken, balkabağının toprak üstü aksam Fe konsantrasyonundaki artış (%1.2) önemli bulunmamıştır (Şekil 20). Buna karşın, hıyar ve sakız kabağın toprak üstü aksam Fe konsantrasyonlarında önemli olmayan azalmalar (sırasıyla %9.6 ve %8.5) tespit edilmiştir (Şekil 20). Bununla birlikte, B-toksik (+B) koşullara göre +B+Si uygulaması ile karpuz, kavun ve balkabağının toprak üstü aksam Fe konsantrasyonlarında belirlenen azalmalar (sırasıyla %33.5, %27.2 ve %15.9) önemli bulunurken, sakız kabak, acur ve hıyarın toprak üstü aksam Fe konsantrasyonlarındaki azalmalar (sırasıyla %9.1, %7.3 ve %7.0) önemli bulunmamıştır. (Şekil 20).



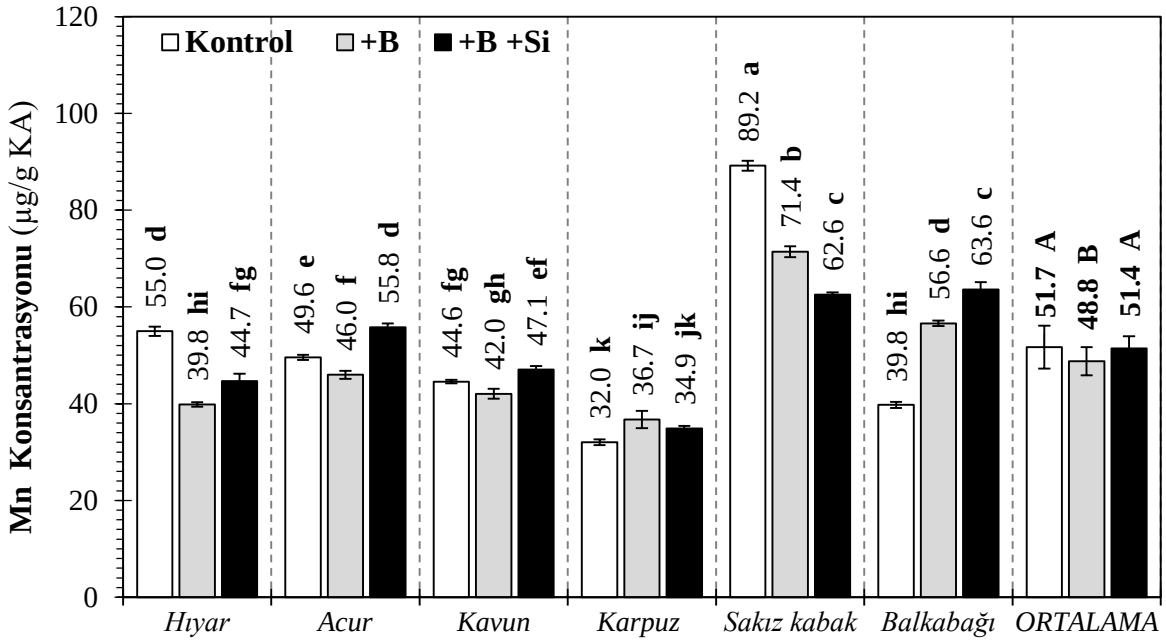
Şekil 20. Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin toprak üstü aksam Fe konsantrasyonlarına silisyumun etkisi

4.6.2. Mangan Konsantrasyonu

Familyadaki türler birlikte değerlendirildiğinde; kontrol uygulamasına (51.7 µg g^{-1} KA) göre B-toksik (+B) koşullarda (48.8 µg g^{-1} KA) türlerin ortalama toprak üstü aksam Mn konsantrasyonunda önemli bir azalma (%5.6) tespit edilmiştir (Şekil 21). Bununla birlikte,

B toksisitesi (+B) koşullarına göre +B+Si uygulaması (51.4 µg g^{-1} KA) ile türlerin ortalama toprak üstü aksam Mn konsantrasyonunda önemli bir artış (%5.3) tespit edilmiştir (Şekil 21).

Kontrole göre B toksisitesi (+B) koşullarında balkabağı ve karpuzun toprak üstü aksam Mn konsantrasyonlarında belirlenen önemli artışlar (sırasıyla %42.2 ve %14.7) hariç diğer türlerin toprak üstü aksam Mn konsantrasyonlarında azalmalar belirlenmiştir (Şekil 21). Hıyar, sakız kabak ve acurun toprak üstü aksam Mn konsantrasyonlarında belirlenen azalmalar (sırasıyla %27.6, %20.0 ve %7.3) önemli bulunurken, kavunun toprak üstü aksam Mn konsantrasyonunda saptanan azalma (%5.8) ise önemli bulunmamıştır (Şekil 21). Bununla birlikte, B-toksik (+B) koşullara göre +B+Si uygulaması ile acur, balkabağı, hıyar ve kavunun toprak üstü aksam Mn konsantrasyonlarında tespit edilen artışlar (sırasıyla %21.3, %12.4, %12.3 ve %12.1) ile sakız kabağın toprak üstü aksam Mn konsantrasyonlarında tespit edilen azalma (%12.3) önemli bulunmuştur (Şekil 21). Bunun yanında, karpuzun toprak üstü aksam Mn konsantrasyonunda önemli olmayan bir azalma (%4.9) belirlenmiştir.



Şekil 21. Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin toprak üstü aksam Mn konsantrasyonlarına silisyumun etkisi

4.6.3. Çinko Konsantrasyonu

Bor toksisistesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin toprak üstü aksam Zn ve Cu konsantrasyonlarına Si uygulamalarının etkisine ait varyans analiz sonuçları Tablo

12’de, toprak üstü aksam Zn konsantrayonlarına ait ortalamalar Şekil 22’de ve toprak üstü aksam Cu konsantrasyonlarına ait ortalamalar ise Şekil 23’de sunulmuştur. Tablo 12 ile Şekil 22 ve 23 birlikte incelendiğinde; B toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* türlerinde Si uygulamalarının toprak üstü aksam Zn ve Cu konsantrayonlarına türlerin, uygulamaların ve tür x uygulama interaksiyonunun etkileri istatistiksel olarak ($p \leq 0.001$) önemli bulunmuştur (Tablo 12).

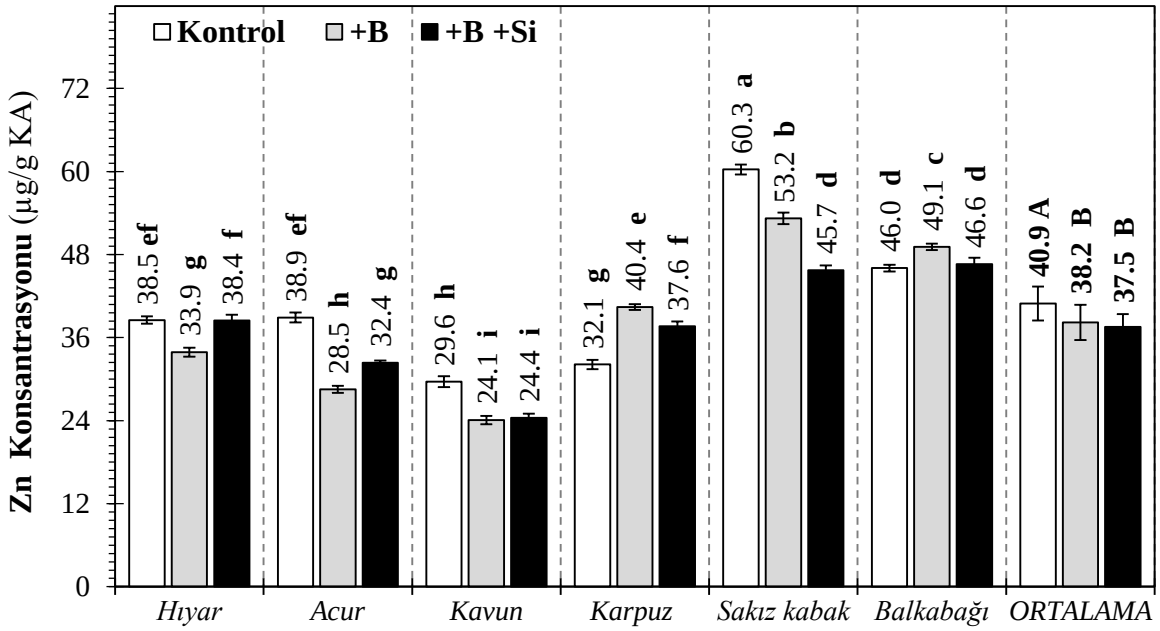
Tablo 12

Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin toprak üstü aksam Zn ve Cu konsantrasyonlarına silisyumun etkisine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	**Zn Konsantrasyonu**		**Cu Konsantrasyonu**	
		Kareler Toplamı	*F* Değeri	Kareler Toplamı	*F* Değeri
Genel	53	5041.8	-	126.09	-
Tür (T)	5	4288.5	667.6***	86.96	80.1***
Uygulama (U)	2	115.7	45.0***	9.13	21.5***
T×U İnteraksiyonu	10	591.4	46.0***	22.900	10.1***
Hata	36	46.3	-	7.82	-

Familyadaki türler birlikte incelendiğinde; kontrol uygulamasına (40.9 µg g^{-1} KA) göre B-toksik (+B) koşullarda (38.2 µg g^{-1} KA) türlerin ortalama toprak üstü aksam Zn konsantrasyonunda önemli bir azalma (%6.6) tespit edilmiştir (Şekil 22). Bununla birlikte, B toksisitesi (+B) koşullarına göre +B+Si uygulaması (37.5 µg g^{-1} KA) ile türlerin ortalama toprak üstü aksam Zn konsantrasyonunda önemli olmayan bir artış (%1.8) tespit edilmiştir (Şekil 22).

Kontrole göre B toksisitesi (+B) koşullarında karpuz ve balkabağının toprak üstü aksam Zn konsantrasyonlarında önemli artışlar (sırasıyla %25.9 ve %6.7) belirlenirken; buna karşın, acur, kavun, hıyar ve sakız kabağının toprak üstü aksam Zn konsantrasyonlarında önemli azalmalar (sırasıyla %26.7, %18.6, %11.9 ve %11.8) belirlenmiştir (Şekil 22). Bununla birlikte, B-toksik (+B) koşullara göre +B+Si uygulaması ile sakız kabak, karpuz ve balkabağının toprak üstü aksam Zn konsantrasyonlarında tespit edilen azalmalar (sırasıyla %14.1, %6.9 ve %5.1) ile acur ve hıyarın toprak üstü aksam Zn konsantrasyonlarında tespit edilen artışlar (sırasıyla %13.7 ve %13.3) önemli bulunmuştur (Şekil 22). Bunun yanında, kavunun toprak üstü aksam Zn konsantrasyonundaki artış (%1.2) önemli bulunmamıştır.



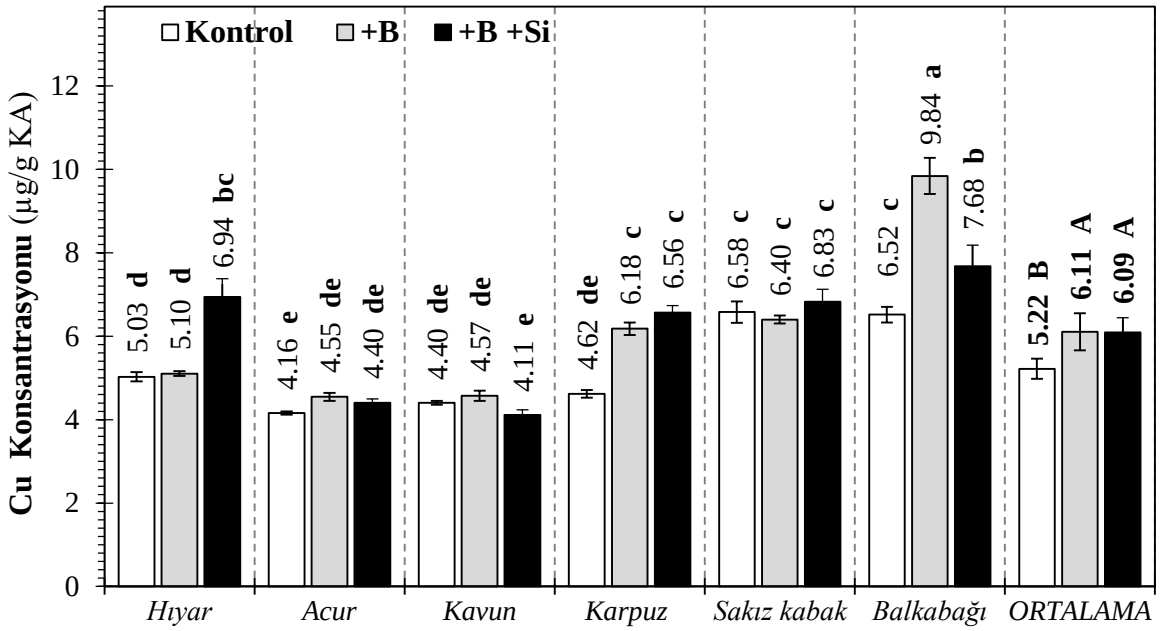
Şekil 22. Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin toprak üstü aksam Zn konsantrasyonlarına silisyumun etkisi

4.6.4. Bakır Konsantrasyonu

Familyadaki türler birlikte incelendiğinde; kontrol uygulamasına (5.22 µg g^{-1} KA) göre B-toksik (+B) koşullar ile (6.11 µg g^{-1} KA) türlerin ortalama toprak üstü aksam Cu konsantrasyonunda önemli bir artış (%17.0) belirlenmiştir (Şekil 23). Bununla birlikte, B toksisitesi (+B) koşullarına göre +B+Si uygulaması (6.09 µg g^{-1} KA) ile türlerin ortalama toprak üstü aksam Cu konsantrasyonunda önemli olmayan bir azalma (%0.3) saptanmıştır (Şekil 23).

Kontrole göre B toksisitesi (+B) koşullarında balkabağı ve karpuzun toprak üstü aksam Cu konsantrasyonlarında önemli artışlar (sırasıyla %50.9 ve %33.8) belirlenirken, acur, kavun ve hıyarın toprak üstü aksam Cu konsantrasyonlarında belirlenen artışlar (sırasıyla %9.4, %3.9 ve %1.4) önemli bulunmamıştır (Şekil 23). Buna karşın, kontrole göre B toksik (+B) koşullarda sakız kabağın toprak üstü aksam Cu konsantrasyonunda saptanan azalma (%2.7) ise önemli bulunmamıştır (Şekil 23). Bununla birlikte, B-toksik (+B) koşullara göre +B+Si uygulaması ile balkabağının toprak üstü aksam Cu konsantrasyonunda belirlenen azalma (%22.0) ve hıyarın toprak üstü aksam Cu konsantrasyonunda tespit edilen artış (%36.1) önemli bulunmuştur (Şekil 23). Bununla birlikte, B-toksik (+B) koşullara göre

+B+Si uygulaması ile kavun ve acurun toprak üstü aksam Cu konsantrasyonlarında belirlenen azalmalar (sırasıyla %10.1 ve %3.3) ile sakız kabak ve karpuzun toprak üstü aksam Cu konsantrasyonunda saptanan artışlar (sırasıyla %6.7 ve %6.1 ve) önemli bulunmamıştır (Şekil 23).



Şekil 23. Bor toksisitesinden etkilenmiş *Cucurbitaceae* familyası türlerinin toprak üstü aksam Cu konsantrasyonlarına silisyumun etkisi

Bitkilerin ağır metal mikro element (Fe, Mn, Zn, Cu) konsantrasyonlarının B-toksik koşulların etkisiyle değişiklikler gösterdiği yapılan çalışmalarda açıklanmıştır. Bor toksik koşulların çeltik (Koohkan ve Maftoun, 2015) ve fasulye (Samet vd., 2013) bitkilerinin Zn konsantrasyonları, hıyar (Cıkılı vd., 2013; Dursun vd., 2010) ve yerfıstığı bitkisinin Fe, Zn ve Cu konsantrasyonları (Çikili vd., 2015), domates bitkisinin Fe konsantrasyonu (Alpaslan ve Güneş, 2001), buğday bitkisinin Fe konsantrasyonu (Hamurcu vd., 2006) ve pamuk bitkisinin Cu konsantrasyonunu (Ahmed vd., 2008) artırdığı bazı arartırıcılar tarafından rapor edilmiştir. Toprakta bulunan yüksek B konsantrasyonunun bitkilerin plazma zarı üzerindeki zararlı etkisi nedeniyle sürgünlerin Fe, Mn ve Cu içeriklerinde artışlara sebep olabileceği yapılan bir çalışmada açıklanmıştır (Çikili vd. 2015). Torakta fazla borun Fe alımını arttırdığını, Zn ile sinerjik, Mn ile antagonistik ilişkide olduğunu ve bazı çalışmalarda fazla bor alımı Cu alımını artırırken bazı çalışmalarda Cu alımını azalttığını açıklamışlardır. Cıkılı vd. (2013) hıyar bitkisinde Mn konsantrasyonunun azaldığını, Ahmed vd. (2008) pamuk bitkisinin Fe, Mn ve Zn konsantrasyonlarını B toksisitesinin azalttığını açıklamıştır. Bitkilerin

ağır metal element konsantrasyonlarının sebep olduğu olumsuz etkilerinin bitkilere uygulanan Si ile tersine döndüğü çok sayıda araştırıcı tarafından açıklanmıştır. Örneğin; hıyarda Cu toksisitesi (Bosnić vd 2019), balkabağında Mn toksisitesi (Iwasaki ve Matsumura,1999), bambuda Cu ve Mn toksisitesi (Emamverdian vd., 2020), çeltikte Cd ve Zn toksisitesi (Fan vd., 2016) ve buğdayda Cu toksisitesi (Keller vd., 2015) etkilerini hafiflettiği araştırıcılar tarafından bildirilmiştir. Silisyum toprak çözeltisinde Fe-Si, Mn-Si ve Al-Si kompleksleri oluşturarak bitkilerde ağır metal toksisitesinin etkilerini azaltmakta ve hücre duvarının kalınlığını artırarak abiyotik streslere karşı dayanıklılığını artırmaktadır (Horuz, 2018). Yapılan araştırmalarda +B+Si uygulmalarının ağır metal durumlarını gösteren çalışma bulunamaması nedeni ile yapmış olduğumuz çalışma ile literatüre katkı yapılacağı da düşünülmektedir.

BEŞİNCİ BÖLÜM
SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu yüksek lisans tez çalışmasında; son yıllarda ülkemiz tarımında önemli bir yere sahip olan, kullanımı giderek artan ve geniş alanlarda yetiştiriciliği yapılan *Cucurbitacea* (kabakgiller) familyasına ait olan bitkilerde (hıyar, acur, kavun, karpuz, sakız kabak ve balkabağı) B toksisitesinin azaltılmasında Si'in etkisi değerlendirilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen verilere göre aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

B-toksik koşullarda familyadaki türlerin ortalamasına bakıldığında; gövde yaş (%42.6) ve kuru ağırlığı (%43.7), bitki boyu (%19.6), kök yaş (%66.8) ve kuru ağırlığı (%65.0), kök uzunluğu (%30.3) ve hacmi (%65.6), klorofil *a* (%37.5), klorofil *b* (%41.9) ve klorofil *a*+*b* (%38.7), karotenoid içerikleri (%32.8), toprak üstü aksam Mn konstanrasyonu (%5.6) ve Zn konsantrasyonunda (%6.6) önemli azalmalar tespit edilmiş, kök membran geçirgenliğinde ise önemli bir değişim bulunmamıştır. Buna karşın, familyadaki türlerin ortalaması olarak B toksisitesi altında gövde/kök oranı (%86.5), toprak üstü aksam B konsantrasyonu (8.90 kat) ve B alımı (5.30 kat), toprak üstü aksam K (%13.4), Ca (%5.0), Mg (%4.5), Na (%6.8), Fe (%10.3) ve Cu konsantrasyonlarında (%17.0) önemli artışlar saptanmıştır Ancak, B-toksik koşullarda familyadaki türlerin ortalamasında önemli azalmalar gösteren gövde yaş (%29.0) ve kuru ağırlığı (%22.0), bitki boyu (%13.4), kök yaş (%18.9) ve kuru ağırlığı (%19.0), kök uzunluğu (%6.3) ve hacmi (%17.2), kök membran geçirgenliği (%5.1), toprak üstü aksam B konsantrasyonu (%21.8) ve B alımı (%43.2), toprak üstü aksam K (%6.6) ve Mn konsantrasyonlarında (%5.3) B+Si uygulaması ile önemli artışlar belirlenmiştir. Gövde/kök oranı, fotosentetik pigment (klorofil *a*, klorofil *b*, klorofil *a*+*b* ve karotenoid) içeriklerinde, toprak üstü aksam Zn konsantrasyonunda meydana gelen artışlar ise önemli bulunmamıştır. B+Si uygulaması ile toprak üstü aksam Mg (%5.2) ve Fe konsantrasyonlarında (%16.9) belirlenen azalmalar önemli bulunmuştur.

Bor toksisitesi koşullarında hıyarın gövde yaş (%49.0) ve kuru ağırlığı (%49.1), bitki boyu (%16.3), kök yaş (%83.0) ve kuru ağırlığı (%84.9), kök uzunluğu (%38.6) ve hacmi (%80.3), kök membran geçirgenliği (%29.3), klorofil *a* (%54.0), klorofil *b* (%63.1), klorofil *a*+*b* (%56.6) ve karotenoid içerikleri (%48.5) ve toprak üstü aksam K, Mn ve Zn konsantrasyonlarında (sırasıyla %19.4, %27.6 ve %11.9) önemli azalmalar saptananırken, toprak

üstü aksam Ca, Mg ve Fe (sırasıyla %6.3, %4.0 ve %9.6) konsantrasyonlarındaki azalmalar önemli bulunmamıştır. Buna karşın, hıyarın gövde/kök oranı (3.39 kat), B konsantrasyunu (10.71 kat) ve B alımı (5.49 kat) (%10.8) önemli artışlar kaydedilirken, toprak üstü aksam Na (%2.1) ve Cu konsantrasyonlarındaki (%1.4) artış önemli bulunmamıştır. Bununla birlikte, B toksisitesine göre +B+Si uygulaması ile hıyarın kök yaş (%63.2) ve kuru ağırlığı (%69.7), kök uzuluğu (%21.8), toprak üstü aksam B konsantrasyonu (%18.5) ve B alımı (%30.4) ve toprak üstü aksam K, Zn ve Cu konsantrasyonlarındaki (sırasıyla %56.8, %13.3 ve %36.1) artışlar önemli bulunurken, gövde yaş (%26.3) ve kuru ağırlığı (%10.2), bitki boyu (%6.3), kök hacmi (%17.4) ve kök membran geçirgenliğinde (%14.8) saptanan artışlar önemli bulunmamıştır. Buna karşın, B toksisitesine göre +B+Si uygulaması ile hıyarın gövde/kök oranı (%36.0), klorofil *a* (%11.3), klorofil *a*+*b* (%10.7) ve karotenoid (%14.9) içerikleri, toprak üstü aksam Mn konsantrasyonunda (%12.3) önemli azalma tespit edilirken, klorofil *b* içeriği (%9.2) ve toprak üstü aksam Fe, Na, Ca ve Mg konsantrasyonlarında (sırasıyla %7.0, %3.1, %2.8 ve % 4.0) belirlenen azalmalar önemli bulunmamıştır.

Bor toksisitesi koşullarında acurun gövde yaş (%31.8) ve kuru ağırlığı (%40.0), kök yaş (%69.7) ve kuru ağırlığı (%70.8), kök uzunluğu (%12.8) ve kök hacmi (%64.6), klorofil *a* (%12.0), klorofil *b* (%18.1), klorofil *a*+*b* (%13.6) ve karotenoid içerikleri (%4.4) ve toprak üstü aksam Mn ve Zn konsantrasyonlarında (sırasıyla %7.3 ve %26.7) önemli azalmalar saptananırken, bitki boyunda (%3.5) tespit edilen azalma ise önemli bulunmamıştır. Buna karşın, acurun gövde/kök oranı (2.08 kat), kök membran geçirgenliği (%39.4), toprak üstü aksam B konsantrasyunu (9.19 kat) ve B alımı (5.5 kat) ile toprak üstü aksam K, Ca, Mg, Na ve Fe konsantrasyonlarında (sırasıyla %27.9, % 34.0, %39.8, %10.0 ve %10.8) önemli artışlar kaydedilirken toprak üstü aksam Cu konsantrasyonunda (%9.4) saptanan artış önemli bulunmamıştır. Bunun yanında, B toksisitesine göre +B+Si uygulaması ile acurun toprak üstü aksam B konsantrasyonu (%36.5) ve B alımı (%58.5), toprak üstü aksam Mn ve Zn konsantrasyonlarında (sırasıyla %21.3 ve % 13.7) önemli artışlar belirlenirken, gövde yaş (%17.3) ve kuru ağırlığı (%16.0), bitki boyu (%1.4), kök yaş (%12.1) ve kuru ağırlığı (%10.3), kök uzunluğu (%4.5) ve hacmindeki (%9.3) artışlar önemli bulunmamıştır. Buna karşın, B toksisitesine göre +B+Si uygulaması ile acurun kök membran geçirgenliği (%26.8), klorofil *a* (%30.5), klorofil *b* (%35.4), klorofil *a*+*b* (%31.6) ve karotenoid (%27.0)

içerikleri, toprak üstü aksam Mg konsantrasyonlarında (%13.9) önemli azalmalar belirlenirken, gövde/kök oranı (%4.3) ve toprak üstü aksam Na, K, Ca, Fe ve Cu konsantrasyonlarında (sırasıyla %3.4 %1.2, %0.5, %7.3 ve %3.3) belirlenen azalmalar ise önemli bulunmamıştır.

Bor toksisitesi koşullarında kavunun gövde yaş (%53.7) ve kuru ağırlığı (%59.3), bitki boyu (%35.7), kök yaş (%78.0) ve kuru ağırlığı (%75.0), kök uzunluğu (%47.3) ve hacmi (%87.2), klorofil *a* (%23.5), klorofil *b* (%19.7), klorofil *a+b* (%22.6) ve karotenoid (%13.6) içerikleri ile toprak üstü aksam Zn konsantrasyonlarında (%18.6) önemli azalmalar saptananırken, toprak üstü aksam Mg, Ca, Na ve Mn konsantrasyonlarında (sırasıyla%7.7 %5.0, %1.4 ve 5.8) belirlenen azalmalar ise önemli bulunmamıştır. Buna karşın, kavunun gövde/kök oranı (%69.1), kök membran geçirgenliği (%32.2), toprak üstü aksam B konsantrasyonu (6.83 kat) ve B alımı (2.81 kat) ile toprak üstü aksam K ve Fe konsanrasyonlarında (sırasıyla %14.0 ve %14.9) önemli artışlar belirlenirken, toprak üstü aksam Cu konsantrasyonunda (%3.9) saptanan artış önemli bulunmamıştır. Bunun yanında, B toksisitesine göre +B+Si uygulaması ile kavunun gövde yaş (%56.2) ve kuru ağırlığı (%65.4), bitki boyu (%16.5), kök yaş (%45.2) ve kuru ağırlığı (%44.7), kök uzunluğu (%40.4), toprak üstü aksam B konsantrasyonu (%32.9) ve B alımı (2.19 kat) ile toprak üstü aksam Mn konsantrasyonunda (%12.1) tespit edilen artışlar önemli bulunurken, kök hacmi (%92.0), klorofil *b* (%1.4), toprak üstü aksam K ve Zn konsantrasyonlarında (sırasıyla %0.5 ve %1.2) belirlenen artış önemli bulunmamıştır. Buna karşın, B toksisitesine göre +B+Si uygulaması ile kavunun klorofil *a* içeriği (%5.7), toprak üstü aksam Fe konsantrayonlarında (%27.2) önemli azalma belirlenirken, kök membran geçirgenliği (%4.8), gövde/kök oranı (%10.1), klorofil *a+b* (%3.5) ve karatoneid içerikleri (%3.5), toprak üstü aksam Mg, Ca, Na ve Cu konsantrasyonlarında (sırasıyla %2.8, %6.5, %5.9 ve %10.1) belirlenen azalmalar önemli bulunmamıştır.

Bor toksisitesi koşullarında karpuzun gövde yaş (%51.3) ve kuru ağırlığı (%55.9), bitki boyu (%23.2), kök yaş (%75.0) ve kuru ağırlığı (%74.0), kök uzunluğu (%51.3) ve hacmi (%75.5), klorofil *a* (%39.8), klorofil *b* (%36.5), klorofil *a+b* (%38.9) ve karotenoid içeriklerinde (%35.7) önemli azalmalar belirlenmiştir. Buna karşın, karpuzun gövde/kök oranı (%73.6), kök membran geçirgenliği (%7.0), toprak üstü aksam B konsantrasyonu (7.84 kat), toprak üstü aksam B alımı (3.45 kat) ve toprak üstü aksam K, Na, Fe, Mn, Zn ve Cu konsantrasyonlarında (sırasıyla %15.9, %17.5, %90.3, %14.7, Zn %25.9 ve %33.8) önemli artışlar saptanırken, toprak üstü aksam Ca ve Mg konsantrasyonlarındaki (sırasıyla %7.6 ve

%4.0) artış önemli bulunmamıştır. Bor toksisitesine göre +B+Si uygulaması ile karpuzun gövde yaş (%39.2) ve kuru ağırlığı (%49.7), bitki boyu (%10.3), gövde/kök oranı (%30.8), klorofil *a* (%40.3), klorofil *b* (%33.5), klorofil *a*+*b* (%38.4) ve karotenoid (%37.4) içerikleri ile toprak üstü aksam B konsantrasyonu (%10.8), toprak üstü aksam B alımında (%65.1) önemli artışlar belirlenirken, kök yaş (%13.2) ve kuru ağırlığı (%11.5), kök uzuluğu (%9.9) ve hacmi (%6.4) ve K, Mg ve Cu konsantrasyonlarında (sırasıyla %1.5, %2.7 ve %6.1) belirlenen artışlar önemli bulunmamıştır. Buna karşın, B toksisitesine göre +B+Si uygulaması ile karpuzun kök membran geçirgenliği (%7.7), toprak üstü aksam Fe ve Zn konsantrasyonlarında (sırasıyla %33.5 ve %6.9) önemli azalmalar tespit edilirken, toprak üstü aksam Ca ve Mn konsantrasyonlarındaki (sırasıyla %3.1 ve %4.9) azalmalar önemli bulunmamıştır. Bor toksisitesine göre +B+Si uygulaması toprak üstü aksam Mg konsantrasyonunda değişim belirlenememiştir.

Bor toksisitesi koşullarında sakız kabağın gövde yaş (%43.2) ve kuru ağırlığı (%29.1), bitki boyu (%46.7), kök yaş (%48.4) ve kuru ağırlığı (%42.2), kök uzunluğu (%6.9) ve hacmi (%48.5), kök membran geçirgenliği (%13.1), klorofil *a* (%46.2), klorofil *b* (%48.4), klorofil *a*+*b* (%46.9) ve karotenoid (%39.0) içeriklerinde, toprak üstü aksam Mn, Mg ve Zn konsantrasyonlarında (sırasıyla %20.0, %10.0 ve %11.8) önemli azalmalar belirlenirken, toprak üstü aksam Ca, Fe ve Cu konsantrasyonlarında (sırasıyla %1.5, %8.5 ve %2.7) belirlenen azalmalar önemli bulunmamıştır. Buna karşın, sakız kabağın toprak üstü aksam B konsantrasyonu (12.15 kat) ve B alımı (8.6 kat) ile toprak üstü aksam K konsantrasyonunda (%11.5) önemli artışlar tespit edilirken, göve/kök oranı (%21.6) ile toprak üstü aksam Na konsantrasyonlarında (%1.5) saptanan artışlar önemli bulunmamıştır. Bor toksisitesine göre +B+Si uygulaması ile sakız kabağın gövde yaş (%17.9), kök membran geçirgenliği (%11.3), toprak üstü aksam B konsantrasyonu (%18.2) ve B alımı (% 21.7) ile toprak üstü aksam Ca konsantrasyonunda (%6.1) önemli artışlar saptanırken, gövde kuru ağırlığı (%2.9), bitki boyu (%13.4), kök kuru ağırlığı (%1.1), kök hacmi (%7.3) ve toprak üstü aksam K, Mg, Na ve Cu konsantrasyonlarında (sırasıyla %3.3, %5.5, %7.4 ve %6.7) belirlenen artışlar önemli bulunmamıştır. Buna karşın, B toksisitesine göre +B+Si uygulaması ile sakız kabağın klorofil *a* (%16.0), klorofil *b* (%19.2), klorofil *a*+*b* (%16.7), karotenoid (%17.4) içerikleri ile toprak üstü aksam Mn ve Zn konsantrasyonlarında (sırasıyla %12.3 ve %14.1)

önemli azalmalar belirlenirken, kök yaş ağırlığı (%3.3), gövde/kök oranı (%1.5), kök uzuluğu (%5.6) ve toprak üstü aksam Fe konsantrasyonunda (%9.1) belirlenen azalmalar ise önemli bulunmamıştır.

Bor toksisitesi koşullarında balkabağının gövde yaş (%33.1) ve kuru ağırlığı (%42.0), kök yaş (%61.3) ve kuru ağırlığı (%61.1), kök uzunluğu (%33.8), kök hacmi (%57.0), klorofil *a* (%43.2), klorofil *b* (%51.4), klorofil *a*+*b* (%45.6) ve karotenoid (%41.9) içeriklerinde önemli azalmalar belirlenirken, kök hacmi (%57.0) ve membran geçirgenliğinde (%6.8) belirlenen azalmalar önemli bulunmamıştır. Buna karşın, balkabağının bitki boyu (%5.6), toprak üstü aksam B konsantrasyonu (7.33 kat) ve B alımı (4.25 kat) ile toprak üstü aksam K, Na, Mn, Zn ve Cu konsantrasyonlarında (sırasıyla %29.2, %17.5, %42.2, %6.7 ve %50.9) önemli artışlar belirlenirken, gövde/kök oranı (%49.4) ve toprak üstü aksam Ca, Mg ve Fe konsantrasyonlarında (sırasıyla %3.0, %4.5 ve %1.2) tespit edilen artışlar önemli bulunmamıştır. Bor toksisitesine göre +B+Si uygulaması ile balkabağının gövde yaş ağırlığı (%33.0), gövde kuru ağırlığı (%26.6), bitki boyu (%30.8), kök yaş (27.5) ve kuru ağırlığı (%24.8), kök hacmi (%19.5), kök membran geçirgenliği (%39.2), klorofil *a* (%37.0), klorofil *b* (%43.3), klorofil *a*+*b* (%38.5) ve karotenoid (%34.6) içerikleri, toprak üstü aksam B konsantrasyonu (%12.5) ve B alımı (%42.4) ile toprak üstü aksam Mn konsantrasyonunda (%12.4) önemli artışlar saptanırken, gövde yaş ağırlığı (%33.0) ve kök uzunluğunda (%2.6) belirlenen artışlar önemli bulunmamıştır. Buna karşın, B toksisitesine göre +B+Si uygulaması ile balkabağının toprak üstü aksam Ca, Mg, Fe, Zn ve Cu konsantrasyonlarında (sırasıyla %16.4, %10.4, %15.9, %5.1 ve %22.0) önemli azalmalar belirlenirken, gövde/kök oranı (%1.3), toprak üstü aksam K ve Na konsantrasyonlarında (sırasıyla %1.8 ve %2.6) belirlenen azalmalar ise önemli bulunmamıştır.

Yapılan bu çalışmada, *Cucurbitaceae* familyasına ait altı türün gövde kuru ağırlıkları dikkate alınarak bitki gelişimindeki azalmalara göre B toksisitesine dayanıklılık sıralaması; kavun < karpuz < hıyar < balkabağı < acur < sakız kabak olarak belirlenmiştir. B-toksik koşullarda B akümülasyonu en yüksek tür olarak sakız kabak tespit edilirken, bu türü acur, hıyar, balkabağı, kavun izlemiş ve B akümülasyonu en düşük tür ise karpuz olarak tespit edilmiştir. B-toksik koşullarda *Cucurbitaceae* türlerinin toprak üstü aksam B konsantrasyonu ve B alımı ile gövde/kök oranı artarken, gövde ve kök yaş ve kuru ağırlıkları, bitki boyu, kök uzunluğu ve hacmi ile fotosentetik pigment (klorofil *a*, *b*, *a*+*b* ve karotenoid)

içerikleri azalmıştır. Ayrıca, B toksisitesi acur, kavun ve karpuz türlerinde kök membran geçirgenliğini artırırken, hıyar ve sakız kabakta ise azaltmıştır. Bu nedenle, besin zinciri dikkate alındığında, B-toksik seviyelerdeki tarımsal alanlarda *Cucurbitaceae* türleri arasında sakız kabak ve acurun, toksik B seviyesinin altındaki tarımsal alanlarda ise kavun ve karpuzun yetiştirilmesinin daha uygun olacağı kanısına varılmıştır.

B-toksik koşullara göre B+Si uygulaması ile türlerin ortalama gövde ve kök gelişim parametreleri, karotenoid içerikleri, kök membran geçirgenliği ve B akümülasyonu artmıştır. Bunula birlikte, B+Si uygulaması ile B toksisitesinin bitki gelişimdeki olumsuz etkisinin giderilmesine türlerin tepkileri farklı olmuş ve sırasıyla kavun, karpuz, balkabağında önemli bir iyileşme etkisi belirlenirken acur, hıyar ve sakız kabakta görülen etki önemli düzeyde bulunmamıştır. Bu nedenle, *Cucurbitaceae* türlerinden özellikle acur, hıyar ve sakız kabak yetiştirilen tarımsal arazilerde B-toksik seviyelerde meydana gelen gelişim gerilemesinin Si uygulamalarıyla giderilebileceği sonucuna varılmıştır. Dolayısıyla, Cucurbitaceae familyası bitkilerinde B toksisitesininin etkilerinin hafifletilmesinde Si'nin etkisinin bilinmesi, stres koşullarına dayanıklı türlerin belirlenmesi ve yetiştirilecek türlerin seçimine sağlanacak katkı ile üreticinin ürün miktarındaki azalmaya bağlı olarak ekonomik zararlanmasını en aza indirecektir. Ayrıca elde edilen sonuçlar, *Cucurbitaceae* familyasına ait türler için sürdürülebilir tarımsal üretim açısından yeterli miktarda verinin üretilmesini sağlayacaktır. Yarı kontrollü sera koşullarında ve türlerin erken gelişim dönemlerinde yapılan bu çalışmanın tarla koşullarında ve tüm vejetasyon dönemelerinin kapsayacak şekilde genişletilerek B-toksik alanlarda Si gübrelemesi uygulanacağı çalışmalar ile desteklenmesi yararlı olacaktır.

KAYNAKÇA

Abo-Hamad, S. A. and El-Feky, S. S. (2014). "Effect of boron on growth and some physiological activities of tomato plant". *Life Science Journal*, 11(7), 403-408.

Aftab, T., Khan, M. M. A., Idrees, M., Naeem, M. and Ram. M. (2010). "Boron induced oxidative stress, antioxidant defense response and changes in artemisinin content in *Artemisia annua* L.". *Journal of Agronomy and Crop Science*, 196(6), 423-430. https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2010.00427.x

Ahmad, I., Mohammad, F., Taj, S., Munsif, F. and Akber, S. (2017). "Performance of F1 hybrids in sunflower (*Helianthus annuus* L) under the enviromental conditions of peshawar valley". *International Journal of Agriculture and Environmental Research,* 3(1), 112-115.

Ahmed, N., Abid, M. and Ahmad, F. (2008). "Boron Toxicity in Irrigated Cotton (*Gossypium hirsutum* L.)". *Pakistan Journal of Botany*, 40(6), 2443-2452.

Akoğlu, A. (2013). Taze Fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) Genotiplerinin Bor Uygulamalarına Tepkileri. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Eskişehir Osman Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bahçe Bitkileri Ana Bilim Dalı, Eskişehir.

Al-aghabary, K., Zhu, Z. and Shi, Q. (2005). "Influence of silicon supply on chlorophyll content, chlorophyll fluorescence, and antioxidative enzyme activities in tomato plants under salt stress". *Journal of Plant Nutrition*, 27 (12), 2101-2115. https://doi.org/10.1081/PLN-200034641

Alpaslan, M. and Gunes, A. (2001). "Interactive effects of boron and salinity stress on the growth, membrane permeability and mineral composition of tomato and cucumber plants". *Plant and Soil*, 236, 123-128. https://doi.org/10.1023/A:1011931831273

Anonim, 2010. Tarımsal Araştırma ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Toprak ve Su Kaynakları Araştırmaları Dairesi Başkanlığı, Bitki Besleme ve Toprak Araştırma Grubu. https://www.tarimorman.gov.tr/TAGEM/Belgeler/SUNULAR/BitkiBeslemeveToprak_Kadriye Kalinbacak.pdf, Erişim Tarihi: 31.07.2021

Anonim, 2016. Yaş Meyve Sebze Sektör Raporu. Uludağ İhracatçı Birlikleri Genel Sekreterliği. https://uib.org.tr/tr/kbfile/yas-meyve-sebze-sektor-raporu, Erişim Tarihi: 31.07.2021

Ashagre, H., Hamza, I. A., Fita, U. and Nedesa, W. (2014). "Influence of Boron on Seed Germination and Seedling Growth of Wheat (*Triticum aestivum* L.)". *African Journal of Plant Science*, 8(2), 133-139. https://doi.org/10.5897/AJPS2014.1148

Aquea, F., Federici, F., Moscoso, C., Vega, A., Jullian, P. and Haseloff, J. I. M. (2012). "A molecular framework for the inhibition of Arabidopsis root growth in response to boron toxicity". *Plant, Cell & Environment*, 35(4), 719-734. https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2011.02446.x

Bai, B. Z., Yu, S. Q., Tian, W. X. and Zhao, J. Y. (1996). Plant physiology. China Agricultural Science. Beijing, *China Agricultural Science Press.*

Baykal, Ş. A. ve Öncel, I. (2006). "Buğday fidelerinin bor toksisitesine toleransında çözünür fenolik ve çözünür protein miktarındaki değişmeler". *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi*, 27(1), 13-25.

Bosnić, D., Bosnić, P., Nikolić, D., Nikolić, M. and Samardžić, J. (2019). "Silicon and iron differently alleviate copper toxicity in cucumber leaves". *Plants*, 8(12), 554.

Brdar-Jokanović, M., Maksimović, I., Kraljević-Balalić, M., Zeremski-Škorić, T., Kondić-Špika, A. and Kobiljski, B. (2013). "Boron concentration vs. content as criterion for estimating boron tolerance in wheat". *Journal of Plant Nutrition*, 36(3), 470-480.

Cao, B., Ma, Q. and Xu, K. (2020). "Silicon restrains drought-induced ROS accumulation by promoting energy dissipation in leaves of tomato". *Protoplasm*, 257, 537-547. https://doi.org/10.1007/s00709-019-01449-0

Cervilla, L. M., Blasco, B., Rios, J. J., Rosales, M. A., Sánchez-Rodríguez, E., Rubio-Wilhelmi, M. M. and Ruiz, J. M. (2012). "Parameters symptomatic for boron toxicity in leaves of tomato plants". *Journal of Botany*, Article ID 726206. https://doi.org/10.1155/2012/726206

Chatzistathis, T., Fanourakis, D., Aliniaeifard, S., Kotsiras, A., Delis, C., and Tsaniklidis, G. (2021). "Leaf age-dependent effects of boron toxicity in two *Cucumis melo* varieties". *Agronomy*, 11(4), 759. https://doi.org/10.3390/agronomy11040759

Cıkılı, Y., Samet, H. and Dursun, S. (2013). "Effects of potassium treatment on alleviation of boron toxicity in cucumber plant (*Cucumis sativus* L.)". Soil-Water J, 2(2), 719-726.

Çikili, Y., Samet, H. and Dursun, S. (2015). "Mutual effects of boron and zinc on peanut (*Arachis hypogaea* L.) growth and mineral nutrition". *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 46(5), 641-651. https://doi.org/10.1080/00103624.2015.1005220

Dursun, A., Turan, M., Ekinci, M., Gunes, A., Ataoglu, N. Esringu, A. and Yildirim, E. (2010). "Effects of boron fertilizer on tomato, pepper, and cucumber yields and chemical composition". *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 41,1576-1593. https://doi.org/10.1080/00103624.2010.485238

Emamverdian, A., Ding, Y., Mokhberdoran, F., Ahmad, Z. and Xie, Y. (2020). "Determination of heavy metal tolerance threshold in a bamboo species (*Arundinaria pygmaea*) as treated with silicon dioxide nanoparticles". *Global Ecology and Conservation*, 24, 01306. https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01306

Eraslan, F., Inal, A., Savasturk, O. and Gunes, A. (2007a). "Changes in antioxidative system and membrane damage of lettuce in response to salinity and boron toxicity". *Scientia Horticulturae*, 114 (1), 5-10. https://doi.org/ 10.1016/j.scienta.2007.05.002

Eraslan, F., Inal, A., Gunes, A. and Alpaslan, M. (2007b). "Boron toxicity alters nitrate reductase activity, proline accumulation, membrane permeability, and mineral constituents of tomato and pepper plants". *Journal of Plant Nutrition*, 30(6), 981-994. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.05.002

Erkan, İ. E. (2014). Bor stresi altındaki arpa ve buğdayda silikon varlığının bitki fizyolojisi ile hücre zarı bor ve silikon taşıyıcıları üzerindeki etkisi. Yayınlanmamış Doktora Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarımsal Biyoteknoloji Ana Bilim Dalı, Isparta.

Fan, X., Wen, X., Huang, F., Cai, Y. and Cai, K. (2016). "Effects of silicon on morphology, ultrastructure and exudates of rice root under heavy metal stress". *Acta Physiologiae Plantarum*, 38, 1-9. https://doi.org/10.1007/s11738-016-2221-8

Farag, M. and Fang, Z. (2014). "Effect of boron toxicity stress on seed germination, root elongation and early seedling development of watermelon *Citrullus lanatus* Thumb". *Journal of Animal and Plant Sciences*, 21(2), 3313-3325.

Farag, M., Najeeb, U., Yang, J., Hu, Z. and Fang, Z. M. (2017). "Nitric oxide protects carbon assimilation process of watermelon from boron-induced oxidative injury". *Plant Physiology and Biochemistry*, 111, 166-173. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.11.024

Farooq, M. A., Ali, S., Hameed, A., Ishaque, W., Mahmood, K. and Iqbal, Z. (2013). "Alleviation of cadmium toxicity by silicon is related to elevated photosynthesis, antioxidant enzymes; suppressed cadmium uptake and oxidative stress in cotton". *Ecotoxicology and environmental Safety*, 96, 242-249. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2013.07.006

Farooq, M. A., Saqib, Z. A. and Akhtar, J. (2015). "Silicon-mediated oxidative stress tolerance and genetic variability in rice (*Oryza sativa* L.) grown under combined stress of salinity and boron toxicity". *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 39(5), 718-729. https://doi.org/10.3906/tar-1410-26

Farooq, M. A., Saqib, Z. A., Akhtar, J., Bakhat. H. F., Pasala, R. K. and Dietz, K. J. (2019). "Protective role of silicon (Si) against combined stress of salinity and boron (B) toxicity by improving antioxidant enzymes activity in rice". *Silicon*, 11, 2193-2197. https://doi.org/10.1007/s12633-015-9346-z

FAO (2021). FAOSTAT Statistical Database. Erişim: 15 Haziran 2023, http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC

Gezgin, S. ve Hamurcu, M. (2006). "Bitki beslemede besin elementleri arasindaki etkileşimin önemi ve Bor ile diğer besin elmentleri arasindaki etkileşimler". *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 20(39), 24-31.

Goldberg, S., Shouse, P. J., Lesch, S. M., Grieve, C. M., Poss, J. A., Forster, H. S. and Suarez, D. L., (2003). "Effect of high boron application on boron content and growth of melons". *Plant and Soil*, 256, 403-411. https://doi.org/10.1023/A:1026186311974

Gunes, A., İnal, A., Bagci, E. G., Coban, S. and Sahin. O. (2007). "Silicon increases boron tolerance and reduces oxidative damage of wheat grown in soil with excess boron". *Biologia Plantarum*, 51(3), 571-574. https://doi.org/ 10.1007/s10535-007-0125-6

Güneş, A., Alpaslan, M., Özcan, H. ve Çıkılı, Y. (2000). "Türkiye'de yaygın olarak yetiştirilen mısır (*Zea mays* L.) çeşitlerinin bor toksisitesine duyarlılıkları". *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 24, 277-282.

Haghighi, M. and Pessarakli, M. (2013). "Influence of silicon and nano-silicon on salinity tolerance of cherry tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) at early growth stage". *Scientia Horticulturae*, 161, 111-117. https://doi.org/ 10.1016/j.scienta.2013.06.034

Hamurcu, M., Demiral, T., Hakki, E. E., Turkmen, Ö., Gezgin, S., and Bell, R. W. (2015). "Oxidative stress responses in watermelon (*Citrullus lanatus*) as influenced by boron toxicity and drought". *Zemdirbyste-Agriculture*, 102(2), 209-216. https://doi.org/10.13080/z-a.2015.102.027

Hamurcu, M., Harmankaya, M., Soylu, S., Gökmen, F. ve Gezgin, S. (2006). "Makarnalık buğdayın (*Triticum durum* L.) bazı besin elementleri kapsamına farklı dozlarda bor ve demir uygulamalarının etkisi". *Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 20(38), 1-8.

Harite, Ü. (2008). Pamukta bor toksisitesine dayanıklılık. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Anabilim Dalı, Aydın

Hasnain, A., Mahmood, S., Akhtar, S., Malik, S. A. and Bashir, N. (2011). "Tolerance and toxicity levels of boron in mung bean (*Vigna radiata* L. *Wilczek*) cultivars at early growth stages". *Pakistan Journal of Botany*, 43(2), 1119-1125.

Horuz, A. (2018). "Silisyumun bitki gelişimine olan etkileri". *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 6(2), 151-163.

Hosseini, S. M., Maftoun, M., Karimian, N., Ronaghi, A. and Emam Y., (2007). "Effect of zinc × boron ınteraction on plant growth and tissue nutrient concentration of corn". *Journal of Plant Nutrition*, 30(5), 773-781. https://doi.org/10.1080/ 0190416070128 9974

Hua, T., Zhang, R., Sun, H. and Liu, C. (2020). "Alleviation of boron toxicity in plants: Mechanisms and approaches". *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 1-41. https://doi.org/10.1080/10643389. 2020.1807451

Inal, A., Pilbeam. D. J. and Gunes, A. (2009). "Silicon increases tolerance to boron toxicity and reduces oxidative damage in barley". *Journal of Plant Nutrition*, 32(1), 112-128. https://doi.org/10.1080/01904160802533767

Ismail, A. M. (2003). "Response of maize and sorghum to excess boron and salinty". Biologia Plantarum, 47 (2): 313-316. https://doi.org/10.1023/B:BIOP.0000022274.72111.12

Iwasaki, K., and Matsumura, A. (1999). "Effect of silicon on alleviation of manganese toxicity in pumpkin (*Cucurbita moschata* Duch cv. *Shintosa*)". *Soil Science and Plant Nutrition*, 45(4), 909-920. https://doi.org/10.1080/00380768.1999.10414340

Jeffrey, C. A. (2005). "A New System of *Cucurbitaceae*."*Botanicheski Zhurnal*, 90, 332-335.

Kacar, B. ve Katkat, A. V. (2018). *Bitki Besleme.* Nobel Akademik Yayıncılık: Ankara.

Kaptan M. A. (2013). Pamukta (*Gossypium hirsutum* L.) Bor Toksisitesi Ve Humik Madde Uygulamasının Etkileri. Yayınlanmamış Doktora Tezi. Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Aydın.

Karaman M. R., Zengin M. and Horuz A., (2012). "Assessment of resistance of wheat genotypes (*T. aestivum* and *T. durum*) to boron toxicity". *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering*, 6(10), 925-928.

Kaya, C., Ashraf, M., Al-Huqail, A. A., Alqahtani, M. A. and Ahmad, P. (2020). "Silicon is dependent on hydrogen sulphide to improve boron toxicity tolerance in pepper plants by regulating the AsA-GSH cycle and glyoxalase system1". *Chemosphere*, 257, 127241. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127241

Kaya, C., Tuna, A. L., Güneri, M. and Ashraf, M. (2011). "Mitigation effects of silicon on tomato plants bearing fruit grown at high boron levels". *Journal of Plant Nutrition*. 34, 1985–1994. https://doi.org/10.1080/01904167.2011.610485

Kayıhan, C. (2020). "Orta ve şiddetli seviyelerde bor toksisitesinin *Arabidopsis thaliana*'da miR393 ekspresyonu üzerine etkisi". *Journal of Boron*, 5(4), 183-191. https://doi.org/10.30728/boron.783209

Keleş, Y., Ergün, N. and Öncel, I. (2011). "Antioxidant enzyme activity affected by high boron concentration in sunflower and tomato seedlings". *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 42(2), 173-183. https://doi.org/10.1080/00103624.2011.535068

Keller, C., Rizwan, M., Davidian, J. C., Pokrovsky, O. S., Bovet, N., Chaurand, P., and Meunier, J. D. (2015). "Effect of silicon on wheat seedlings (*Triticum turgidum* L.) grown in hydroponics and exposed to 0 to 30 µM Cu". *Planta*, 241, 847-860. https://doi.org/10.1007/s00425-014-2220-1

Koohkan, H. and Maftoun, M. (2015). "Effect of nitrogen on the alleviation of boron toxicity in rice (*Oryza sativa* L.)". *Journal of Plant Nutrition*, 38(9), 1323-1335, https://doi.org/10.1080/01904167. 2014.991035

Li, H., Zhu, Y., Hu, Y., Han, W. and Gong, H. (2015). "Beneficial effects of silicon in alleviating salinity stress of tomato seedlings grown under sand culture." *Acta Physiologiae Plantarum*, 37, 71. https://doi.org/10.1007/s11738-015-1818-7

Liang, Y., Wong, J. W. and Wei, L. (2005). "Silicon-mediated enhancement of cadmium tolerance in maize (*Zea mays* L.) grown in cadmium contaminated soil". *Chemosphere*, 58 (4), 475-483. https://doi.org/10.1016/ j.chemosphere. 2004.09.034

Liang, Y., Sun, W., Zhu, Y. G. ve Christie, P. (2007). "Mechanisms of silicon- mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: a review". *Environmental Pollution* 147, 422-428. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2006.06.008

Lichtenthaler, H. K. (1987). "Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes". *Methods in Enzymology*, 148, 350-382. https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1.

Liu, C., Lu, W., Ma, Q. and Ma, C. (2017). "Effect of silicon on the alleviation of boron toxicity in wheat growth, boron accumulation, photosynthesis activities, and oxidative responses". *Journal of Plant Nutrition*, 40(17), 2458-2467, https://doi.org/10.1080/01904167.2017.1380817

Lukaszewski, K. M. and Blevins, D. G. (1996). "Root growth inhibition in boron-deficient or aluminum-stressed squash may be a result of impaired ascorbate metabolism". *Plant Physiology*, 112(3), 1135-1140.

Ma, J. F. (2004). "Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses". *Soil Science and Plant Nutrition*, 50(1), 11-18. https://doi.org/10.1080/00380768.2004.10408447

Ma, J. F. and Takahashi, E. (2002). *Soil, fertilizer, and plant silicon research in Japan*. Elsevier Science: Amsterdam.

Marodin, J. C., Resende, J. T. V., Morales, R. G. F., Silva, M. L. S., Galvão, A. G. and Zanin, D. S. (2014). "Yield of tomato fruits in relation to silicon sources and rates". *Horticultura Brasileira*, 32, 220-224. https://doi.org/ 10.1590/S0102-05362014000200018

Metwally A., El-Shazoly R. and Hamada A.M., (2012). "Effect of Boron on Growth Criteria of Some Wheat Cultivars". *Journal of Biology and Earth Sciences*, 2(1), 1-9

Metwally, A. M., Radi, A. A., El-Shazoly, R. M. and Hamada, A. M. (2018). "The role of calcium, silicon and salicylic acid treatment in protection of canola plants against boron toxicity stress". *Journal of Plant Research*, 131, 1015-1028. https://doi.org/10.1007/s10265-018-1008-y

Moussa, H. R. and Algamal, S. M. A. (2017). "Does exogenous application of melatonin ameliorate boron toxicity in spinach plants". *International Journal of Vegetable Science*, 23(3), 233-245. https://doi.org/10.1080/19315260.2016.1243184

Müftüoğlu, N. M., Türkmen, C. ve Çıkılı, Y. (2014). *Toprak ve Bitkide Verimlilik Analizleri*. Nobel Akademik Yayıncılık: Ankara.

Nable, R. O., Banuelos, G. S. and Paull, J. G. (1997). "Boron Toxicity". *Plant and Soil*, 193(1), 181-198. https://doi.org/10.1023/A:1004272227886

Nawaz, M., Ishaq, S., Ishaq, H., Khan, N., Iqbal, N., Ali, S. and Alyemeni, M. N. (2020). "Salicylic acid improves boron toxicity tolerance by modulating the physio-biochemical characteristics of maize (*Zea mays* L.) at an early growth stage". *Agronomy*, 10(12), 2013. https://doi.org/10.3390/agronomy10122013

Oliveira, K. R. (2019). The role of exogenous silicon and salicylic acid applications to increase field pea tolerance to boron toxicity. Unpublished Master Thesis. São Paulo State Unıversıty Dissertation presented to the Faculty of Agrarian and Veterinary Sciences Department of Field Crops, São Paulo, Brasil.

Oral, E., Tunçtürk, R., Tunçtürk, M. ve Kulaz, H. (2020). "Silisyumun Fasulyede (*Phaseolus vulgaris* L.) Tuz (NaCl) Stresini Azaltmadaki Etkisi". *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 23(6), 1616-1625. https://doi.org/10.18016/ksutarimdoga.vi.702302

Palta, Ç. ve Gezgin, S. (2011). "Orta Anadolu Koşullarında Yaygın Olarak Yetiştirilen Melez Mısır Çeşitlerinin Bor Toksisitesine Duyarlılığı." *Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 25, 1-8.

Parr, A. J. and Loughman, B. C. (1983). "Boron an membrane functions in plants. P. 87107, in Metals and Micronutrients; Uptake and utilization by Plants (D.K. Robb and W.S. Pierpoint, eds)". Annu., Proc., Pyhtochem., Sac. Eur, No: 2l, *Academic Press*, London.

Pereira de Souza Junior, J., de Mello Prado, R., Machado dos Santos Sarah, M. and Felisberto, G. (2019). "Silicon mitigates boron deficiency and toxicity in cotton cultivated in nutrient solution". *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 182(5), 805-814. https://doi.org/10.1002/jpln.201800398

Rastogi, A., Yadav, S., Hussain, S., Kataria, S., Hajihashemi, S., Kumari, P., Yang, X. and Brestic, M. (2021). "Does silicon really matter for the photosynthetic machinery in plants?" *Plant Physiology and Biochemistry*, 169, 40-48. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.11.004

Romero-Aranda, M. R., Jurado, O. and Cuartero, J. (2006). "Silicon alleviates the deleterious salt effect on tomato plant growth by improving plant water status". *Journal of Plant Physiology*, 163(8), 847-855. https://doi.org/ 10.1016/j.jplph.2005.05.010

Samet, H., Çıkılı, Y. and Dursun, S. (2013). "Interactive effects of boron and potassium on the growth and mineral composition of bean (*Phaseolus vulgaris* L.)". *Soil-Water Journal*, 2 (2-1): 690-696.

Sarı, D. S. (2009). Bor–Toprak Tuzluluğu İlişkisinin Buğdayın Gelişimi Üzerine Etkisi. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Anabilim Dalı, Konya.

Savic, J., Pavlovic, J., Stanojevic, M., Bosnic, P., Kostic Kravljanac, L., Nikolic, N., and Nikolic, M. (2023). "Silicon differently affects apoplastic binding of excess boron in wheat and sunflower leaves". *Plants*, 12(8), 1660. https://doi.org/10.3390/plants12081660

Siddiqui, M. H., Al-Whaibi, M. H., Sakran, A. M., Ali, H. M., Basalah, M. O., Faisal, M., Alatar, A. and Al-Amri, A. A. (2013). "Calcium-induced amelioration of boron toxicity in radish". *Journal of Plant Growth Regulation*, 32(1), 61-71. https://doi.org/10.1007/s00344-012-9276-6

Soylemezoglu, G., Demir, K., Inal, A. and Gunes, A. (2009). "Effect of silicon on antioxidant and stomatal response of two grapevine (*Vitis vinifera* L.) rootstocks grown in boron toxic, saline and boron toxic-saline soil". *Scientia Horticulturae*, 123, 240-246. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.09.005

Supanjani, D. and Lee, K. D. (2006). "Hot pepper response to interactive effects of salinity and boron". *Plant, Soil & Environment*, 52(5), 227-233. https://doi.org/10.17221/3433-PSE

Takahashi, E. (1995). "Uptake mode and physiological functions of silica". *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 49,357-360.

Tombal, T. D., Özkan, Ş. G., Ünver, İ. K. ve Osmanlıoğlu, A. E. (2016). "Bor bileşiklerinin özellikleri, üretimi, kullanımı ve nükleer reaktör teknolojisinde önemi". *Bor Dergisi*, 1(2), 86-95.

TÜİK (2022). "Türkiye İstatistik Kurumu". Erişim tarihi: 15 Haziran 2023 https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr

Wang, B. L., Shi, L., Li, Y. X. and Zhang, W. H. (2010). "Boron toxicity is alleviated by hydrogen sulfide in cucumber (*Cucumis sativus* L.) seedlings". *Planta*, 231, 1301-1309. https://doi.org/10.1007/s00425-010-1134-9

Wolf, B. (1971). "The determination of boron in soil extracts, plant materials, composts, manures, water and nutrient solutions". *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2(5), 363-374. https://doi.org/10.1080/00103627109366326

Yanmaz, R. ve Düzeltir, B. (2004). "Kabak çekirdeğinin (*Cucurbita pepo* L.) besin değeri ve sanayide kullanım olanakları". *Popüler Bilim Dergisi*, 11(125), 19-24

Zhang, Y., Yu, S. H. I., Gong, H. J., Zhao, H. L., Li, H. L., Hu, Y. H. and Wang, Y. C. (2018). "Beneficial effects of silicon on photosynthesis of tomato seedlings under water stress". *Journal of Integrative Agriculture*, 17, 2151-2159. https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)62038-6